



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 364 968**

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

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04743570 .6**

96 Fecha de presentación : **28.07.2004**

97 Número de publicación de la solicitud: **1651570**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **03.05.2006**

54

Título: **Retirada de disolvente mediante un proceso de ósmosis directa.**

30

Prioridad: **30.07.2003 GB 0317839**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:
19.09.2011

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
19.09.2011

73

Titular/es: **SURREY AQUATECHNOLOGY LIMITED**
Bramley House The Guildway Old Portsmouth
Road
Guildford, Surrey GU3 1LR, GB

72

Inventor/es: **Sharif, Adel y**
Al-Mayahi, Abdulsalam

74

Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 364 968 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

Retirada de disolvente mediante un proceso de ósmosis directa

5 La presente invención se refiere a un proceso para retirar un disolvente de una solución. En particular, aunque no exclusivamente, la presente invención se refiere a un proceso para retirar agua de una solución acuosa, tal como agua de mar.

10 Se conocen varios métodos para retirar disolventes de las soluciones. Por ejemplo, puede extraerse agua de agua de mar mediante métodos de destilación tales como destilación ultrarrápida de multi-etapa. En un proceso de destilación ultrarrápida multi-etapa, se introduce agua de mar en una serie de tubos y se calienta a una temperatura elevada. El agua de mar calentada se introduce después en una cámara de evaporación y se somete a una presión por debajo de su presión de vapor. La reducción brusca en la presión provoca la ebullición o inflamación. Los vapores inflamados se separan del residuo salado mediante condensación en los tubos de las corrientes de agua de mar entrantes. Se utiliza una serie de cámaras de evaporación. Por lo tanto, la etapa de evaporación o inflamación tiene lugar en múltiples etapas.

20 También puede separarse el agua del agua de mar mediante ósmosis inversa. En la ósmosis inversa, se coloca agua de mar en un lado de una membrana semi-permeable y se somete a presiones de 5 a 8 MPa. El otro lado de la membrana se mantiene a presión atmosférica. El diferencial de presión resultante provoca que el agua fluya a través de la membrana, dejando un concentrado salado en el lado presurizado de la membrana. Típicamente, las membranas semi-permeables tienen un tamaño de poro medio de, por ejemplo, 1 a 5 Angstroms.

25 Después de un periodo de funcionamiento, los poros de la membrana semi-permeable pueden quedar obstruidos mediante sales depositadas, contaminantes biológicos y partículas suspendidas en el agua de mar. Por lo tanto, pueden requerirse mayores presiones para mantener el nivel deseado de flujo a través de la membrana. El diferencial de presión aumentado puede promover adicionalmente que tenga lugar adicionalmente la obstrucción. Por lo tanto, las membranas deben limpiarse y reemplazarse en intervalos regulares, interrumpiendo la continuidad del proceso y aumentando los costes de funcionamiento.

30 Se han realizado intentos para reducir el nivel de obstrucción de la membrana. Por ejemplo, el agua de mar puede pretratarse para retirar las partículas suspendidas y la materia biológica. Alternativamente o adicionalmente, la solución residual en el lado de alta presión de la membrana puede descargarse en intervalos regulares para evitar que la presión osmótica exceda un umbral predeterminado.

35 Los procesos de desalación usando ósmosis directa como una primera etapa también se conocen en la técnica. En dichos procesos la solución de agente osmótico que recibe agua se trata adicionalmente para retirar el agua de la misma, por ejemplo por medio de precipitación (US 3 532 621 A), evaporación (US 5 281 430 A), electrodiálisis (WO 97/18166 A) u ósmosis inversa (US 4 781 837 A, WO 99/39799 A). Normalmente en este documento, se usan soluciones de sales producidas de forma sintética como soluciones de marcado osmóticas. Es un objeto de la invención proporcionar una operación estable a largo plazo de dicho sistema de ósmosis directa con la recuperación de disolvente.

45 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un proceso para retirar un disolvente de una primera solución como se define en la reivindicación 1.

50 Preferiblemente, la primera membrana tiene un tamaño de poro medio de 10 a 80 Angstroms, más preferiblemente, 15 a 50 Angstroms. En una realización preferida, la membrana tiene un tamaño de poro medio de 20 a 30 Angstroms. El tamaño de poro de la membrana puede seleccionarse dependiendo del tamaño de las moléculas de disolvente que requieren separación. En general, cuanto mayor sea el tamaño de poro, mayor será el flujo a través de la membrana.

55 Cualquier primera membrana selectiva adecuada puede usarse en el proceso de la presente invención. Puede usarse un conjunto de membranas. Las membranas selectivas adecuadas incluyen membranas integrales y membranas compuestas. Ejemplos específicos de membranas adecuadas incluyen membranas formadas de acetato de celulosa (CA) y membranas formadas de poliamida (PA). Preferiblemente, la membrana es una membrana selectiva de iones.

60 La membrana puede ser plana o tomar la forma de un tubo o fibra hueca. Si se desea, la membrana puede soportarse en una estructura de soporte, tal como un soporte de malla. La membrana puede ser corrugada o de una configuración tortuosa.

65 En una realización, pueden disponerse una o más membranas tubulares dentro de un alojamiento o carcasa. La primera solución puede introducirse en el alojamiento, mientras que la segunda solución puede introducirse en los tubos. Ya que el potencial osmótico de la primera solución es menor que el de la segunda solución, el disolvente se difundirá a través de la membrana desde la primera solución en la segunda solución. Por lo tanto, la segunda

solución se volverá cada vez más diluida y la primera solución, cada vez más concentrada. La segunda solución diluida puede recuperarse del interior de los tubos, mientras que la primera solución concentrada puede retirarse del alojamiento.

5 Cuando se emplea una membrana plana, la lámina puede enrollarse de tal forma que defina una espiral en sección transversal.

Pueden estar presentes uno o más solutos en cada una de las soluciones. En una realización preferida, la primera solución comprende una pluralidad de solutos, mientras que la segunda solución se forma disolviendo una o más sales conocidas en agua.

10 En el proceso de la presente invención, la primera solución se coloca en un lado de una membrana selectiva. Una segunda solución que tiene un potencial osmótico mayor se coloca en el lado opuesto de la membrana. La segunda solución tiene una concentración de soluto mayor (y por consiguiente una concentración de disolvente menor) que la primera solución.

20 Como resultado de la diferencia en el potencial osmótico entre la primera solución y la segunda solución, el disolvente pasa a través de la membrana desde el lado de bajo potencial osmótico al lado de alto potencial osmótico. El flujo tiene lugar con un flujo alto debido al gran tamaño de poro medio de la membrana. No se requieren presiones elevadas para inducir que el disolvente fluya. Sin embargo, puede aplicarse una diferencial de presión a través de la membrana, por ejemplo, para mejorar la velocidad del proceso de separación.

25 Aunque las especies de soluto en la primera solución pueden ser suficientemente pequeñas para pasar a través de los poros de la membrana, se evita que lo hagan al menos inicialmente debido al alto potencial osmótico en el otro lado de la membrana. El flujo de estas especies de soluto a través de la membrana es solamente posible una vez que el potencial osmótico sea igual en ambos lados de la membrana o el potencial osmótico sea mayor en la primera solución.

30 La segunda solución contiene especies de soluto que son muy grandes para pasar a través de los poros de la membrana. Como resultado, el disolvente de la primera solución se difundirá en la segunda solución a una velocidad alta, mientras que el paso de soluto entre las dos soluciones se limita o evita.

35 Opcionalmente, la segunda solución puede contener también especies de soluto que son suficientemente pequeñas para pasar a través de los poros de la membrana. Estas especies pequeñas no pasarán a través de la membrana si su concentración en la segunda solución está por debajo de su concentración en la primera solución. Por lo tanto, en una realización preferida, la segunda solución contiene opcionalmente al menos una especie de soluto que es suficientemente pequeña para pasar a través de los poros de la membrana en una concentración que es menor que la concentración de las especies correspondientes en la primera solución.

40 Ya que el disolvente pasa de la primera solución a la segunda solución, la primera solución se vuelve cada vez más concentrada. Una vez que la concentración de la primera solución alcanza un cierto umbral, la solución puede recuperarse o descartarse. Por lo tanto, el proceso de la presente invención puede usarse para convertir la primera solución en una forma concentrada para la eliminación. Como alternativa, puede retirarse más disolvente de la primera solución concentrada repitiendo la etapa de separación por membrana inicial. Específicamente, puede retirarse más disolvente de la primera solución concentrada colocando esta solución en un lado de una membrana semi-permeable. Una solución adicional que tiene un potencial osmótico que es mayor que el de la solución concentrada puede colocarse en el lado opuesto de la membrana, de forma que el disolvente de la primera solución concentrada pase a través de la membrana en la solución adicional. La solución adicional puede contener el mismo soluto o solutos y disolvente o disolventes que la segunda solución. Como alternativa, la solución adicional puede contener diferentes componentes.

55 Después de que el disolvente de la primera solución haya pasado a la segunda solución, la segunda solución puede recuperarse. La segunda solución puede estar a una presión elevada, incluso cuando no se aplica una presión para inducir que el disolvente fluya desde la primera solución a la segunda solución. Esto es debido a que el flujo de disolvente de la primera solución a la segunda solución tiene lugar a lo largo de un gradiente de concentración. Esta presión puede usarse para ayudar a la posterior extracción de disolvente de la segunda solución. Ya que el disolvente se extrae de la segunda solución por nanofiltración, la presión de la segunda solución puede usarse para suplementar la presión aplicada a la segunda solución para inducir que el disolvente fluya de la segunda solución a través de la membrana selectivamente permeable. Pueden usarse válvulas y otros dispositivos de regulación de la presión para controlar la presión de este modo. Pueden usarse una o más bombas para suplementar la presión de las corrientes del proceso si fuera necesario.

65 El flujo inicial de disolvente a través de la membrana puede ser de 2 a 80 $\text{lm}^{-2}\text{h}^{-1}$, preferiblemente, 5 a 40 $\text{lm}^{-2}\text{h}^{-1}$, por ejemplo, 15 a 20 $\text{lm}^{-2}\text{h}^{-1}$, incluso en ausencia de una presión aplicada en la primera solución. Sin embargo, el flujo puede variar dependiendo de un número de factores tales como el gradiente de concentración de dos soluciones a través de la membrana.

La velocidad del fluido a través de la superficie de la membrana puede variarse según se requiera para reducir el riesgo de ensuciamiento de la membrana. Generalmente, cuanto mayor sea la velocidad del fluido a través de la superficie de la membrana, menor será el riesgo de ensuciamiento.

5

Las membranas de nanofiltración se utilizan para extraer disolvente de la segunda solución.

La nanofiltración es particularmente adecuada para separar las especies de soluto grandes de la segunda solución del resto de la solución.

10

Las membranas de nanofiltración adecuadas incluyen membranas de poliamida reticuladas, tales como membranas de poliamida aromática reticulada. Las membranas pueden moldearse como una "capa superficial" en la parte superior de un soporte formado, por ejemplo, de una lámina de polímero microporoso. La membrana resultante tiene una estructura de material compuesto (por ejemplo una estructura de material compuesto de película delgada).

15

Típicamente, las propiedades de separación de la membrana se controlan mediante el tamaño de poro y la carga eléctrica de la "capa superficial". Las membranas pueden ser adecuadas para la separación de componentes que tienen un tamaño de 0,01 a 0,001 micrómetros y pesos moleculares de 100 g mol^{-1} o superiores, por ejemplo, 200 g mol^{-1} y superiores.

