

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 672 350**

51 Int. Cl.:

B01D 61/00 (2006.01)

B01D 61/58 (2006.01)

C02F 1/44 (2006.01)

B01D 61/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.12.2009 PCT/GB2009/002844**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.06.2010 WO10067063**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.12.2009 E 09795517 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.03.2018 EP 2367613**

54 Título: **Proceso de separación de solvente basado en membrana**

30 Prioridad:

08.12.2008 GB 0822359

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.06.2018

73 Titular/es:

**SURREY AQUATECHNOLOGY LIMITED (100.0%)
Bramley House The Guildway Old Portsmouth
Road
Guildford, Surrey GU3 1LR, GB**

72 Inventor/es:

SHARIF, ADEL

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 672 350 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

Proceso de separación de solvente basado en membrana

5 La presente invención se refiere a un proceso para separar un solvente (por ejemplo, agua) de una solución. En particular, aunque no exclusivamente, la presente invención se refiere a un proceso para eliminar agua de una solución acuosa, tal como agua de mar.

10 El documento WO 2005/012185 describe un proceso para eliminar un solvente de la solución, por ejemplo, para separar agua del agua de mar, aunque no exclusivamente. El proceso implica posicionar una membrana semipermeable entre la primera solución, que puede ser agua de mar, y una segunda solución que tiene un potencial osmótico mayor que el primero. La diferencia en las concentraciones de soluto (potencial osmótico) hace que el solvente de la primera solución fluya a través de la membrana para diluir la segunda solución por ósmosis directa. La segunda solución diluida se pasa
15 luego a través de una membrana de nanofiltración u ósmosis inversa. Las especies relativamente grandes en la segunda solución son retenidas por la membrana de nanofiltración o la membrana de ósmosis inversa, mientras que el agua pasa a través de la membrana de nanofiltración o la membrana de ósmosis inversa.

Aunque el proceso de separación descrito en el documento WO 2005/012185 es eficaz, se ha descubierto que algunas especies de soluto de la primera solución fluyen a través de la membrana a la segunda solución en la etapa de ósmosis
20 directa. Estas especies pueden afectar las presiones osmóticas de las segundas soluciones diluidas y concentradas y, además, una porción puede retenerse dentro de la segunda solución concentrada después del tratamiento en la membrana de nanofiltración u ósmosis inversa. La retención de estas especies desde la primera solución dentro de la segunda solución recirculante afecta la estabilidad del proceso y estas especies pueden ser indeseables desde una perspectiva de corrosión, aumentando la presión osmótica más allá de lo deseado y pueden afectar negativamente al
25 solvente producido a partir de la segunda solución vía la etapa de nanofiltración u ósmosis inversa, en particular, si está presente por encima de las concentraciones umbral.

De acuerdo con la presente invención, se proporciona un proceso para separar solvente de una solución fuente, que comprende

30 posicionar una membrana selectiva entre una solución fuente y una solución de extracción que tiene una concentración de soluto más alta que la solución fuente, tal que el solvente de la solución fuente fluye a través de la membrana selectiva por ósmosis directa para diluir la solución de extracción, dejando solución de fuente concentrada en el lado del producto retenido de la membrana selectiva, donde la solución fuente comprende un segundo soluto, y en el que la solución de
35 extracción comprende un primer soluto;

pasar la solución de extracción diluida a través de una membrana selectiva bajo condiciones de ósmosis inversa para separar el solvente de la solución, y

40 pasar intermitentemente al menos una porción de la solución de extracción en el lado del producto retenido de la membrana selectiva a través de una membrana de nanofiltración para separar más solvente de parte de la solución de extracción, en la que una parte de la solución en el resto retenido de la membrana de nanofiltración se recicla a la etapa de ósmosis directa;

45 en el que la solución que pasa a través de la membrana selectiva bajo condiciones de ósmosis inversa comprende un primer soluto y un segundo soluto, en el que el primer soluto y el segundo soluto son retenidos sustancialmente por la membrana selectiva en el paso de ósmosis inversa, y el primer soluto y no el segundo soluto se retiene sustancialmente mediante la membrana de nanofiltración en la etapa de nanofiltración y en el que el segundo soluto puede pasar la primera
50 membrana selectiva.

Como se mencionó anteriormente, el solvente se separa de la solución utilizando ósmosis inversa.

La membrana selectiva empleada en la etapa de ósmosis inversa (es decir, la membrana de ósmosis inversa) tiene ventajosamente un tamaño de poro promedio (por ejemplo, media) que es suficientemente pequeño para retener solutos,
55 tales como cloruro de sodio y sulfato de magnesio, en el lado del producto retenido de la membrana. Como resultado, el solvente (por ejemplo, agua) que pasa a través de la membrana selectiva está sustancialmente libre de estos solutos.

Para evitar la acumulación indeseable de solutos potencialmente corrosivos, tales como cloruro de sodio, en el lado del producto retenido de la membrana, al menos una porción de la solución en el lado del producto retenido de la membrana se purga al pasar intermitentemente la porción de solución a través de una membrana de nanofiltración. La frecuencia y/o
60 duración de la etapa de nanofiltración puede ajustarse para mantener la concentración de solutos indeseables en el lado del producto retenido de la membrana por debajo de un valor umbral.

Como se mencionó anteriormente, al menos una porción de la solución en el lado del producto retenido de la membrana selectiva y/o al menos una porción de la solución residual se pasa intermitentemente a través de una membrana de nanofiltración para separar el solvente adicional de la porción de la solución. Por "intermitente", se entiende que la porción

- de solución no pasa continuamente a través de la membrana de nanofiltración durante la etapa de ósmosis inversa. En su lugar, la porción de solución pasa a través de la membrana de nanofiltración de manera discontinua o de inicio, de modo que, durante la duración del proceso, la etapa de ósmosis inversa o separación térmica puede tener lugar sin que se produzca la etapa de nanofiltración al mismo tiempo. Por ejemplo, al menos una porción de la solución en el lado del producto retenido de la membrana selectiva se pasa a través de la membrana de nanofiltración durante 0.1 a 10 horas, preferiblemente de 0.25 a 5 horas, más preferiblemente de 1 a 2 horas. Esta etapa de nanofiltración puede luego ser detenida, por ejemplo, durante 0.1 a 10 horas, preferiblemente de 0.25 a 5 horas, más preferiblemente de 1 a 2 horas, antes de volver a comenzar, como se describió anteriormente.
- La etapa de nanofiltración puede llevarse a cabo en una serie de etapas. Por ejemplo, se pueden emplear dos o más unidades de nanofiltración en serie. Alternativa o adicionalmente, las unidades de nanofiltración pueden funcionar en paralelo.
- El tamaño de poro promedio (por ejemplo, media) de la membrana de nanofiltración es suficientemente grande para permitir que solutos, tales como cloruro de sodio, pasen a través de la membrana, pero suficientemente pequeños para evitar solutos, tales como sulfato de magnesio y otros aditivos químicos deseables para pasar a través de la membrana. Al permitir que los solutos, como el cloruro de sodio, pasen a través de la membrana de nanofiltración de esta manera, la concentración de solutos, como cloruro de sodio, en el lado del producto retenido de la membrana selectiva se mantiene por debajo de un valor umbral, reduciendo el riesgo de corrosión de equipo de proceso. Aunque la membrana de nanofiltración puede permitir que los solutos, tales como cloruro de sodio, pasen al filtrado, la concentración de tales solutos puede mantenerse por debajo de un valor umbral controlando la frecuencia y/o la duración de la etapa de nanofiltración. De esta forma, se puede alcanzar un equilibrio entre los riesgos asociados con la acumulación de solutos corrosivos en el equipo de proceso y finalmente se obtiene la pureza del solvente separado.
- La etapa de ósmosis inversa puede llevarse a cabo en una serie de etapas y a una presión elevada para impulsar la solución (líquida) a través de la membrana selectiva. Por ejemplo, la etapa de ósmosis inversa puede llevarse a cabo a una presión de 25 a 120 bar, preferiblemente de 50 a 100 bar, más preferiblemente de 60 a 80 bar.
- La etapa de nanofiltración también se puede llevar a cabo a una presión elevada. Por ejemplo, la etapa de nanofiltración puede llevarse a cabo a una presión de 25 a 120 bar, preferiblemente de 40 a 100 bar, más preferiblemente de 50 a 80 bar. Como se mencionó anteriormente, la solución del lado del producto retenido de la membrana selectiva de la etapa de ósmosis inversa se pasa a través de la membrana de nanofiltración. Como esta solución está en el lado de alta presión de la membrana, puede que no sea necesario aplicar más presión a la solución a medida que pasa a través de la membrana de nanofiltración. Sin embargo, es posible aplicar presión adicional a la solución a medida que pasa a través de la membrana de nanofiltración, si se desea.
- La membrana selectiva empleada en la etapa de ósmosis inversa puede tener un tamaño de poro promedio (por ejemplo, media) de 0.5 a 80 Angstroms, preferiblemente de 2 a 50 Angstroms. En una realización preferida, la membrana tiene un tamaño de poro promedio (por ejemplo, media) de 3 a 30 Angstroms. El tamaño de poro de la membrana puede seleccionarse dependiendo del tamaño de los solutos que requieren separación. Por ejemplo, para separar el cloruro de sodio de la solución, el tamaño de poro promedio (por ejemplo, media) de la membrana puede ser de 1 a 10 Angstroms, por ejemplo, de 3 a 10 Angstroms. El tamaño de poro (por ejemplo, tamaño medio de poro) se puede medir utilizando cualquier técnica adecuada. Por ejemplo, se puede emplear un método de flujo diferencial (Japan Membrane Journal, volumen 29; No. 4; páginas 227-235 (2004)).
- Las membranas selectivas adecuadas para la etapa de ósmosis inversa incluyen membranas integrales y membranas compuestas. Ejemplos específicos de membranas adecuadas incluyen membranas formadas de acetato de celulosa (CA) y/o triacetato de celulosa (CTA), tales como o similares a los utilizados en el estudio de McCutcheon et al., Desalination 174 (2005) 1-11 y membranas formadas de poliamida (PA). Se puede emplear una matriz de membranas.
- La membrana selectiva puede ser plana o tomar la forma de un tubo o fibra hueca. Por ejemplo, se puede usar una configuración tubular de membranas de fibra fina huecas. Si se desea, la membrana puede estar soportada sobre una estructura de soporte, tal como un soporte de malla. Cuando se emplea una membrana plana, la lámina puede enrollarse de manera que define una espiral en sección transversal. Cuando se emplea una membrana tubular, se pueden disponer una o más membranas tubulares dentro de una carcasa o cubierta. La solución puede introducirse en el alojamiento, mientras que el solvente puede eliminarse como un filtrado de los tubos o viceversa.
- La membrana selectiva empleada en la etapa de ósmosis inversa tiene preferiblemente un tamaño de poro promedio más pequeño que la membrana de nanofiltración empleada en la etapa de nanofiltración. En una realización, el diámetro de poro promedio de la membrana utilizada en la etapa de ósmosis inversa es de 10 a 80%, preferiblemente de 20 a 50%, del diámetro medio de poro de la membrana de nanofiltración.
- La etapa de ósmosis inversa puede llevarse a cabo en una o más etapas. Por ejemplo, una o más unidades de ósmosis inversa se pueden emplear en serie o en paralelo.