20

Así como filtrando partículas de acuerdo con el tamaño, las membranas de nanofiltración pueden filtrar también partículas de acuerdo con sus propiedades electrostáticas. Por ejemplo, en ciertas realizaciones, la carga superficial de la membrana de nanofiltración puede controlarse para proporcionar las propiedades de filtración deseadas. Por ejemplo, el interior de al menos alguno de los poros de la membrana de nanofiltración pueden cargarse negativamente, limitando o evitando el paso de especies aniónicas, particularmente aniones multivalentes.

25

Ejemplos de membranas de nanofiltración adecuadas incluyen Desal-5 (Desalination Systems, Escondido, California), membranas NF 70, NF 50, NF 40 y NF 40 HF (FilmTech Corp., Minneapolis, Minn), membrana SU 600 (Toray, Japón) y membranas NRT 7450 y NTR 7250 (Nitro Electric, Japón).

30

Las membranas de nanofiltración pueden agruparse como módulos de membrana. Pueden utilizarse las membranas enrolladas en espiral y las membranas tubulares, por ejemplo, encerradas en una carcasa. Como alternativa, las membranas pueden proporcionarse en forma de una placa o en un marco.

35

Puede usarse una combinación de técnicas para extraer el disolvente de la segunda solución. En una realización, se utiliza al menos una de las siguientes técnicas para extraer disolvente de la segunda solución en combinación con la nanofiltración: cristalización, destilación y ósmosis inversa. Cuando se usan técnicas de destilación, puede utilizarse al menos una de destilación ultrarrápida multi-etapa, destilación de múltiple efecto, compresión mecánica de vapor y destilación por pulverización rápida. Cuando se usa más de una técnica para extraer el disolvente de la segunda solución, las técnicas pueden realizarse secuencialmente o en paralelo.

40

En una realización, la segunda solución puede dividirse en dos partes. La primera parte puede tratarse mediante nanofiltración mientras que la segunda parte puede tratarse por cristalización y/o una técnica de destilación seleccionada entre al menos una de destilación ultrarrápida multi-etapa, destilación multi-efecto, compresión mecánica de vapor, MED-termocompresión y destilación por pulverización rápida. El residuo de la etapa de nanofiltración puede tratarse adicionalmente mediante una técnica de cristalización y/o una técnica de destilación tal como destilación multi-flash, destilación multi-efecto, compresión mecánica de vapor, MED-termocompresión y/o destilación por pulverización rápida.

45

50

En un ejemplo, puede extraerse disolvente de la segunda solución por nanofiltración, seguido de un método térmico tal como destilación ultrarrápida multi-etapa (MSF). La segunda solución que surge de la primera etapa del método de membrana puede estar a una presión osmótica elevada. Por ejemplo, esta presión puede usarse para ayudar a bombear la segunda solución a la unidad MSF.

55

En otro ejemplo, el disolvente puede extraerse de la segunda solución mediante dos o más etapas de separación por membrana que pueden, por ejemplo, realizarse en serie. La segunda solución que surge de la primera etapa de membrana puede estar a una presión osmótica elevada. Esta presión puede usarse para inducir que el disolvente fluya desde la segunda solución a través de una membrana selectiva posterior y/o membrana semi-permeable.

60

El disolvente en la primera solución es el mismo que el de la segunda solución. Por lo tanto, el disolvente extraído consiste básicamente en agua. El agua extraída puede recuperarse y usarse en su forma recuperada, o tratarse adicionalmente antes de su uso. Por ejemplo, el agua puede estabilizarse, por ejemplo, mediante etapas de post-tratamiento.

65

Cuando el disolvente se extrae de la segunda solución, un residuo sólido o solución residual permanece generalmente atrás. Este residuo o solución residual puede descartarse.

Como alternativa, el residuo sólido puede recuperarse y usarse para preparar la segunda solución recién preparada para extraer disolvente de la primera solución. La solución residual también puede recuperarse y reciclarse, por ejemplo, para su uso como segunda solución recién preparada para extraer disolvente de la primera solución. En ciertos casos, puede ser posible usar la solución residual directamente como la segunda solución recién preparada.

5 En otros casos, puede ser necesario pre-tratar la solución residual, por ejemplo, variando su concentración de este modo.

El proceso se usa para retirar impurezas del agua, tales como solución salina, tal como agua de mar o agua salobre. La retirada de impurezas de sal del agua de mar y agua salobre se conoce como desalación. Como alternativa, el proceso puede usarse para purificar el agua a partir de una corriente residual, tal como un efluente industrial, efluente agrícola o efluente doméstico. Por lo tanto, dichas corrientes residuales pueden usarse como la primera solución, o pretratarse para formar la primera solución. Las corrientes de aguas grises, por ejemplo, agua de lavado residual (por ejemplo lavandería) y corrientes de cauces, pueden purificarse también. En una realización, el agua residual de corrientes de suministro de lavado de coches, lavanderías y calderas en centrales eléctricas pueden purificarse usando el proceso de la presente invención para su reutilización.

10
15

El proceso de la presente invención puede usarse también para purificar agua de otras fuentes, por ejemplo, agua de ríos o fuentes subterráneas. Las fuentes de agua doméstica pueden purificarse también mediante la presente invención para producir agua potable.

20

La corriente de agua purificada puede usarse para una variedad de aplicaciones, por ejemplo, para uso industrial, agrícola, comercial y doméstico (por ejemplo para producir agua potable). En una realización, el agua purificada para bombear petróleo de pozos petrolíferos. (Para evitar la duda, la expresión "agua purificada" se refiere al agua que se ha tratado mediante el proceso de la presente invención. Por lo tanto, la corriente de agua purificada puede incluir una o más sales disueltas). En los métodos convencionales para la recuperación de petróleo, se inyecta agua de mar en un pozo petrolífero para forzar el petróleo del pozo a la superficie. El uso de agua de mar, sin embargo, genera graves problemas de funcionamiento y ajuste. Además, puede ser difícil separar el agua de mar del petróleo, dando lugar a problemas de separación una vez que se recupera el petróleo. Usando un agua purificada, estos problemas pueden paliarse y/o eliminarse. Además, el agua purificada puede estar a una presión osmótica elevada; esta presión aumentada puede usarse para ayudar al bombeo de agua en el pozo petrolífero.

25
30

La segunda solución es una solución que contiene especies de soluto que son muy grandes para pasar a través de los poros de la membrana. En una realización, sustancialmente todas las especies de soluto presentes en la segunda solución son muy grandes para pasar a través de los poros de la membrana. Las especies de soluto adecuadas pueden tener un peso molecular de 50 a 10000 g mol^{-1} , preferiblemente, 150 a 5000 g mol^{-1} y más preferiblemente, de 200 a 2000 g mol^{-1} .

35

El soluto en la segunda solución es una sal. La sal puede tener especies catiónicas y/o aniónicas que son mayores que el tamaño de poro medio de la membrana. Preferiblemente, las especies catiónicas y aniónicas solvatadas de la sal son mayores que el tamaño de poro medio de la membrana.

40

Las especies catiónicas adecuadas incluyen iones metálicos e iones de amonio. Los iones metálicos adecuados incluyen iones metálicos de los Grupos I a III. Ejemplos de iones metálicos del Grupo I adecuados incluyen iones de sodio y potasio. Ejemplos de iones metálicos del Grupo II adecuados incluyen iones de magnesio, calcio, estroncio y bario. Ejemplos de cationes del Grupo II adecuados incluyen iones de aluminio. También pueden usarse cationes complejos.

45

Cuando se usan iones de amonio, dichos iones pueden sustituirse, por ejemplo, con grupos alquilo, tales como grupos alquilo C_1 a C_{20} . También pueden usarse grupos alquilo sustituidos.

50

Los cationes tienen preferiblemente un diámetro medio mayor de 10 Angstroms en forma solvatada (por ejemplo hidratada). Preferiblemente, los cationes metálicos tienen diámetros de 11 a 100 Angstroms, más preferiblemente, de 15 a 50 Angstroms en forma solvatada (por ejemplo hidratada).

55

Las especies aniónicas adecuadas incluyen fluoruros, cloruros, bromuros, yoduros, sulfatos, sulfitos, sulfuros, carbonatos, hidrogenocarbonatos, nitratos, nitritos, nitruros, fosfatos, hidrogenofosfatos, aluminatos, boratos, bromatos, carburos, cloruros, percloratos, hipocloratos, cromatos, fluorsilicatos, fluorosilicatos, fluorosulfatos, silicatos, cianuros y cianatos.

60

Los aniones, tienen preferiblemente un diámetro medio de al menos 5 Angstroms en forma solvatada. Preferiblemente, los aniones tienen diámetros de 5 a 50 Angstroms, más preferiblemente, de 10 Angstroms a 40 Angstroms y más preferiblemente, de 20 a 30 Angstroms en forma solvatada.

65

Las sales preferidas incluyen sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ o $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), cloruro de magnesio ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), sulfato sódico ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), cloruro cálcico ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ o $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), hidrogenofosfato disódico ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) y alumbre potásica ($24\text{H}_2\text{O}$).

Opcionalmente, además de los solutos que son muy grandes para pasar a través de los poros de la membrana, la segunda solución puede incluir también solutos que son suficientemente pequeños para pasar a través de los poros de la membrana. Ejemplos de dichos solutos incluyen haluros de metales alcalinos, tales como cloruros de metales alcalinos, por ejemplo, como cloruro sódico y cloruro potásico.

Estas sales más pequeñas pueden separarse de la segunda solución usando el mismo o un método de separación diferente al utilizado para separar los solutos más grandes de la segunda solución. Por lo tanto, los solutos más pequeños pueden separarse mediante métodos de membrana y métodos térmicos, tales como los que se han descrito anteriormente. En una realización, los solutos mayores se separan mediante un método diferente al empleado para separar los solutos más pequeños de la segunda solución. Por ejemplo, los solutos más grandes pueden separarse por nanofiltración y los solutos más pequeños pueden separarse mediante al menos una de las técnicas de ósmosis directa, ósmosis inversa, cristalización y/o destilación.

Se utiliza agua como disolvente en la segunda solución.

La segunda solución tiene una composición conocida. Por ejemplo, en una realización, la segunda solución se forma introduciendo una cantidad conocida de un soluto en una cantidad conocida de disolvente. La segunda solución consiste básicamente en una sal seleccionada disuelta en agua. Formando la segunda solución de esta forma, puede producirse una solución sustancialmente limpia. La segunda solución está sustancialmente libre de partículas suspendidas, materia biológica y/u otros componentes que pueden provocar el ensuciamiento del aparato usado para extraer disolvente de la segunda solución. Por lo tanto, las técnicas de membrana pueden usarse para extraer disolvente de la segunda solución sin miedo de que los poros de la membrana se sometan a niveles inaceptablemente altos de ensuciamiento, por ejemplo, por materia biológica o partículas suspendidas.

La segunda solución en una solución acuosa de al menos una sal. La sal puede seleccionarse entre uno o más de sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ o $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), cloruro de magnesio ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), sulfato sódico ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), cloruro cálcico ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ o $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), hidrógenofosfato disódico ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) y alumbre potásica ($24\text{H}_2\text{O}$).

En una realización preferida, una solución salina (por ejemplo agua de mar o agua salobre) se usa como la primera solución y se coloca en un lado de la membrana. Una segunda solución que tiene una concentración de soluto mayor que la concentración de soluto de la solución salina se coloca en el otro lado de la membrana. Preferiblemente, una solución acuosa de sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ o $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), cloruro de magnesio ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), sulfato sódico ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), cloruro cálcico ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ o $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) e hidrogenofosfato disódico ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) o alumbre potásica ($24\text{H}_2\text{O}$) se utiliza como la segunda solución. Como se ha mencionado anteriormente, pueden incluirse los solutos adicionales, tales como aquellos que son suficientemente pequeños para pasar a través de los poros de la membrana. Ejemplos de dichos solutos incluyen cloruro sódico y cloruro potásico.