La membrana empleada en la etapa de nanofiltración puede tener un tamaño de poro promedio (por ejemplo, media) de 4 a 80 Angstroms. Preferiblemente, el tamaño de poro promedio (por ejemplo, media) de la membrana es de 10 a 70 Angstroms, más preferiblemente de 30 a 60 Angstroms, y más preferiblemente de 10 a 50 Angstroms. El tamaño de poro (por ejemplo, tamaño medio de poro) se puede medir utilizando cualquier técnica adecuada. Por ejemplo, se puede emplear un método de flujo diferencial (Japan Membrane Journal, volumen 29; No. 4; páginas 227-235 (2004)).

Las membranas usadas en la etapa de nanofiltración pueden moldearse como una "capa de revestimiento" sobre la parte superior de un soporte formado, por ejemplo, de una lámina de polímero microporoso. La membrana resultante puede tener una estructura compuesta (por ejemplo, una estructura compuesta de película delgada). Típicamente, las propiedades de separación de la membrana están controladas por el tamaño de poro y la carga eléctrica de la "capa superficial".

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

La membrana de nanofiltración puede ser plana o tomar la forma de un tubo o fibra hueca. Por ejemplo, se puede usar una configuración tubular de membranas de fibra fina huecas. Si se desea, la membrana puede estar soportada sobre una estructura de soporte, tal como un soporte de malla. Cuando se emplea una membrana plana, la lámina puede enrollarse de manera que define una espiral en sección transversal. Cuando se emplea una membrana tubular, una o más membranas tubulares pueden estar dispuestas dentro de una carcasa o cubierta. La solución puede introducirse en la carcasa; mientras que el solvente puede eliminarse como un filtrado de los tubos o viceversa.

La solución que se pasa a través de la membrana selectiva en condiciones de ósmosis inversa comprende uno o más solutos. La solución comprende un primer soluto y un segundo soluto que son suficientemente grandes para ser retenidos por la membrana selectiva en la etapa de ósmosis inversa. Sin embargo, solo uno de los primeros y segundos solutos es lo suficientemente grande como para ser retenido sustancialmente por la membrana de nanofiltración.

Los solutos adecuados para uso en la solución que se pasa a través de la membrana selectiva en la etapa de ósmosis inversa incluyen compuestos orgánicos y compuestos inorgánicos. Los compuestos orgánicos adecuados incluyen azúcares, tales como glucosa, fructosa y sacarosa. Los solutos también pueden incluir polímeros orgánicos solubles en agua.

Los compuestos inorgánicos adecuados incluyen ácidos, bases y sales. Se pueden emplear mezclas de dos o más compuestos inorgánicos. En una realización preferida, se emplean sales, por ejemplo, como el primer soluto y/o el segundo soluto.

La sal puede ser una sal de metal o una sal de amonio. Las sales metálicas adecuadas incluyen sales de metales de los Grupos I a III. Los ejemplos de sales de metales del Grupo I adecuadas incluyen sales de sodio y potasio. Los ejemplos de sales de metales del Grupo II adecuadas incluyen sales de magnesio, calcio, estroncio y bario. Los ejemplos de sales adecuadas del Grupo III incluyen sales de aluminio. Las sales de cationes complejos también pueden ser empleadas.

Cuando se emplean sales de amonio, tales sales pueden ser sales de iones de amonio sustituidos o no sustituidos. Cuando se usan iones de amonio sustituido, estos pueden estar sustituidos con grupos alquilo, tales como grupos alquilo de C₁ a C₂₀.

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, fluorosilicatos, fluorosulfatos, silicatos, cianuros y cianatos.

Las sales preferidas para uso como el primer soluto incluyen sulfato de magnesio (MgSO₄.6H₂O o MgSO₄.7H₂O), cloruro de magnesio (MgCl₂.6H₂O), sulfato de sodio (Na₂SO₄. 10H₂O), cloruro de calcio (CaCl₂.2H₂O o CaCl₂.6H₂O), Bórax (Na₂B₄O₇) hidrogenofosfato disódico (Na₂HPO₄.12H₂O) y alumbre potásico (24H₂O). En una realización preferida, el primer soluto es sulfato de magnesio (MgSO₄.6H₂O o MgSO₄.7H₂O). Este soluto puede separarse tanto por las membranas utilizadas en la etapa de ósmosis inversa como en la etapa de nanofiltración.

Las sales preferidas para uso como el segundo soluto incluyen cloruro de sodio. Preferiblemente, este soluto puede separarse mediante la membrana utilizada en la etapa de ósmosis inversa, pero no está sustancialmente separada por la membrana utilizada en la etapa de nanofiltración. La membrana de nanofiltración puede, sin embargo, retener una porción del segundo soluto. Por ejemplo, hasta un 40%, preferiblemente hasta un 30%, más preferiblemente hasta un 20%, e incluso más preferiblemente hasta un 10% del segundo soluto puede ser retenido por la membrana de nanofiltración.

En una realización preferida de la presente invención, la solución que se pasa a través de la membrana selectiva en la etapa de ósmosis inversa se produce mediante una etapa de ósmosis directa. Esta etapa se puede llevar a cabo colocando una membrana selectiva entre una solución fuente y una solución de extracción que tenga una concentración de soluto más alta que la solución fuente. La diferencia en la concentración hace que el solvente de la solución fuente fluya a través

de la membrana selectiva por ósmosis directa para diluir la solución de extracción. El solvente fluye a través de la membrana en la etapa de ósmosis directa en forma líquida. La solución de extracción diluida se pasa luego a través de la membrana selectiva en la etapa de ósmosis inversa o se somete a separación térmica para separar el solvente de la solución de extracción diluida y producir una solución residual más concentrada.

5

La solución fuente puede ser cualquier solución fuente que requiera purificación. Los ejemplos de soluciones fuente adecuadas incluyen soluciones de solución salina, tales como agua de mar, agua salobre y agua residual de procesos industriales. Preferiblemente, la solución fuente es agua de mar.

10

Cuando se utiliza una etapa de ósmosis directa, las unidades de ósmosis directa están preferiblemente sumergidas o parcialmente sumergidas en la solución fuente. Por ejemplo, cuando la solución fuente es agua de mar, las unidades de ósmosis directa pueden estar sumergidas o parcialmente sumergidas en el mar.

15

La unidad o unidades de ósmosis inversa y/o nanofiltraciones posteriores también pueden estar sumergidas o parcialmente sumergidas en la solución fuente. Por ejemplo, cuando la solución fuente es agua de mar, la(s) unidad(es) de ósmosis inversa y/o nanofiltración también pueden estar sumergidas o parcialmente sumergidas en el mar.

20

La etapa de ósmosis directa puede llevarse a cabo en etapas, por ejemplo, utilizando dos o más unidades de ósmosis directa en secuencia o en paralelo.

La unidad de ósmosis directa puede hacerse funcionar a una presión relativamente baja. Por ejemplo, el flujo de agua desde la solución fuente a través de la membrana puede ejercer una presión de 0.1 a 5.0 MPa, preferiblemente de 0.1 a 3.0 MPa sobre la membrana.

25

Además, la unidad de ósmosis directa se puede operar inyectando aire en el lado del agua de mar o en el lado de la solución de extracción para mejorar el flujo de agua a través de la membrana y para ayudar en la limpieza.

30

Como se describió anteriormente, el solvente se extrae de la solución fuente mediante ósmosis directa. Esta etapa de ósmosis directa se lleva a cabo colocando una membrana selectiva entre una solución fuente y una solución de extracción que tiene una concentración de soluto más alta que la solución fuente. La solución de extracción puede formarse disolviendo al menos un soluto en un solvente (por ejemplo, agua), de modo que la concentración de soluto de la solución de extracción excede la concentración de soluto de la solución fuente.

35

Los solutos adecuados para formar la solución de extracción se describen anteriormente en relación con la solución que se pasa a través de la membrana selectiva en condiciones de ósmosis inversa. Preferiblemente, la solución de extracción se forma disolviendo uno de los primeros solutos descritos anteriormente en solvente (por ejemplo, agua). Dichos solutos se pueden separar utilizando membranas de poro grandes, tales como la membrana de nanofiltración utilizada en la etapa de nanofiltración, así como membranas de poro pequeño, tales como las membranas selectivas usadas en la etapa de ósmosis inversa. En una realización, la solución de extracción se puede formar disolviendo un soluto seleccionado de al menos uno 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 de sodio ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), cloruro de calcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ o $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) hidrogenofosfato disódico ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) y alumbre potásico ($24\text{H}_2\text{O}$) en un solvente, tal como agua. En una realización preferida, la solución de extracción se forma disolviendo sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ o $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) en agua.

40

45

La solución de extracción puede contener adicionalmente aditivos, tales como agentes anti-incrustación, anticorrosión, reguladores del pH y/o antimicrobianos.

50

La solución de extracción puede tener una concentración inicial de soluto de al menos 30% en peso, preferiblemente al menos 50% en peso, antes del contacto con la membrana selectiva en la etapa de ósmosis directa. La solución de extracción puede tener una concentración inicial de soluto o presión osmótica que es al menos un 50% más que la presión osmótica de la solución fuente. La concentración de soluto inicial de la solución de extracción se puede adaptar en función de la concentración de soluto inicial de la solución fuente. Por ejemplo, si la solución fuente es agua de mar, la solución de extracción puede hacerse, de modo que tenga una concentración de solutos inicial que sea mayor (por ejemplo, al menos 10%, preferiblemente al menos 30%) que la del agua de mar para garantizar que el agua puede fluir a través de la membrana para diluir la solución de drenaje por ósmosis directa.