La segunda solución contiene un agente anti-incrustante y opcionalmente inhibidores de la corrosión, agentes anti-ensuciamiento y desinfectantes. Estos aditivos pueden contenerse en el sistema, por ejemplo, cuando la segunda solución se hace circular en un bucle continuo.

La diferencia en la concentración de soluto en cualquier lado de la membrana (o potencial osmótico) provoca que el agua de la solución salina (por ejemplo agua de mar o agua salobre) pase a la segunda solución mediante ósmosis. Ya que el flujo de agua tiene lugar a lo largo del gradiente de concentración, no se requieren altas presiones para inducir el flujo. Sin embargo, puede usarse un diferencial de presión a través de la membrana, si se desea.

Aunque las especies disueltas en la primera solución pueden ser suficientemente pequeñas para pasar a través de los poros de la membrana, se evita que lo hagan debido al alto potencial osmótico en el otro lado de la membrana. Ya que la segunda solución contiene especies de soluto que son muy grandes para pasar a través de los poros de la membrana, se evita que estas especies de soluto pasen al otro lado de la membrana. Como resultado, el agua de la primera solución se difundirá a la segunda solución a una velocidad alta, mientras que el paso de soluto entre las dos soluciones se limita o evita.

Esta etapa de separación puede realizarse en ausencia de una presión aplicada. Por lo tanto, aunque el ensuciamiento de la membrana puede tener lugar, por ejemplo, por materia biológica (por ejemplo algas marinas, algas, bacterias, hongos y plancton) y partículas suspendidas (por ejemplo polvo, tierra, barro, cieno, coloides orgánicos, sílice, precipitados y partículas de arena) en la solución salina (por ejemplo agua de mar o agua salobre), la membrana puede limpiarse o reemplazarse sin interrumpir una etapa costosa del proceso. Además, ya que esta etapa de separación puede realizarse sin presurización, no hay necesidad de volver a presurizar la membrana cuando se vuelve a comenzar el proceso.

El flujo de agua desde la solución salina diluye la segunda solución. Después, se extrae el agua de la segunda solución diluida usando nanofiltración.

En una realización se utiliza nanofiltración. La segunda solución puede colocarse en un lado de una membrana semi-permeable y someterse a una alta presión. El otro lado de la membrana se mantiene a una presión inferior. El diferencial de presión resultante provoca que el disolvente (por ejemplo agua) fluya a través de la membrana, dejando atrás una solución residual en el lado presurizado de la membrana.

El diferencial de presión utilizado en nanofiltración puede ser de aproximadamente 0,1 a 20 MPa, preferiblemente, de aproximadamente 0,5 a 15 MPa, más preferiblemente, de aproximadamente 0,7 a 7 MPa, y lo más preferible, de aproximadamente 1 a 3 MPa. Un lado de la membrana puede presurizarse, mientras que el otro lado puede mantenerse a presión atmosférica o sub-atmosférica. Preferiblemente, sólo se presuriza un lado de la membrana. El lado presurizado de la membrana puede someterse a una presión de aproximadamente 0,1 a 20 MPa, preferiblemente, de aproximadamente 0,5 a 15 MPa, más preferiblemente, de aproximadamente 0,7 a 7 MPa y lo más preferible de aproximadamente 1 a 3 MPa. Debe entenderse que la presión precisa requerida variaría dependiendo, por ejemplo, de las concentraciones de soluto relativas de las soluciones en cualquier lado de la membrana.

Como se ha explicado anteriormente, la segunda solución contiene un agente antiincrustante y está sustancialmente libre de componentes que provocan el ensuciamiento de la membrana (por ejemplo materia biológica y partículas suspendidas). La segunda solución puede contener también aditivos químicos tales como inhibidores de la corrosión, agentes anti-ensuciamiento y desinfectantes. En dichas realizaciones, la presión requerida para extraer disolvente de la segunda solución diluida por nanofiltración es generalmente menor que la presión requerida para extraer disolvente de la primera solución mediante ósmosis inversa usando la primera solución directamente. Por ejemplo, se requieren presiones de 5 a 8 MPa para desalar agua de mar directamente mediante ósmosis inversa.

El proceso de la presente invención puede ser continuo o un proceso discontinuo.

El flujo de disolvente a través de la membrana se ve influenciado generalmente por las condiciones térmicas. Por lo tanto, las soluciones en cualquier lado de la membrana pueden calentarse o enfriarse, si se desea. Las soluciones pueden calentarse a temperaturas de 30 a 100 °C, por ejemplo, de 40 a 80 °C. Como alternativa, las soluciones pueden enfriarse de -20 a 20 °C, por ejemplo, de 7 a 12 °C. La solución en un lado de la membrana puede calentarse, mientras que el otro lado se enfría. El calentamiento o enfriamiento puede realizarse en cada solución de forma independiente. Las reacciones químicas pueden realizarse también en cualquier lado de la membrana, si se desea.

El proceso de la presente invención puede comprender adicionalmente una etapa de pre-tratamiento de retirada de contaminantes, tales como partículas suspendidas y materia biológica, a partir de la primera solución (por ejemplo una corriente residual, agua de mar o agua salobre). Adicionalmente o alternativamente, puede añadirse un inhibidor umbral para controlar la incrustación a la primera solución. Pueden utilizarse también las etapas de pre-tratamiento para alterar el pH de la primera solución. Cuando se usa agua de mar como la primera solución, se utiliza preferiblemente agua de mar profunda ya que contiene generalmente pocas partículas suspendidas y menos materia biológica que el agua de mar obtenida de la superficie del océano. El proceso de extracción de disolvente de la primera solución puede realizarse opcionalmente en la superficie del océano o por la costa.

El potencial osmótico de la segunda solución puede mejorarse mediante microondas, láser electromagnético, campos eléctricos (electroósmosis) y tratamiento electrocinético.

Cualquier primera membrana selectiva adecuada puede usarse en el proceso de la presente invención. La membrana puede tener un tamaño de poro medio de 1 a 80 Angstroms, preferiblemente, de 5 a 70 Angstroms, más preferiblemente, de 10 a 65 Angstroms, por ejemplo, de 15 a 50 Angstroms. En una realización, la membrana tiene un tamaño de poro medio de 20 a 30 Angstroms.

Las membranas selectivas adecuadas incluyen membranas integrales y membranas compuestas. Ejemplos específicos de membranas adecuadas incluyen membranas formadas de acetato de celulosa (CA) y membranas formadas de poliamida (PA). Preferiblemente, la membrana es una membrana selectiva de iones. Pueden utilizarse también las membranas semi-permeables convencionales.

La membrana puede ser plana o tener forma de un tubo o fibra hueca. Si se desea, la membrana puede soportarse en una estructura de soporte, tal como un soporte de malla. La membrana puede ser corrugada o de una configuración tortuosa.

En una realización, una o más membranas tubulares pueden disponerse dentro de un alojamiento o carcasa. La primera solución puede introducirse en el alojamiento, mientras que la segunda solución puede introducirse en los tubos. Ya que la concentración de disolvente de la primera solución es mayor que la de la segunda, el disolvente se difundirá a través de la membrana desde la primera solución a la segunda solución. Por lo tanto, la segunda solución se vuelve cada vez más diluida y la primera solución, cada vez más concentrada. La segunda solución diluida puede recuperarse a partir del interior de los tubos, mientras que la primera solución concentrada puede retirarse del

alojamiento.

Cuando se utiliza una membrana plana, la lámina puede enrollarse de tal forma que defina una espiral en sección transversal.

5 Uno o más solutos pueden estar presentes en cada una de las soluciones. En una realización preferida, la primera solución comprende una pluralidad de solutos, mientras que la segunda solución se forma disolviendo uno o más solutos conocidos en un disolvente.

10 En el proceso de la presente invención, la primera solución se coloca en un lado de una membrana selectiva. Una segunda solución que tiene un potencial osmótico mayor se coloca en el lado opuesto de la membrana. La segunda solución tiene una concentración de soluto mayor (y por consiguiente concentración de disolvente menor) que la primera solución.

15 Como resultado de la diferencia en el potencial osmótico entre la primera solución y la segunda solución, el disolvente pasa a través de la membrana desde el lado de bajo potencial osmótico al lado de alto potencial osmótico. No se requieren altas presiones para inducir que el disolvente fluya. Sin embargo, puede aplicarse un diferencial de presión a través de la membrana, por ejemplo, para mejorar la velocidad del proceso de separación.

20 Aunque las especies de soluto en la primera solución pueden ser suficientemente pequeñas para pasar a través de los poros de la membrana, se evita que lo hagan debido al alto potencial osmótico en el otro lado de la membrana.

25 Ya que el disolvente pasa desde la primera solución a la segunda solución, la primera solución se vuelve cada vez más concentrada. Una vez que la concentración de la primera solución alcanza un cierto umbral, la solución puede recuperarse o descartarse. Por lo tanto, el proceso de la presente invención puede usarse para convertir la primera solución en una forma concentrada para la eliminación. Como alternativa, puede retirarse más disolvente de la primera solución concentrada repitiendo la etapa de separación por membrana inicial. De forma específica, puede retirarse más disolvente de la primera solución concentrada colocando esta solución en un lado de una membrana semi-permeable. Una solución adicional que tiene un potencial osmótico que es mayor que el de la solución concentrada puede colocarse en el lado opuesto de la membrana, de tal forma que el disolvente de la primera solución concentrada pase a través de la membrana a la solución adicional. La solución adicional puede contener el mismo soluto o solutos y disolvente o disolventes que la segunda solución. Como alternativa, la solución adicional puede contener diferentes componentes.

30 Después de que el disolvente de la primera solución haya pasado a la segunda solución, la segunda solución puede recuperarse. La segunda solución puede estar a una presión elevada, incluso cuando no se aplica una presión para inducir que el disolvente fluya de la primera solución a la segunda solución. Esto es debido a que el flujo de disolvente de la primera solución a la segunda solución tiene lugar a lo largo de un gradiente de concentración. Esta presión puede usarse para ayudar a la posterior extracción de disolvente de la segunda solución. Ya que el disolvente se extrae de la segunda solución por nanofiltración, la presión de la segunda solución puede usarse para suplementar la presión aplicada a la segunda solución para inducir que el disolvente fluya desde la segunda solución a través de la membrana selectivamente permeable utilizada. Las válvulas y otros dispositivos de regulación de la presión pueden usarse para controlar la presión de este modo. Pueden usarse también una o más bombas para suplementar la presión de las corrientes del proceso si fuera necesario.

45 El flujo inicial de disolvente a través de la membrana puede ser de 2 a 80 lm^2h^{-1} , preferiblemente, de 5 a 40 lm^2h^{-1} , por ejemplo, de 15 a 20 lm^2h^{-1} , incluso en ausencia de una presión aplicada en la primera solución. Sin embargo, el flujo puede variar dependiendo de un número de factores tales como el gradiente de concentración de las dos soluciones a través de la membrana.

50 La velocidad del fluido a través de la superficie de la membrana puede variarse según se requiera para reducir el riesgo de ensuciamiento de la membrana. Generalmente, cuanto mayor sea la velocidad del fluido a través de la superficie de la membrana, menor será el riesgo de ensuciamiento.

55 Las membranas de nanofiltración se utilizan para extraer disolvente de la segunda solución. La nanofiltración es particularmente adecuada para separar las especies de soluto grandes de la segunda solución a partir del resto de la solución.

60 Las membranas de nanofiltración adecuadas incluyen membranas de poliamida reticulada, tales como membranas de poliamida aromática reticulada. Las membranas pueden moldearse como una "capa superficial" en la parte superior de un soporte formado, por ejemplo, de una lámina de polímero microporosa. La membrana resultante tiene una estructura de material compuesto (por ejemplo una estructura de material compuesto de película delgada). Típicamente, las propiedades de separación de la membrana se controlan mediante el tamaño de poro y la carga eléctrica de la "capa superficial". Las membranas pueden ser adecuadas para la separación de componentes que tienen un tamaño de 0,01 a 0,001 micrómetros y pesos moleculares de 100 gmol^{-1} o superiores, por ejemplo, 200 gmol^{-1} y superiores.

Así como la filtración de partículas de acuerdo con el tamaño, las membranas de nanofiltración pueden filtrar también partículas de acuerdo con sus propiedades electrostáticas. Por ejemplo, en ciertas realizaciones, la carga superficial de la membrana de nanofiltración puede controlarse para proporcionar las propiedades de filtración deseadas. Por ejemplo, el interior de al menos alguno de los poros de la membrana de nanofiltración pueden cargarse negativamente, limitando o evitando el paso de especies aniónicas, particularmente aniones multivalentes.

Ejemplos de membranas de nanofiltración adecuadas incluyen Desal-5 (Desalination Systems, Escondido, California), membranas NF 70, NF 50, NF 40 y NF 40 HF (FilmTech Corp., Minneapolis, Minn), membrana SU 600 (Toray, Japón) y membranas NRT 7450 y NTR 7250 (Nitto Electric, Japón).

Las membranas de nanofiltración pueden agruparse como módulos de membrana. Pueden utilizarse las membranas enrolladas en espiral y las membranas tubulares, por ejemplo, contenidas en una carcasa. De forma alternativa, las membranas pueden proporcionarse en forma de una placa o en un marco.

Una combinación de técnicas con nanofiltración pueden usarse para extraer el disolvente de la segunda solución por cristalización, destilación y ósmosis inversa. Cuando se utilizan las técnicas de destilación, puede utilizarse al menos una de destilación ultrarrápida multi-etapa, destilación de efecto múltiple, compresión mecánica de vapor y destilación por pulverización rápida. Cuando se usa más de una técnica para extraer el disolvente de la segunda solución, las técnicas pueden realizarse secuencialmente o en paralelo.

En una realización, la segunda solución puede dividirse en dos partes. La primera parte puede tratarse por nanofiltración, mientras que la segunda parte puede tratarse por cristalización y/o una técnica de destilación seleccionada entre al menos una de destilación multi-flash, destilación multi-efecto (incluyendo MED-termocompresión), compresión mecánica de vapor y destilación por pulverización rápida. El residuo de la etapa de nanofiltración puede tratarse adicionalmente mediante cristalización y/o una técnica de destilación tal como destilación multi-flash, destilación multi-efecto, compresión mecánica de vapor y/o destilación por pulverización rápida.

En otra realización, puede extraerse disolvente de la segunda solución por nanofiltración seguido de cristalización y/o destilación térmica tal como destilación ultrarrápida multi-etapa, destilación multi-efecto, compresión mecánica de vapor y/o destilación por pulverización rápida. Puede utilizarse una membrana selectiva que tiene un tamaño de poro medio de al menos 10 Angstroms.

El disolvente en la primera solución es el mismo que el de la segunda solución. Por lo tanto, el disolvente extraído consiste básicamente en agua. El disolvente extraído puede recuperarse y usarse en su forma recuperada, o tratarse adicionalmente antes de su uso. El agua puede estabilizarse, por ejemplo, mediante etapas post-tratamiento.

Cuando el disolvente se extrae de la segunda solución, un residuo sólido o solución residual permanece generalmente atrás. Este residuo o solución residual puede descartarse.

Como alternativa, el residuo sólido puede recuperarse y usarse para preparar la segunda solución recién preparada para extraer disolvente de la primera solución. La solución residual puede recuperarse también y reciclarse, por ejemplo, para su uso como la segunda solución recién preparada para extraer disolvente de la primera solución. En ciertos casos, puede ser posible usar la solución residual directamente como la segunda solución recién preparada. En otros casos, puede ser necesario pre-tratar la solución residual, por ejemplo, variando su concentración de este modo.

De acuerdo con la presente invención, el proceso se usa para retirar impurezas del agua, tal como una solución salina, tal como agua de mar o agua salobre. La retirada de impurezas de sal del agua de mar y agua salobre se conoce como desalación. Como alternativa, el proceso puede usarse para purificar agua a partir de una corriente residual, tal como un efluente industrial, efluente doméstico o agrícola. Por lo tanto, dichas corrientes residuales pueden usarse como la primera solución, o pre-tratarse para formar la primera solución. Las corrientes de aguas grises, por ejemplo, agua de lavado residual (por ejemplo lavandería) y corrientes a partir de cauces, pueden purificarse también. En una realización, el agua residual a partir de corrientes de suministro de lavado de coches, lavanderías y calderas en centrales térmicas puede purificarse usando el proceso de la presente invención para su reutilización.

El proceso de la presente invención puede usarse también para purificar agua a partir de otras fuentes, por ejemplo, agua a partir de ríos o fuentes subterráneas. Las fuentes de agua domésticas pueden purificarse también usando el método de la presente invención para producir agua potable.

La corriente de agua purificada puede usarse para una variedad de aplicaciones, por ejemplo, para uso industrial, agrícola, comercial y doméstico (por ejemplo para producir agua potable). En una realización, el agua purificada para bombear petróleo a partir de los pozos petrolíferos. (Para evitar la duda, la expresión "agua purificada" se refiere al

- agua que se ha tratado mediante el proceso de la presente invención. Por lo tanto, la corriente de agua purificada puede incluir una o más sales disueltas). En los métodos convencionales para la recuperación de petróleo, se inyecta agua de mar en un pozo petrolífero para forzar el petróleo desde el pozo a la superficie. El uso de agua de mar, sin embargo, genera graves problemas de funcionamiento y ajuste. Además, puede ser difícil separar el agua de mar del petróleo, dando lugar a problemas de separación una vez que se recupera el petróleo. Usando un agua purificada, estos problemas pueden aliviarse y/o eliminarse. Además, el agua purificada puede estar a una presión osmótica elevada; esta presión aumentada puede usarse para ayudar al bombeo de agua en el pozo petrolífero.
- 5
- La segunda solución es una solución que contiene especies de soluto que son muy grandes para pasar a través de los poros de la membrana. En una realización, básicamente todas las especies de soluto presentes en la segunda solución son muy grandes para pasar a través de los poros de la membrana. Las especies de soluto adecuadas pueden tener un peso molecular de 50 a 10000 g mol^{-1} , preferiblemente, 100 a 5000 g mol^{-1} y más preferiblemente, de 200 a 2000 g mol^{-1} .
- 10
- El soluto en la segunda solución es una sal. La sal puede tener especies catiónicas y/o aniónicas que son mayores que el tamaño de poro medio de la membrana. Preferiblemente, ambas especies catiónicas y aniónicas solvatadas de la sal son mayores que el tamaño de poro medio de la membrana.
- 15
- Las especies catiónicas adecuadas incluyen iones metálicos e iones de amonio. Los iones metálicos adecuados incluyen iones metálicos de los Grupos I a III. Ejemplos de iones metálicos del Grupo I adecuados incluyen iones de sodio y potasio. Ejemplos de iones metálicos del Grupo II incluyen iones de magnesio, calcio, estroncio y bario. Ejemplos de cationes del Grupo II adecuados incluyen iones de aluminio. Pueden utilizarse también cationes complejos.
- 20
- Cuando se utilizan iones de amonio, dichos iones pueden sustituirse, por ejemplo, con grupos alquilo, tales como grupos alquilo C_1 a C_{20} . Pueden utilizarse también grupos alquilo sustituidos.
- 25
- Las especies aniónicas adecuadas incluyen fluoruros, cloruros, bromuros, yoduros, sulfatos, sulfitos, sulfuros, carbonatos, hidrogenocarbonatos, nitratos, nitritos, nitruros, fosfatos, aluminatos, boratos, bromatos, carburos, cloruros, hidrogenofosfatos, percloratos, hipocloratos, cromatos, fluorsilicatos, fluorosilicatos, fluorosulfatos, silicatos, cianuros y cianatos.
- 30
- Las sales preferidas incluyen sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ o $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), cloruro de magnesio ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), sulfato sódico ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), cloruro cálcico ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ o $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), alumbre potásica ($24\text{H}_2\text{O}$), hidrogenofosfato disódico ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), cloruro sódico (NaCl) y cloruro potásico (KCl).
- 35
- Se utiliza agua como disolvente en la segunda solución.
- La segunda solución tiene una composición conocida. La segunda solución consiste en un soluto seleccionado disuelto en un disolvente seleccionado. Formando la segunda solución de esta manera, puede producirse una solución sustancialmente limpia. La segunda solución está sustancialmente libre de partículas suspendidas, materia biológica y/u otros componentes que pueden provocar el ensuciamiento del aparato usado para extraer disolvente de la segunda solución. Por lo tanto, las técnicas de membrana pueden usarse para extraer disolvente de la segunda solución sin miedo de que los poros de la membrana se sometan a niveles inaceptablemente altos de ensuciamiento, por ejemplo, mediante materia biológica o partículas suspendidas.
- 40
- La segunda solución en una solución acuosa de al menos una sal. La sal puede seleccionarse entre uno o más de cloruro sódico, cloruro potásico, sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ o $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), cloruro de magnesio ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), sulfato sódico ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), cloruro cálcico ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ o $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), hidrogenofosfato disódico ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) y alumbre potásica ($24\text{H}_2\text{O}$).
- 45
- En una realización preferida, se usa una solución salina (por ejemplo agua de mar o agua salobre) como la primera solución y se coloca en un lado de la membrana. Una segunda solución que tiene una concentración de soluto mayor que la concentración de soluto de la solución salina se coloca en el otro lado de la membrana. Preferiblemente, una solución acuosa de cloruro sódico (NaCl), cloruro potásico (KCl), sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ o $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), cloruro de magnesio ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), sulfato sódico ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), cloruro cálcico ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ o $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), hidrogenofosfato disódico ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) y alumbre potásica ($24\text{H}_2\text{O}$) se utiliza como la segunda solución.
- 55
- La segunda solución puede contener adicionalmente aditivos químicos tales como inhibidores de corrosión, agentes anti-incrustamiento y desinfectantes. Los aditivos pueden estar contenidos en el sistema y reutilizarse, por ejemplo, cuando la segunda solución se hace circular en un bucle continuo.
- 60
- La diferencia en el potencial osmótico en cualquiera lado de la membrana provoca que el agua de la solución salina (por ejemplo agua de mar o agua salobre) pase a la segunda solución mediante ósmosis. Ya que el flujo de agua tiene lugar a lo largo del gradiente de concentración, no se requieren presiones altas para inducir el flujo. Sin
- 65

embargo, puede utilizarse un diferencial de presión a través de la membrana, si se desea.

Aunque las especies disueltas en la primera solución pueden ser suficientemente pequeñas para pasar a través de los poros de la membrana, se evita que lo hagan debido al alto potencial osmótico en el otro lado de la membrana.

5 La etapa de separación por membrana inicial puede realizarse en ausencia de una presión aplicada. Por lo tanto, aunque el ensuciamiento de la membrana puede tener lugar, por ejemplo, por materia biológica (por ejemplo algas marinas, algas, bacterias, hongos y plancton) y partículas suspendidas (por ejemplo polvo, tierra, barro, cieno, coloides orgánicos, sílice, precipitados y partículas de arena) en la solución salina (por ejemplo agua de mar o agua salobre), la membrana puede limpiarse o reemplazarse sin interrumpir una etapa costosa del proceso. Además, ya que esta etapa de separación puede realizarse sin presurización, no existe necesidad de volver a presurizar la membrana cuando se reinicia el proceso.

10 El flujo de agua desde la solución salina diluye la segunda solución. Después, se extrae agua de la segunda solución diluida por nanofiltración.