55

60

En ciertas realizaciones de la invención, se toman medidas para asegurar que la concentración y/o el potencial osmótico de la solución de los componentes disueltos esté en su valor objetivo antes del contacto con la membrana. Por ejemplo, la solución puede tratarse por electrodiálisis, inversión de electrodiálisis y tratamiento electroquímico (por ejemplo, desionización capacitiva e intercambio iónico). Alternativa o adicionalmente, la temperatura y/o el pH de la solución pueden controlarse para alterar la concentración de la solución en consecuencia y/o su presión osmótica (potencial).

65

Como la concentración inicial de soluto de la solución de extracción es mayor que la concentración de soluto de la solución fuente, el solvente (por ejemplo, agua) fluye a través de la membrana selectiva desde la solución fuente para diluir la solución de extracción por ósmosis directa. Algunos solutos de la solución de origen también pueden pasar a través de la membrana durante este proceso. Por ejemplo, cuando la solución fuente contiene cloruro de sodio, el cloruro de sodio

puede fluir a través de la membrana a la solución de extracción. La solución de extracción diluida, por lo tanto, puede contener un segundo soluto, como cloruro de sodio, además del primer soluto(s) utilizado para producir la solución de extracción original. En una realización, la solución de extracción diluida incluye cloruro de sodio de la solución fuente (por ejemplo, solución salina) además del sulfato de magnesio que se utiliza para formar la solución de extracción original.

La solución de extracción diluida, que contiene su(s) primer(os) soluto(s) original(es) y cualquier segundo soluto de la solución de fuente, se pasa preferiblemente a través de una membrana selectiva en condiciones de ósmosis inversa. Ventajosamente, el tamaño medio de poro de la membrana selectiva es suficientemente pequeño para evitar que los solutos pasen a través de la membrana al filtrado. De acuerdo con lo anterior, el filtrado que pasa a través de la membrana selectiva está sustancialmente libre de soluto. La solución residual en el lado del producto retenido de la membrana selectiva comprende una alta concentración de soluto(s). Una porción de esta solución concentrada se recicla opcionalmente a la etapa de ósmosis directa, por ejemplo, para usar como o para producir solución de extracción nueva para la etapa de ósmosis directa. Esto asegura que el agente osmótico (por ejemplo, sulfato de magnesio) y/o aditivo(s) utilizados para formar la solución de extracción se reutilicen al menos parcialmente.

Para evitar la acumulación indeseable de solutos potencialmente corrosivos, tales como cloruro de sodio, en el lado del producto retenido de la membrana, al menos una porción de la solución en el lado del producto retenido de la membrana se purga pasando intermitentemente la porción de solución a través de una membrana de nanofiltración. Ventajosamente, el tamaño de poro promedio de la membrana de nanofiltración es suficientemente grande para permitir que al menos una proporción significativa de solutos, tales como cloruro de sodio, atraviese la membrana, pero suficientemente pequeño para evitar que los solutos, tales como sulfato de magnesio, atraviesen la membrana. Como resultado, la solución residual en el lado de retención de producto de la membrana de nanofiltración comprende una alta concentración de, por ejemplo, sulfato de magnesio. Una porción de esta solución residual se recicla opcionalmente a la etapa de ósmosis directa, por ejemplo, para usar como o para producir una solución de extracción nueva para la etapa de ósmosis directa. Esto asegura que el agente osmótico (por ejemplo, sulfato de magnesio) y/o aditivo(s) utilizados para formar la solución de extracción se reutilicen al menos parcialmente. Alternativamente, una parte de la solución residual puede descartarse.

Al permitir que solutos, tales como cloruro de sodio, pasen a través de la membrana de nanofiltración, la concentración de solutos, tal como cloruro de sodio, en el lado del producto retenido de la membrana selectiva de la etapa de ósmosis inversa se mantiene por debajo de un valor umbral, reduciendo el riesgo de corrosión del equipo de proceso. Aunque la membrana de nanofiltración puede permitir que los solutos, tales como el cloruro de sodio, pasen al filtrado, la concentración de tales solutos puede mantenerse por debajo de un valor umbral controlando la frecuencia y/o la duración de la etapa de purga de la nanofiltración. De esta forma, se puede alcanzar un equilibrio entre los riesgos asociados con la acumulación de solutos corrosivos en el equipo de proceso y la pureza del solvente separado que finalmente se obtiene.

El filtrado de la etapa de nanofiltración puede combinarse opcionalmente con el filtrado de la etapa de ósmosis inversa y usarse, por ejemplo, como agua limpia.

La etapa de ósmosis directa puede llevarse a cabo en ausencia de presión aplicada. Por ejemplo, la etapa de ósmosis directa puede llevarse a cabo a una presión de 1 a 40 bar, preferiblemente de 2 a 20 bar. Debido a que el solvente fluye a través de la membrana selectiva por ósmosis directa, la solución de extracción se presuriza por la entrada de solvente. Esta presión puede usarse para generar o complementar la presión requerida para los siguientes pasos de ósmosis inversa y/o nanofiltración.