15 La segunda solución puede colocarse en un lado de una membrana y someterse a una alta presión. El otro lado de la membrana se mantiene a una presión inferior. El diferencial de presión resultante provoca que el disolvente (por ejemplo agua) fluya a través de la membrana, dejando una solución residual atrás en el lado presurizado de la membrana.

Puede utilizarse cualquier membrana de nanofiltración selectiva.

20 El diferencial de presión utilizado puede ser de aproximadamente 0,1 a 20 MPa, preferiblemente, de aproximadamente 0,5 a 15 MPa, más preferiblemente, de aproximadamente 0,7 a 7 MPa, y lo más preferible, de aproximadamente 1 a 3 MPa. Un lado de la membrana puede presurizarse, mientras que el otro lado puede mantenerse a una presión atmosférica o una presión sub-atmosférica. Preferiblemente, sólo se presuriza un lado de la membrana. El lado presurizado de la membrana puede someterse a una presión de aproximadamente 0,1 a 20 MPa, preferiblemente, de aproximadamente 0,5 a 15 MPa, más preferiblemente, de aproximadamente 0,7 a 7 MPa, y lo más preferible, de aproximadamente 1 a 3 MPa. Debe entenderse que la presión precisa requerida variaría dependiendo, por ejemplo, de las concentraciones de soluto relativas de las soluciones en cualquier lado de la membrana.

25 Como se ha explicado anteriormente, la segunda solución contiene un agente antiincrustamiento y está sustancialmente libre de componentes que provocan el ensuciamiento de la membrana (por ejemplo materia biológica y partículas suspendidas). La segunda solución puede contener también aditivos químicos tales como inhibidores de corrosión, agentes anti-ensuciamiento y desinfectantes. En dichas realizaciones, la presión requerida para extraer el disolvente de la segunda solución diluida por nanofiltración es generalmente menor que la presión requerida para extraer disolvente de la primera solución mediante ósmosis inversa usando la primera solución directamente. Por ejemplo, se requieren presiones de 5 a 8 MPa para desalar agua de mar directamente por ósmosis inversa.

30 El proceso de la presente invención puede ser continuo o un proceso discontinuo.

35 El flujo de disolvente a través de una membrana se ve influenciado generalmente por las condiciones térmicas. Por lo tanto, las soluciones en cualquier lado de la membrana pueden calentarse o enfriarse, si se desea. Las soluciones pueden calentarse a temperaturas de 30 a 100 °C, por ejemplo, de 40 a 80 °C. Como alternativa, las soluciones pueden enfriarse de -20 a 20 °C, por ejemplo, de 7 a 12 °C. La solución en un lado de la membrana puede calentarse, mientras que el otro lado se enfría. El calentamiento o enfriamiento puede realizarse en cada solución de forma independiente. Las reacciones químicas pueden realizarse también en cualquier lado de la membrana, si se desea.

40 El proceso de la presente invención puede comprender adicionalmente una etapa de pre-tratamiento de retirada de contaminantes, tales como las partículas suspendidas y la materia biológica, a partir de la primera solución (por ejemplo una corriente residual, agua de mar o agua salobre). Adicionalmente o alternativamente, puede añadirse un inhibidor umbral para controlar el incrustamiento a la primera solución. Pueden utilizarse también las etapas de pre-tratamiento para alterar el pH de la primera solución. Cuando se usa agua de mar como la primera solución, se utiliza preferiblemente agua de mar profunda ya que contiene generalmente pocas partículas suspendidas y menos materia biológica que el agua de mar obtenida a partir de la superficie del océano.

45 El proceso de extracción de disolvente de la primera solución puede realizarse opcionalmente en la superficie del océano o por la costa.

50 El potencial osmótico de la segunda solución puede mejorarse mediante microondas, láser electromagnético, campos eléctricos (electroósmosis) y tratamiento electrocinético.

Los procesos del primer y segundo aspecto de la presente invención pueden usarse para concentrar la primera solución. Por ejemplo, la primera solución puede concentrarse en una forma que es más conveniente para la eliminación (volumen reducido). Esto puede ser útil si la primera solución es una corriente residual.

5 Las realizaciones preferidas del proceso de la presente invención se describirán ahora, a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 es un diagrama de flujo esquemático de un aparato para desalar agua de mar mediante un proceso de ósmosis inversa convencional,

10 La Figura 2 es un diagrama de flujo esquemático de un aparato para desalar agua de mar usando un proceso de acuerdo con una primera realización de la presente invención,

La Figura 3 es un diagrama de flujo esquemático de un aparato para desalar agua de mar usando un proceso de acuerdo con una segunda realización de la presente invención,

15 La Figura 4 es un diagrama de flujo esquemático de un aparato para desalar agua de mar usando un proceso no de acuerdo con la presente invención,

La Figura 5 es un diagrama de flujo esquemático de un aparato para desalar agua de mar usando un proceso no de acuerdo con la presente invención,

La Figura 6 es un diagrama de flujo esquemático de un aparato para desalar agua de mar usando un proceso de acuerdo con una tercera realización de la presente invención,

20 La Figura 7 es un diagrama de flujo esquemático de un aparato para desalar agua de mar usando un proceso de acuerdo con una cuarta realización de la presente invención,

La Figura 8 es un diagrama de flujo esquemático de un aparato para desalar agua de mar usando un proceso de acuerdo con una quinta realización de la presente invención,

25 La Figura 9 es un diagrama de flujo esquemático de un aparato para desalar agua de mar usando un proceso de acuerdo con una sexta realización de la presente invención, y

La Figura 10 es un diagrama de flujo esquemático de un aparato para desalar agua de mar usando un proceso de acuerdo con una séptima realización de la presente invención.

30 Se hace referencia en primer lugar a la Figura 1 de los dibujos. Esta Figura representa un aparato 10 para realizar un proceso de desalación convencional por ósmosis inversa. El aparato 10 comprende una bomba de alta presión 12 y un módulo de membrana 14. El módulo 14 contiene una membrana semi-permeable 16.

35 En uso, se bombea agua de mar en el módulo 14 usando la bomba de alta presión 12. Esto provoca que el agua de mar entre en contacto con un lado de la membrana semi-permeable 16 en una alta presión. Típicamente, se utilizan presiones de 5 a 8 MPa. Como resultado, el agua fluye a través de la membrana 16, dejando una solución de agua de mar concentrada en el lado presurizado de la membrana 16. La solución de agua de mar concentrada puede retirarse y descargarse a través de la línea 18.

40 El agua recogida en el lado sin presurizar de la membrana 16 es sustancialmente pura y se retira del módulo 14 a través de la línea 20.

Después de un periodo de uso, la membrana semi-permeable 16 queda obstruida por depósitos y partículas suspendidas en el agua de mar. Por lo tanto, la etapa de ósmosis inversa tiene que pararse aproximadamente cada dos a cuatro meses para limpiar y/o reemplazar la membrana 16.

45 Se hace referencia ahora a la Figura 2 de los dibujos, que representa un aparato para desalar agua de mar usando un proceso de acuerdo con una primera realización de la presente invención.

50 El aparato 100 comprende un primer módulo de membrana 110 y un segundo módulo de membrana 112. Cada uno de los módulos 110, 112 contienen una membrana 114a, 114b. La primera membrana 114a es una membrana selectiva de iones que tiene un tamaño de poro medio de 10 Angstroms. La segunda membrana 114b es una membrana de nanofiltración.

55 El primer módulo de membrana 110 se acopla a un tanque de almacenamiento 116. El tanque de almacenamiento 116 se acopla al segundo módulo de membrana 112 a través de una bomba 118. El aparato 100 también comprende un tanque de mezcla 120 para producir una solución de sulfato de magnesio.

60 Se forma una solución de sulfato de magnesio en el tanque de mezcla 120 disolviendo una cantidad conocida de sulfato de magnesio en agua. La solución resultante tiene una concentración de sulfato de magnesio que es mayor que la concentración de sal disuelta total (TDS) del agua de mar en tratamiento.

65 Se introduce agua de mar en un lado de la membrana 114a del primer módulo de membrana 110 a través de la línea 122. La solución de sulfato de magnesio se introduce en el otro lado de la membrana 114a. Ya que la solución de sulfato de magnesio tiene una concentración de soluto que es mayor que la concentración de sal disuelta total (TDS) de agua de mar, el agua fluye a través de la membrana 114a por ósmosis directa. El flujo de agua diluye la solución de sulfato de magnesio, dejando atrás una solución residual salada en el lado del agua de mar de la membrana 114a. La última puede retirarse a través de la línea 124.

Los iones de magnesio y sulfato son muy grandes para pasar a través de los poros de la membrana 114a. Por lo tanto, no hay flujo de retorno de soluto desde la solución de sulfato de magnesio al agua de mar.

5 La solución de sulfato de magnesio diluida se recupera del primer módulo de membrana 110 y se transfiere al tanque de almacenamiento 116. La solución de sulfato de magnesio diluida se transfiere después al segundo módulo de membrana 112 usando la bomba 118.

10 En el segundo módulo de membrana 112, la solución de sulfato de magnesio diluida se introduce en el módulo de membrana 112 en el que se pone en contacto con un lado de una membrana de nanofiltración 114b. Los iones de magnesio y sulfato en la solución de sulfato de magnesio diluida son muy grandes para pasar a través de los poros de la membrana 114b y se retienen en la membrana como un residuo. Este residuo puede reciclarse al tanque de almacenamiento 120 a través de la línea 126.

15 El agua de la solución de sulfato de magnesio, por otro lado, pasa a través de la membrana de nanofiltración 114b y ésta se recupera a través de la línea 128.

20 Se hace ahora referencia a la Figura 3 de los dibujos, que representa un aparato para desalar agua de mar usando un proceso de acuerdo con una segunda realización de la presente invención. La realización de la Figura 3 es similar a la de la Figura 2 y se han usado números similares para ilustrar partes similares. El aparato de la Figura 3, sin embargo, incluye adicionalmente el tercer y cuarto módulos de membrana 130, 132.

25 Una solución de sulfato de magnesio y cloruro sódico se forma en el tanque de mezcla 120. La concentración de sal disuelta total (TDS) de la solución resultante es mayor que la TDS del agua de mar en tratamiento.

30 Se introduce agua de mar en un lado de la membrana 114a del primer módulo de membrana 110 a través de la línea 122. La solución de sulfato de magnesio/cloruro sódico se introduce en el otro lado de la membrana 114a. Ya que la solución de sulfato de magnesio/cloruro sódico tiene una concentración de soluto que es mayor que la concentración de sal disuelta total (TDS) de agua de mar, el agua fluye a través de la membrana 114a mediante ósmosis directa. El flujo de agua diluye la solución de sulfato de magnesio/cloruro sódico, dejando atrás una solución residual salada en el lado del agua de mar de la membrana 114a. La última puede retirarse a través de la línea 124.

35 La solución de sulfato de magnesio/cloruro sódico diluida se recupera a partir del primer módulo de membrana 110 y se transfiere al segundo módulo de membrana 112 usando la bomba 118.

40 En el segundo módulo de membrana 112, la solución de sulfato de magnesio/cloruro sódico diluida se hace pasar a través de una membrana de nanofiltración 114b. Ya que los iones de magnesio y sulfato son muy grandes para pasar a través de los poros de la membrana, éstos se retienen mediante la membrana de nanofiltración 114b como un residuo. Este residuo se recicla al tanque de mezcla 120 a través de la línea 126. Los iones de sodio y cloruro, por otro lado, son suficientemente pequeños para pasar a través de los poros de la membrana de nanofiltración 114b. Por lo tanto, la solución de cloruro sódico se recoge como un filtrado, que se transfiere al tercer módulo de membrana 130 para el tratamiento adicional.