La membrana selectiva empleada en la etapa de ósmosis directa puede tener un tamaño de poro promedio (por ejemplo, media) de 0.5 a 80 Angstroms, preferiblemente de 2 a 50 Angstroms. En una realización preferida, la membrana tiene un tamaño de poro promedio (por ejemplo, media) de 3 a 30 Angstroms. En una realización, la etapa de ósmosis directa se lleva a cabo utilizando una membrana que tiene un tamaño medio (por ejemplo, media) de poro de 1 a 10 Angstroms. En otra realización, la membrana es una membrana de nanofiltración que tiene un tamaño medio (por ejemplo, media) de poro de 5 a 60 Angstroms. El tamaño de poro (por ejemplo, tamaño medio de poro) se puede medir utilizando cualquier técnica adecuada. Por ejemplo, se puede emplear un método de flujo diferencial (Japan Membrane Journal, volumen 29; No. 4; páginas 227-235 (2004)).

Las membranas selectivas adecuadas para la etapa de ósmosis directa incluyen membranas integrales y membranas compuestas. Ejemplos específicos de membranas adecuadas incluyen membranas formadas de acetato de celulosa (CA) y/o triacetato de celulosa (CTA), tales como o similares a los utilizados en el estudio de McCutcheon et al., Desalination 174 (2005) 1-11 y membranas formadas de poliamida (PA). Se puede emplear una matriz de membranas. Otros ejemplos de membranas adecuadas incluyen Toyobo Hollow Fiber (Hollowsep).

La membrana selectiva puede ser plana o tomar la forma de un tubo o fibra hueca. Por ejemplo, se puede usar una configuración tubular de membranas de fibra fina huecas.

Si se desea, la membrana puede estar soportada sobre una estructura de soporte, tal como un soporte de malla. Cuando se emplea una membrana plana, la lámina puede enrollarse de manera que define una espiral en sección transversal. Cuando se emplea una membrana tubular, se pueden disponer una o más membranas tubulares dentro de una carcasa

o cubierta. La solución fuente puede introducirse en la carcasa, mientras que la solución de extracción puede introducirse en los tubos o viceversa.

5 El tamaño de poro promedio (por ejemplo, media) de la membrana selectiva utilizada en la etapa de ósmosis directa puede ser mayor que el tamaño medio (por ejemplo, media) de poro de la membrana selectiva utilizada en la etapa de ósmosis inversa, pero más pequeño o similar al tamaño medio (por ejemplo, media) de poros de la membrana de nanofiltración.

10 Como se mencionó anteriormente, una membrana permeable selectiva puede colocarse entre una solución de fuente y una solución de extracción que tiene una concentración de soluto más alta que la solución fuente. La diferencia en la concentración hace que el solvente líquido fluya a través de la membrana para diluir la solución de extracción por ósmosis directa, dejando una solución de fuente concentrada en el lado del producto retenido de la membrana. En una realización preferida, esta solución de fuente concentrada se pone en contacto con un lado de una membrana permeable selectiva en una unidad de ósmosis directa adicional. El lado opuesto de la membrana puede ponerse en contacto con una solución, tal como una solución de desecho, que tenga una concentración de soluto más baja que la solución de fuente concentrada. La diferencia en la concentración de soluto hace que el solvente fluya de la solución de desecho por ósmosis directa para diluir la solución de fuente concentrada. Antes de ponerse en contacto con la membrana selectiva en la unidad de ósmosis directa adicional, la solución de fuente concentrada puede concentrarse adicionalmente, por ejemplo, evaporando el solvente de la solución utilizando métodos térmicos. En una realización, la solución de fuente concentrada se puede introducir en un estanque solar.

20 Una vez diluido en la unidad de ósmosis directa adicional, la solución fuente puede usarse, por ejemplo, para riego y otros fines no potables. La solución de fuente diluida puede tratarse adicionalmente mediante separación de membrana y/o técnicas mecánicas o químicas para reducir la concentración de ciertos solutos por debajo de los límites permisibles. Por ejemplo, cuando el agua de la fuente se utiliza para riego, el nivel de Boro y el de otros solutos indeseables deben mantenerse por debajo del límite permitido para tales aplicaciones. Esta realización de la invención se puede usar para integrar, por ejemplo, una planta de desalinización con una planta de tratamiento de solución de residuos.

30 La solución de desecho puede ser agua residual, por ejemplo, que contenga residuos industriales o domésticos. La corriente de aguas residuales puede contener aguas residuales. Preferiblemente, el agua residual se trata para reducir el contenido orgánico del agua residual antes de poner en contacto el agua residual con la membrana selectiva en la unidad de ósmosis adicional. Al tratar una solución de desecho en una unidad de ósmosis adicional de esta manera, es posible concentrar la corriente de agua residual, reduciendo de ese modo el volumen de desechos que requieren tratamiento/eliminación.

35 Estos y otros aspectos de la invención se describirán ahora con referencia a la Figura adjunta, que es un diagrama esquemático de un aparato para llevar a cabo una realización del proceso de la presente invención.