45 En el tercer módulo de membrana 130, la solución de cloruro sódico se pone en contacto con un lado de una membrana semipermeable. Una solución de sulfato de magnesio que tiene una concentración de sales disueltas total mayor se pone en contacto con el otro lado de la membrana. Como resultado de la diferencia en la presión osmótica a través de la membrana, el agua fluye a través de la membrana para diluir la solución de sulfato de magnesio. La solución de cloruro sódico en el otro lado de la membrana se vuelve cada vez más concentrada y se recicla al tanque de almacenamiento 120.

50 La solución de sulfato de magnesio diluida se recupera del tercer módulo de membrana y se introduce en el cuarto módulo de membrana 132. En el cuarto módulo de membrana, la solución de sulfato de magnesio diluida se hace pasar a través de una membrana de nanofiltración. Ya que los iones de magnesio y sulfato son muy grandes para pasar a través de la membrana, se retienen mediante la membrana de nanofiltración como un residuo. Este residuo puede reciclarse al tercer módulo de membrana 130.

55 La solución de sulfato de magnesio diluida introducida en el cuarto módulo de membrana 132 puede estar a una presión elevada, debido al flujo de entrada de agua desde la solución de cloruro sódico. Esta presión elevada puede ayudar a presionar la solución de sulfato de magnesio a través de la membrana de nanofiltración en el cuarto módulo de membrana 132. Alternativamente o adicionalmente, puede usarse una bomba para ayudar al paso de líquido a través de la membrana.

60 El agua que pasa a través del módulo de nanofiltración es sustancialmente pura y ésta puede retirarse a través de la línea 134.

65 Se hace referencia ahora a la Figura 4 de los dibujos, que representa un aparato para desalar agua de mar usando

un proceso no de acuerdo con la presente invención.

El aparato 200 comprende un módulo de membrana 210 y una unidad de destilación ultrarrápida multi-etapa 212. El módulo de membrana 210 contiene una membrana semi-permeable convencional 214.

Se introduce el agua de mar 216 en un lado de la membrana 214. El otro lado de la membrana 214 está en contacto con una solución de sulfato de magnesio 218 que tiene una concentración de sales disueltas totales mayor que el agua de mar 216. La diferencia en el potencial osmótico provoca que el agua fría fluya a través de la membrana 214 mediante ósmosis directa. El flujo de agua diluye la solución de sulfato de magnesio, dejando atrás una solución residual salda en el lado del agua de mar de la membrana 214. La solución residual puede retirarse a través de la línea 219 y, opcionalmente, se hace volver al mar.

La solución de sulfato de magnesio diluida se recupera del módulo 210 y se transfiere a la unidad de destilación ultrarrápida multi-etapa 212. En la unidad de destilación ultrarrápida multi-etapa 212, la segunda solución se calienta y se introduce en una cámara de evaporación, en la que se somete a una presión por debajo de su presión de vapor. La reducción brusca en la presión provoca que ocurra la ebullición o inflamación. Los vapores inflamados pueden condensarse y separarse del resto de la solución a través de la línea 220. La solución restante se recicla al módulo 210 a través de la línea 222. Se utiliza una serie de cámaras de evaporación a fin de que la etapa de inflamación o evaporación tenga lugar en múltiples etapas.

La Figura 5 representa un aparato para desalar agua de mar usando un proceso no de acuerdo con la presente invención. El aparato de la Figura 5 es similar al aparato de la Figura 4. Por lo tanto, se han usado números similares para designar partes similares. A diferencia del aparato de la Figura 4, sin embargo, el aparato de la Figura 5 comprende dos módulos 210a y 210b que se usan en serie.

El primer módulo 210a comprende una membrana semi-permeable 214a para separar agua de mar 216 a partir de una solución 218a formada disolviendo una cantidad conocida de sulfato de magnesio en agua. El segundo módulo 210b comprende una membrana semi-permeable 214b para separar la solución 218a del primer módulo 210a a partir de una solución 218b formada disolviendo una cantidad conocida de sulfato de magnesio en agua.

En uso, el agua de mar 216 se hace circular a través del módulo 210a en un lado de la membrana 214a, mientras que la solución de sulfato de magnesio 218a se hace circular a través del módulo 214a en el lado opuesto de la membrana 214a. La solución de sulfato de magnesio en contacto con la membrana 214a tiene una concentración de sal disuelta total (solute) mayor que el agua de mar 216. Por lo tanto, el agua fluye desde el lado del agua de mar de la membrana 214a al lado de la membrana de solución 214a mediante ósmosis.

El flujo de agua a través de la membrana 214a diluye la solución de sulfato de magnesio 218a. La solución diluida 218a se hace circular a través del módulo 210b en un lado de la membrana 214b, mientras que la solución de sulfato de magnesio 218b se hace circular a través del módulo 210b en el lado opuesto de la membrana 214b. La solución 218b en contacto con la membrana 214b tiene una concentración de sal disuelta total (solute) mayor que la solución 218a en contacto con la membrana 214b. Por lo tanto, el agua fluye a través de la membrana 214b mediante ósmosis para diluir la solución de sulfato de magnesio 218b. La solución diluida 218b se introduce en la unidad de destilación ultrarrápida multi-etapa 212 de la manera que se ha descrito con referencia a la Figura 4.

Ya que el agua fluye a través de la membrana 214b por ósmosis, la solución de sulfato de magnesio 218a se vuelve cada vez más concentrada y ésta se recircula al primer módulo 210a.

La Figura 6 representa un aparato para desalar agua de mar usando un proceso de acuerdo con una tercera realización de la presente invención.

El aparato 300 comprende dos módulos de membrana 310, 312, una unidad de separación térmica 314 y una unidad de nanofiltración 316.

En uso, el agua de mar 318 se hace circular a través del primer módulo 310 en un lado de la membrana selectivamente permeable 320, mientras que la solución de sulfato de magnesio 322 se hace circular a través del módulo 310 en el lado opuesto de la membrana 320. La solución de sulfato de magnesio en contacto con la membrana 320 tiene una concentración de sal disuelta total (solute) mayor que el agua de mar 318. Por lo tanto, el agua fluye desde el lado del agua de mar de la membrana al lado de la solución de la membrana por ósmosis.

La solución de sulfato de magnesio diluida se retira del módulo 310 y se introduce en la unidad de separación térmica 314. En la unidad de separación térmica 314, la solución se enfría de tal forma que alguno de los solutos disueltos se retire de la solución por precipitación en la base de la unidad. El resto de la solución tiene una concentración de soluto reducida y se introduce en el segundo módulo de membrana 314 a través de la línea 324. La solución 326 retirada de la base de la unidad 314 tiene una concentración de soluto aumentada. Esta solución 326 se reutiliza para extraer agua del agua de mar en el módulo de membrana 310.

En el segundo módulo de membrana 312, la solución retirada a través de la línea 324 se pone en contacto con la membrana semi-permeable 328. Una solución de sulfato de magnesio 330 que tiene una concentración de sales disueltas total mayor que la solución retirada a través de la línea 324 se pone en contacto con el lado opuesto de la membrana. La diferencia en la presión osmótica en cualquier lado de la membrana 328 provoca que el agua fluya a través de la membrana 328 para diluir la solución de sulfato de magnesio 330.

La solución de sulfato de magnesio diluida 330 se retira y se introduce en la unidad de nanofiltración 316. La membrana de nanofiltración en la unidad 316 se utiliza para separar los componentes de soluto de la solución de sulfato de magnesio diluida. Una parte 332 del filtrado 332 se recupera, mientras que el resto 334 se hace volver al segundo módulo 312.

Las soluciones diluidas retiradas de los módulos de membrana 310, 312 pueden estar a una presión elevada, incluso cuando no se aplica una presión para inducir el flujo de agua a través de la membrana 320, 328. Esto es debido a que el flujo de agua tiene lugar a lo largo de un gradiente de concentración. Esta presión puede usarse para ayudar a la extracción posterior de agua de la solución diluida. Por ejemplo, el exceso de presión puede usarse para conducir la solución a través de la membrana en la unidad de nanofiltración 316.

La solución de sulfato de magnesio 322 circulada a través del primer módulo de membrana 310 puede reemplazar opcionalmente con hidrogenofosfato disódico ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$). La solubilidad de fosfato sódico es más sensible a la variación de temperatura que el sulfato de magnesio. Esto puede mejorar la eficiencia de la unidad de separación térmica 314.

El aparato de la Figura 7 es similar al aparato de la Figura 6. Por lo tanto, se han usado números similares para designar partes similares. A diferencia del aparato de la Figura 6, sin embargo, el aparato de la Figura 7 comprende adicionalmente una unidad de destilación ultrarrápida multi-etapa 336.

En uso, se recupera una parte 332 del filtrado a partir de la unidad de nanofiltración 316, mientras que el resto 334 del filtrado se introduce en la unidad de destilación multi-flash 336. En la unidad de destilación multi-flash 336, se separa el agua del filtrado 334 en forma de vapor, que se condensa y se recupera a través de la línea 338. La solución residual 340 a partir de la destilación ultrarrápida multi-etapa se hace volver al segundo módulo 312.

El aparato de la Figura 8 es similar al aparato de la Figura 6. Por lo tanto, se han usado números similares para designar partes similares. En uso, sin embargo, la solución de sulfato de magnesio diluida 322 a partir del primer módulo de membrana 310 se introduce directamente en el segundo módulo de membrana 312 en vez de la unidad de separación térmica 314.

En el segundo módulo de membrana 312, la solución de sulfato de magnesio diluida 322 se pone en contacto con una membrana semi-permeable 328. Una solución de sulfato de magnesio adicional 330 que tiene una concentración de sales disueltas total mayor que la solución 322 se pone en contacto con el lado opuesto de la membrana 328. La diferencia en la presión osmótica provoca que el agua fluya a través de la membrana 328 para diluir la solución de sulfato de magnesio adicional 330.

La solución diluida 330 a partir del segundo módulo 312 se introduce en la unidad de separación térmica 314. En la unidad de separación térmica 314, la solución se enfría de tal forma que los solutos disueltos en la solución precipiten en la base de la unidad 314. El resto de la solución tiene una concentración de soluto reducida y se retira de la parte superior de la unidad a través de la línea 324. Esta corriente se introduce en la unidad de nanofiltración 316, en la que se filtra para producir una corriente de agua filtrada. Una parte 332 de la corriente de agua se recupera, mientras que el resto se recicla al segundo módulo 312 a través de la línea 334.

La solución 326 a partir de la base de la unidad de separación térmica 314 tiene una concentración de soluto aumentada y se vuelve a utilizar para extraer agua del agua de mar en el segundo módulo de membrana 312.

En el aparato 400 de la Figura 9, se proporciona un módulo de membrana 410, una unidad de destilación ultrarrápida multi-etapa 412, una unidad de nanofiltración 416 y una unidad de separación térmica 414.

En uso, el agua de mar 418 se hace circular a través del primer módulo 410 en un lado de una membrana selectivamente permeable, mientras que la solución de sulfato de magnesio 420 se hace circular a través del módulo 410 en el lado opuesto de la membrana. La solución de sulfato de magnesio 420 en contacto con la membrana tiene una concentración de sal disuelta total (soluto) mayor que el agua de mar 418. Por lo tanto, el agua fluye desde el lado del agua de mar de la membrana al lado de solución de la membrana por ósmosis.

Una parte 422 de la solución de sulfato de magnesio diluida 420 se introduce en la unidad de destilación ultrarrápida multi-etapa 412. En la unidad 412, el vapor extraído de la solución se condensa como una corriente de agua pura 424. La solución residual 426 que surge de la unidad 412 se introduce en la unidad de separación térmica 414. En la unidad de separación térmica 414, la solución 426 se enfría de tal forma que al menos alguno de los solutos disueltos en la solución se retire de la solución por precipitación en la base de unidad 414. El resto 428 de la

solución tiene una concentración de soluto reducida y se filtra en la unidad de nanofiltración 416 para proporcionar una corriente de agua pura 430. La solución a partir de la base de la unidad de separación térmica 414 se retira y se hace volver al módulo de membrana 410.

- 5 El aparato de la Figura 10 es similar al aparato de la Figura 9 y se han usado números similares para designar partes similares.

10 En uso, la solución 420 se retira del módulo de membrana 410 y se introduce en la unidad de separación térmica 414. En la unidad de separación térmica 414, la solución 420 se enfría de tal forma que los solutos disueltos precipiten a partir de la solución en la base de la unidad 414. El resto de la solución tiene una concentración de soluto reducida. Esta solución 428 se retira de la unidad 414 y se introduce en la unidad de nanofiltración 416. La solución en la base de la unidad tiene una concentración de soluto mayor y se introduce en la unidad de destilación ultrarrápida multi-etapa 412.

15 En la unidad de nanofiltración 416, la solución 428 se hace pasar a través de una membrana de nanofiltración (no mostrado) que separa el agua de la solución 428. Una parte del agua se extrae a través de la línea 430, mientras que el resto se retira a través de la línea 436 para la purificación adicional mediante destilación ultrarrápida multi-etapa.

20 En la unidad de destilación ultrarrápida multi-etapa 412, se extrae el agua de la solución 434 en forma de vapor, que se condensa como una corriente de agua pura 424. La solución residual 426 a partir de la unidad de destilación ultrarrápida multi-etapa se recicla al módulo de membrana 410.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para retirar agua de una primera solución, dicho proceso que comprende:

5 i) proporcionar una primera solución que comprende agua de mar o agua salobre,
 ii) formar una segunda solución que tiene un potencial osmótico mayor que la primera solución disolviendo un soluto seleccionado que es una sal en agua,

10 a) colocar una primera membrana selectiva entre la primera solución y la segunda solución, de tal forma que el agua de la primera solución pase a través de la primera membrana para diluir la segunda solución por ósmosis directa, y
 b) recuperar agua a partir de la segunda solución diluida por nanofiltración, en la que la segunda solución se forma usando solutos que son muy grandes para pasar a través de los poros de la membrana de nanofiltración;

15 en el que la segunda solución formada en la etapa (ii) está sustancialmente libre de partículas suspendidas, materia biológica y componentes que provocan el ensuciamiento de los aparatos usados en la etapa b); y en el que se incluye un agente anti-incrustamiento en la segunda solución.

20 2. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en el que una presión elevada inducida en la segunda solución por flujo de entrada de agua a partir de la primera solución se usa para asistir la extracción de agua de la segunda solución.

25 3. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la membrana de nanofiltración es adecuada para la separación de componentes que tienen un tamaño de 0,001 a 0,01 micrómetros.

4. El proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las especies de soluto en la segunda solución comprenden al menos una especie catiónica y/o al menos una especie aniónica que es mayor que un tamaño de poro medio de la membrana de nanofiltración.

30 5. El proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende dividir la segunda solución diluida a partir de la etapa (a) en una primera parte y una segunda parte, extrayendo disolvente de la primera parte haciendo pasar la primera parte a través de la membrana de nanofiltración de la etapa (b), y extrayendo disolvente de la segunda parte mediante cristalización y/o destilación.

35 6. El proceso de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el residuo a partir de la etapa de nanofiltración (b) se trata mediante una técnica de cristalización y/o destilación.

40 7. El proceso de acuerdo con la reivindicación 6, en el que la técnica de cristalización y/o destilación se selecciona entre destilación multi-flash, destilación multi-efecto, compresión mecánica de vapor, MED-termocompresión y destilación por pulverización rápida.

45 8. El proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el soluto en la segunda solución se selecciona entre el grupo que consiste en sulfato de magnesio, cloruro de magnesio, sulfato sódico, cloruro cálcico, alumbre potásica, cloruro potásico, cloruro sódico e hidrogenofosfato disódico.

9. El proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la primera membrana de la etapa a) tiene un tamaño de poro medio de 5 a 50 Angstroms.

50 10. El proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la solución en cualquier lado de la primera membrana selectiva se calienta a una temperatura de 30 a 80 °C.

55 11. El proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se usa una combinación de técnicas para recuperar agua a partir de la segunda solución.

12. El proceso de acuerdo con la reivindicación 11, en el que las técnicas se realizan secuencialmente o en paralelo.

60 13. El proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el agua se recupera a partir de la segunda solución mediante una técnica de membrana seguido de una técnica seleccionada entre destilación ultrarrápida multi-etapa, destilación multi-efecto, compresión mecánica de vapor, desalación por pulverización rápida y cristalización.

65 14. El proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el agua recuperada del proceso se utiliza para bombear petróleo de los pozos petrolíferos.

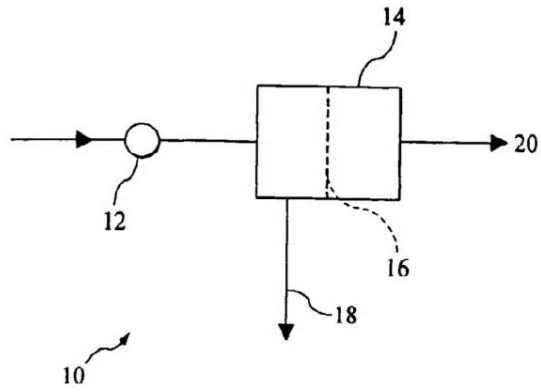


FIG. 1

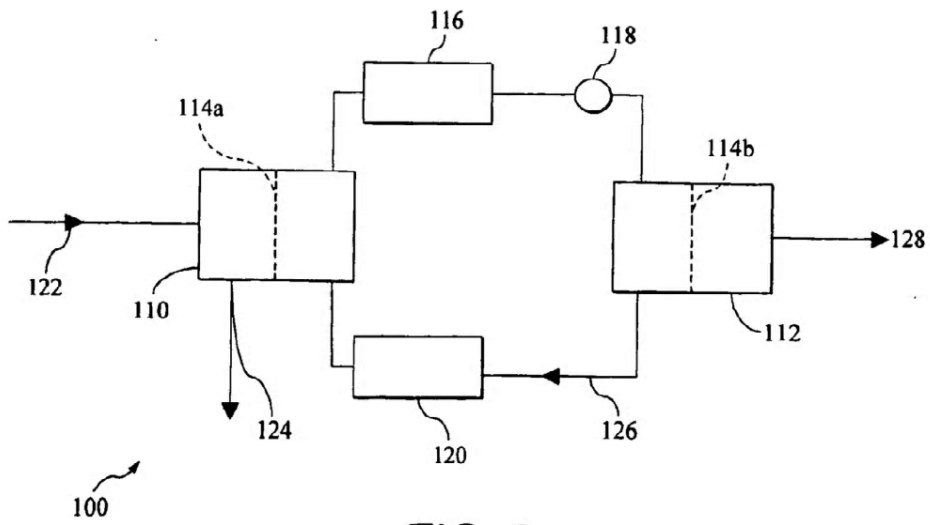


FIG. 2

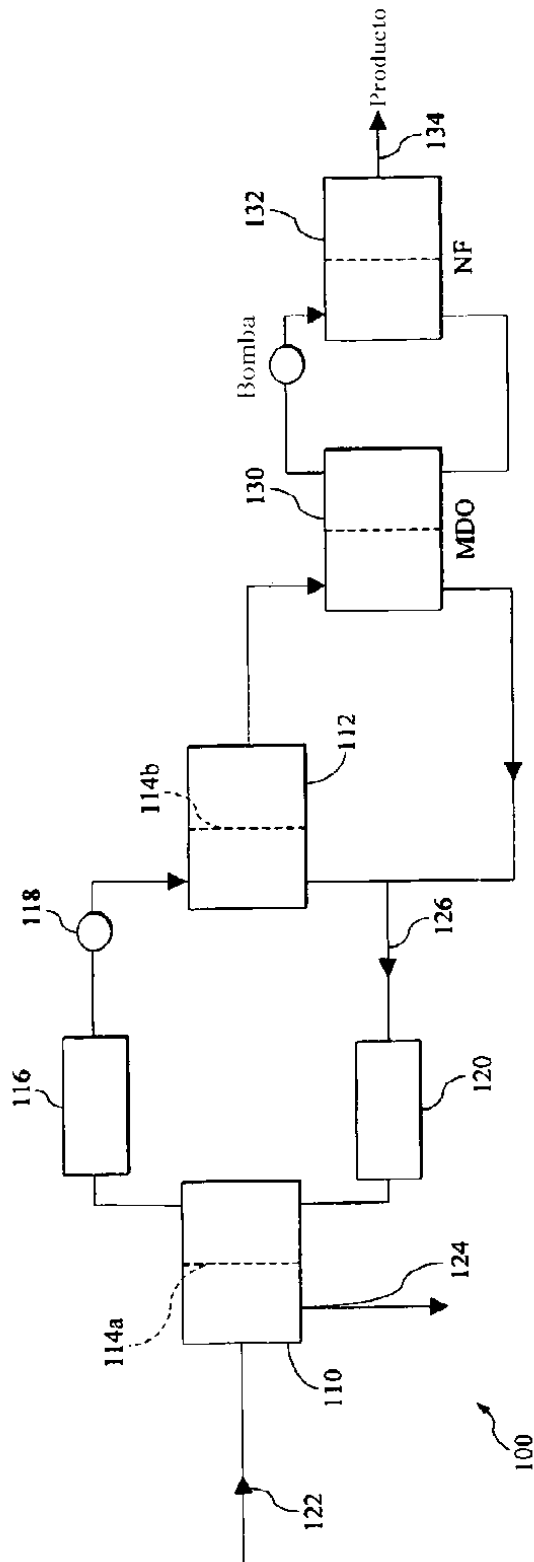
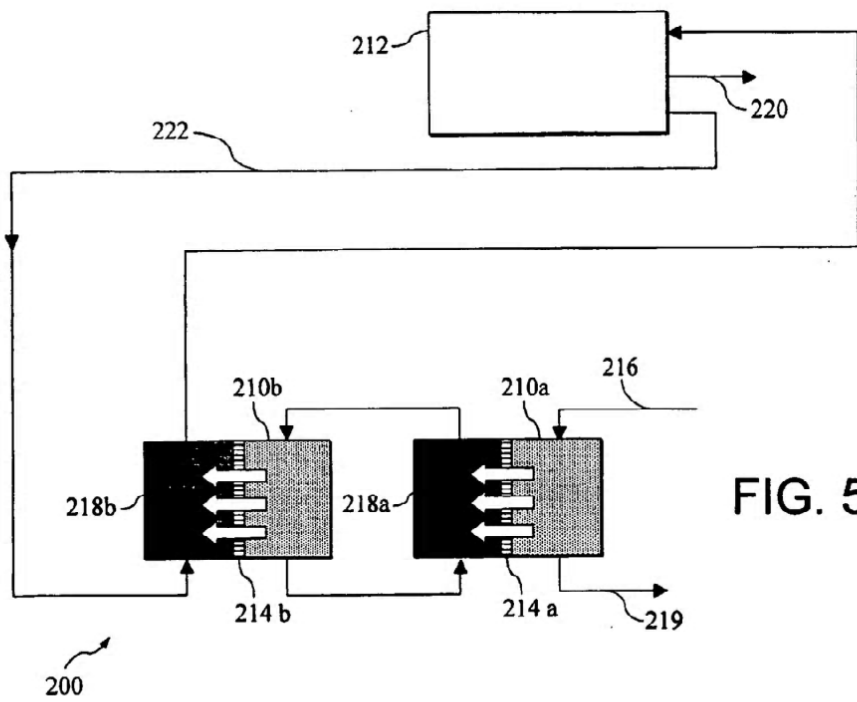
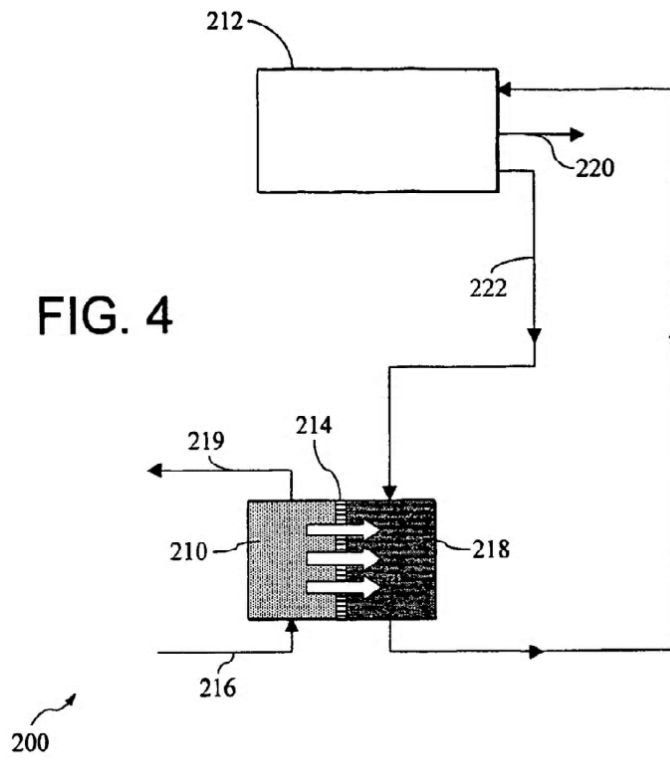