40 La figura representa un aparato 10 que comprende una primera unidad 12 de ósmosis, una segunda unidad 14 de ósmosis, una unidad 16 de ósmosis inversa y una unidad 18 de nanofiltración.

45 La primera unidad 12 de ósmosis está acoplada a una fuente de agua de mar a través de la línea 20. El agua de mar puede tratarse opcionalmente con agentes anticalcáreos y antimicrobianos (no mostrados) en la unidad 22 de pretratamiento. La unidad 12 de ósmosis puede estar parcial o totalmente sumergido en el agua de la fuente para reducir los requisitos de pretratamiento y/o bombeo. El agua de mar tratada se introduce luego en la primera unidad 12 de ósmosis y se pone en contacto con un lado de una membrana 24 selectiva. Una solución 26 de extracción de sulfato de magnesio se pone en contacto con el lado opuesto de la membrana 24 selectiva. Como la concentración de soluto inicial y la presión osmótica de la solución 26 de extracción es mayor que la concentración de soluto y la presión osmótica del agua de mar, el agua líquida fluye a través de la membrana 24 para diluir la solución 26 de extracción por ósmosis directa. El cloruro de sodio en el agua de mar también puede fluir a través de la membrana 24 en esta etapa de ósmosis directa. De acuerdo con lo anterior, la solución 28 de extracción diluida que emerge de la unidad 12 de ósmosis incluye cloruro de sodio además de sulfato de magnesio.

50 La solución 28 de extracción diluida se introduce en la unidad 16 de ósmosis inversa y se pasa a través de la membrana 30 selectiva a presiones elevadas de 60 a 80 bar. La presión requerida para esta etapa de ósmosis inversa se proporciona en parte por el flujo de agua que fluye a través de la membrana 24 en la etapa de ósmosis directa, y en parte por la bomba 32.

60 El tamaño de poro promedio (por ejemplo, media) de la membrana 30 selectiva es suficientemente pequeño para evitar que el cloruro de sodio y el sulfato de magnesio en la solución 28 de extracción pasen a través de la membrana 30 selectiva. Por consiguiente, el filtrado (agua) que atraviesa la membrana 30 selectiva está sustancialmente libre de cloruro de sodio y sulfato de magnesio.

65 La solución residual en el lado del producto retenido de la membrana 30 selectiva tiene una alta concentración de cloruro de sodio y sulfato de magnesio que incluye solutos de aditivos químicos y otros solutos que pueden difundirse a partir del agua de mar. Para evitar que la concentración de cloruro de sodio en el lado del producto retenido de la membrana 30 alcance niveles corrosivos, esta solución residual se purga introduciendo intermitentemente una porción 34 de la solución

residual en la unidad 18 de nanofiltración. El tamaño medio (por ejemplo, media) de poro de la membrana de nanofiltración 36 en la unidad 18 de nanofiltración es suficientemente pequeña para evitar que el sulfato de magnesio pase a través de la membrana 36. Sin embargo, la membrana 36 no retiene completamente el cloruro de sodio y fluye a través de la membrana como una solución 38 de cloruro de sodio que se combina con el filtrado de la unidad 16 de ósmosis inversa para producir una corriente 40 de agua limpia. Aunque la membrana de nanofiltración 36 permite que la mayor parte del cloruro de sodio pase a la corriente 40 de agua limpia, la concentración de cloruro de sodio en la corriente de agua limpia puede mantenerse por debajo de un valor umbral controlando la frecuencia y/o duración del paso de purga de nanofiltración. De esta forma, se puede lograr un equilibrio entre los riesgos asociados con la acumulación de cloruro de sodio corrosivo en el equipo de proceso y la pureza del agua obtenida finalmente.

Las soluciones residuales en los lados retenidos de las membranas 30 y 36 se reciclan a la unidad 12 de ósmosis a través de las líneas 42 y 44, respectivamente, para usar como solución 26 de extracción reciente.

Como se describió anteriormente, la primera unidad 12 de ósmosis se hace funcionar bajo condiciones de ósmosis directa, que hace que el agua fluya a través de la membrana 24 selectiva para diluir la solución 26 de extracción. También puede ser conveniente ayudar al proceso de ósmosis aplicando presión hidráulica para aumentar el flujo de agua a través de la membrana de ósmosis directa. Este flujo de agua deja agua de mar concentrada en el lado del producto retenido de la membrana 24 selectiva. Esta agua de mar concentrada se introduce en una segunda unidad 14 de ósmosis y se pone en contacto con un lado de una membrana 46 selectiva. Se pone en contacto el lado opuesto de la membrana 46 selectiva con una solución 48 de agua residual que tiene una concentración de soluto y presión osmótica que es menor que la concentración de soluto y la presión osmótica del agua de mar concentrada. Esta diferencia en la concentración de solutos hace que el agua fluya a través de la membrana 46 selectiva por ósmosis directa para diluir la solución de agua de mar. La solución 50 diluida resultante se extrae de la unidad 14 de ósmosis y se utiliza para el riego.

Antes de introducir el agua 48 residual en la segunda unidad 14 de ósmosis, el agua residual se trata en una unidad 52 de lodo activado para reducir la demanda biológica de oxígeno (DBO) del agua 48 residual. Posteriormente, el agua 48 residual puede ser tratado en la unidad de filtración UV 54 antes de ser introducido en la unidad 14 de ósmosis. Una vez que el agua se extrae de la corriente de agua 48 residual por ósmosis, la corriente de agua residual concentrada puede retirarse de la unidad 14 y reciclarse, por ejemplo, a la etapa de pretratamiento con UV.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para separar solvente de una solución fuente, que comprende
- 5 posicionar una primera membrana (24) selectiva entre una solución fuente y una solución de extracción que tiene una concentración de soluto más alta que la solución fuente, tal que el solvente de la solución fuente fluye a través de la membrana selectiva por ósmosis directa para diluir la solución de extracción, dejando solución de fuente concentrada en el lado del producto retenido de la membrana selectiva,
- 10 en el que la solución fuente comprende un segundo soluto, y en el que la solución de extracción comprende un primer soluto;
- 15 pasar la solución de extracción diluida a través de una segunda membrana (30) selectiva en condiciones de ósmosis inversa para separar el solvente de la solución, y pasar intermitentemente al menos una parte de la solución de extracción en el lado del producto retenido de la segunda membrana selectiva a través de una membrana (36) de nanofiltración para separar más solvente de la porción de solución de extracción, en donde una parte de la solución en el lado del producto retenido de la membrana de nanofiltración se recicla a la etapa de ósmosis directa; en el que la solución que pasa a través de la segunda membrana selectiva se invierte las condiciones de ósmosis comprenden el primer soluto y el segundo soluto, en el que el primer soluto y el segundo soluto se mantienen sustancialmente mediante la segunda membrana selectiva, y el primer soluto y no el segundo soluto se retiene sustancialmente mediante la membrana de nanofiltración en la etapa de nanofiltración y en el que el segundo soluto puede pasar la primera membrana (24) selectiva.
2. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el segundo soluto es cloruro de sodio.
- 25 3. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que el primer soluto es sulfato de magnesio.
4. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la etapa de ósmosis inversa se lleva a cabo a una presión de al menos 20 bar.
- 30 5. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la etapa de nanofiltración se lleva a cabo a una presión de al menos 20 bar.
6. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la etapa de ósmosis inversa se lleva a cabo utilizando como segunda membrana permeable selectiva una membrana que tiene un tamaño medio de poro de 0.1 a 10 nm.
- 35 7. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la etapa de nanofiltración se lleva a cabo utilizando una membrana de nanofiltración que tiene un tamaño de poro promedio de 0.4 a 8 nm.
- 40 8. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la primera membrana (24) selectiva, la segunda membrana (30) selectiva y/o la membrana de nanofiltración están contenidas en unidades que están al menos parcialmente sumergidas en la solución fuente.
9. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que una parte de la solución de extracción en el lado del producto retenido de la segunda membrana selectiva se recicla a la etapa de ósmosis directa.
- 45 10. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9,
- 50 que comprende poner en contacto solución de fuente concentrada de la etapa de ósmosis directa con un lado de una tercera membrana (46) selectivamente permeable y poner en contacto una solución que tiene una concentración de soluto menor que la concentrada solución de fuente con el lado opuesto de la tercera membrana selectivamente permeable, de modo que el solvente de la solución fluya a través de la membrana selectiva por ósmosis directa para diluir la solución de fuente concentrada.
- 55 11. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 10, en el que la solución que tiene una concentración de soluto más baja que la solución de fuente concentrada es agua residual.
- 60 12. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 11, en el que el agua residual se trata para reducir el contenido orgánico del agua residual antes de poner en contacto el agua residual con la tercera membrana selectiva.

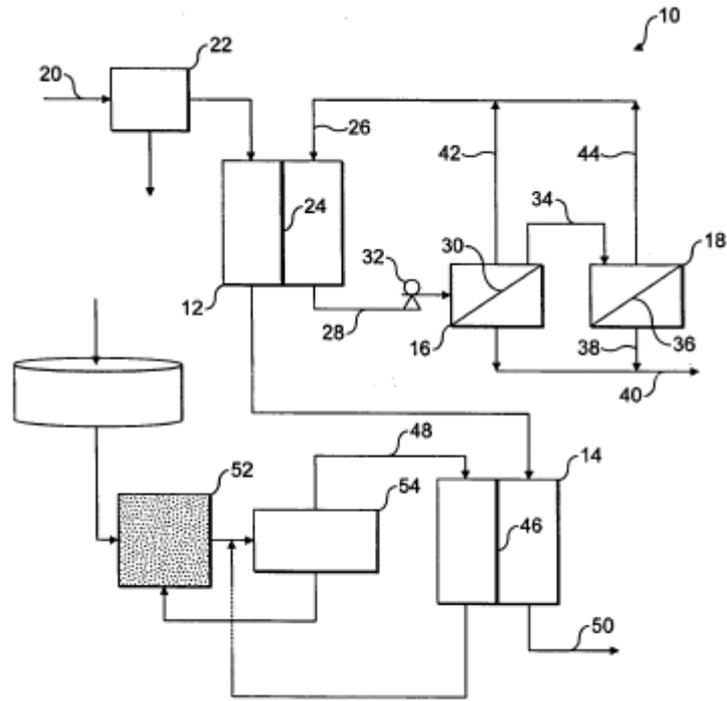


FIG. 1