FIG. 3



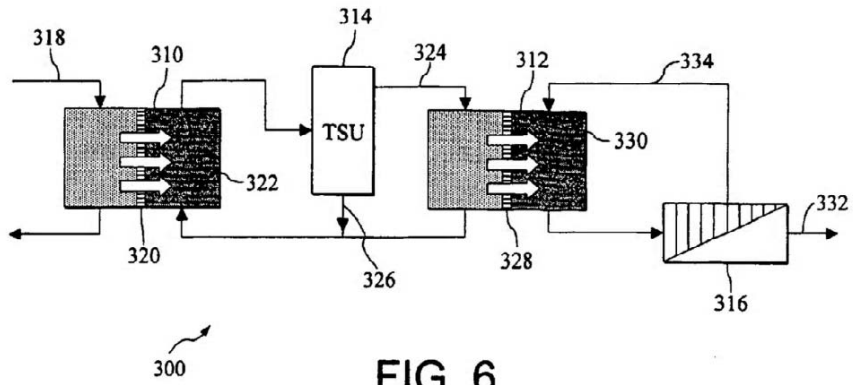


FIG. 6

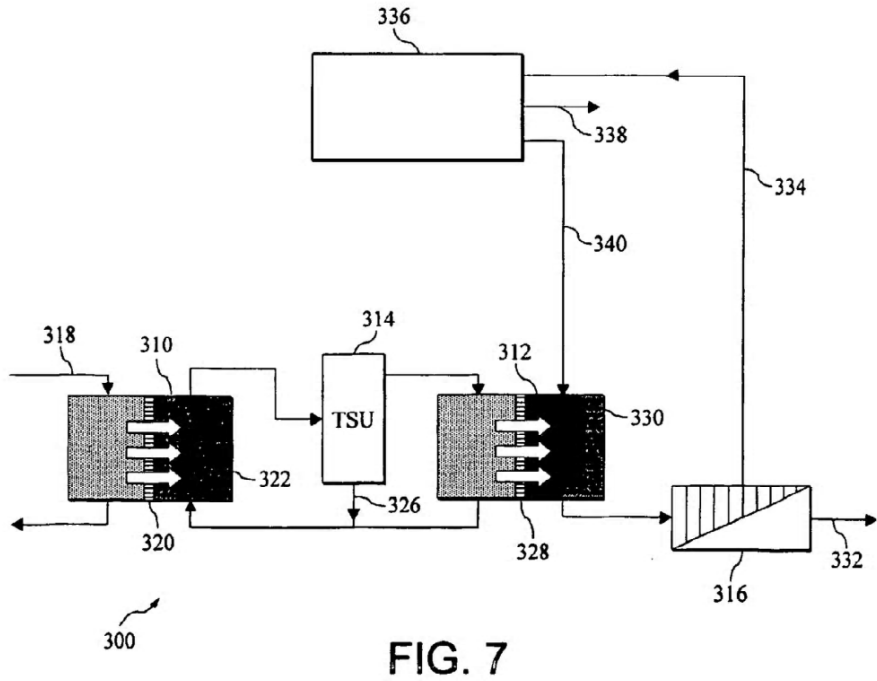


FIG. 7

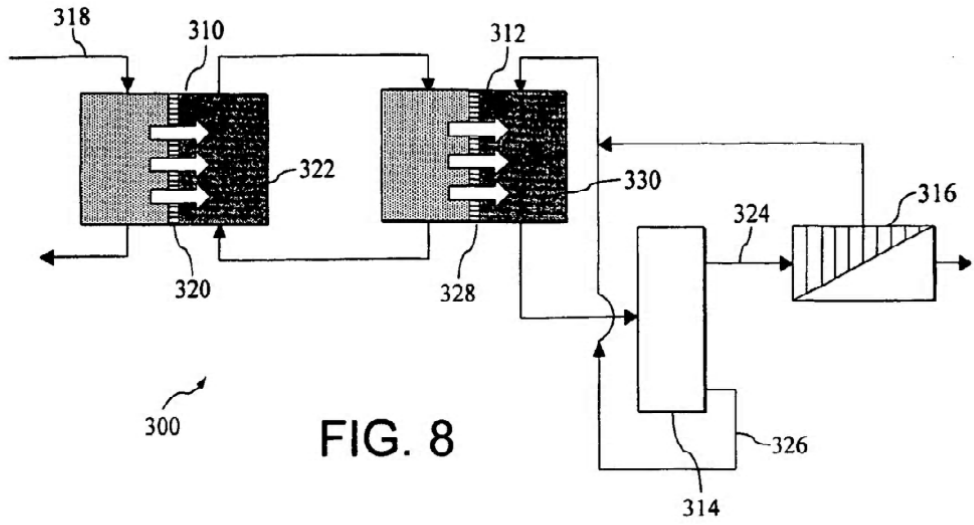


FIG. 8

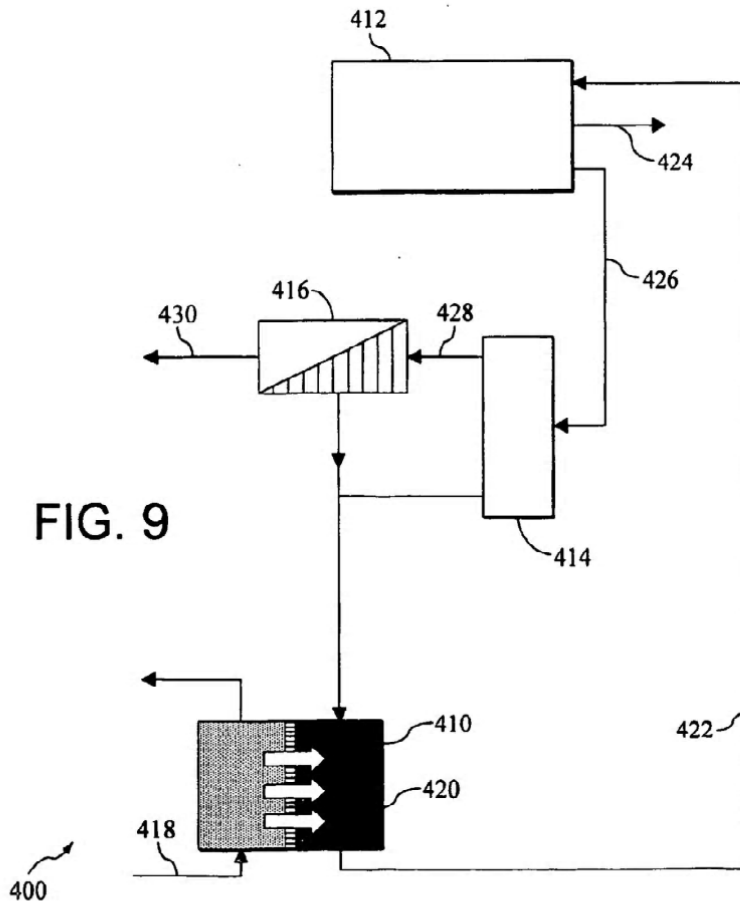


FIG. 9

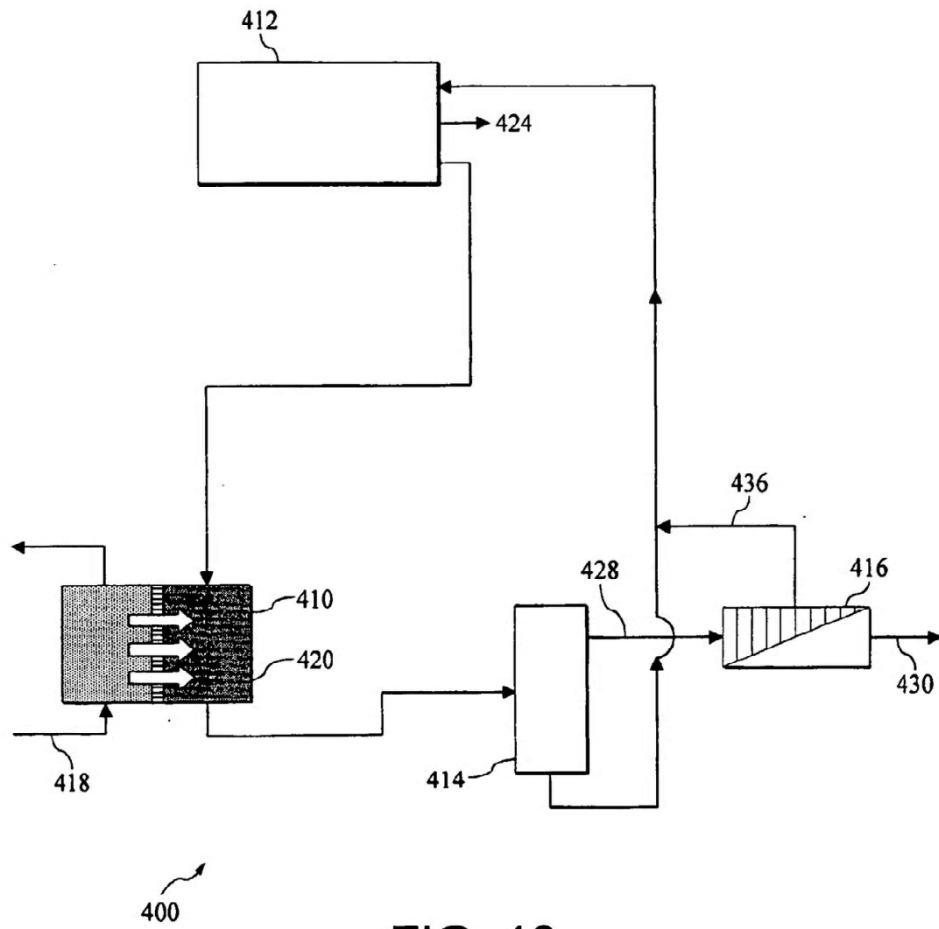


FIG. 10