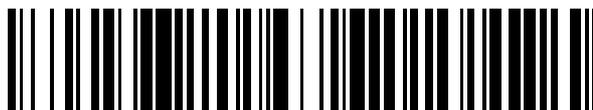


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 592 689**

51 Int. Cl.:

B01D 61/00 (2006.01)
C02F 1/44 (2006.01)
C02F 1/20 (2006.01)
C02F 1/16 (2006.01)
C02F 1/02 (2006.01)
C02F 103/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.09.2011 PCT/JP2011/072261**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.04.2012 WO12043669**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.09.2011 E 11829222 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.08.2016 EP 2623185**

54 Título: **Aparato de ósmosis directa y proceso de ósmosis directa**

30 Prioridad:
29.09.2010 JP 2010218911

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
01.12.2016

73 Titular/es:
**FUJIFILM CORPORATION (100.0%)
26-30, Nishiazabu 2-chome Minato-ku
Tokyo 106-8620, JP**

72 Inventor/es:
**IKEDA MORIHITO y
MIYAMOTO KIMIYAKI**

74 Agente/Representante:
VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 592 689 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

Aparato de ósmosis directa y proceso de ósmosis directa

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un proceso de ósmosis directa (proceso de OD) y a un aparato de ósmosis directa (aparato de OD) capaz de llevar a cabo la separación y/o concentración por este proceso de OD.

10 **Antecedentes de la invención**

La escasez de agua se ha convertido en un problema grave en las regiones áridas del mundo y en regiones de alta densidad de población. Por consiguiente, existe una necesidad de tecnología de desalinización que elimine la sal del agua de mar.

15 Los métodos de procesamiento de membrana son una tecnología de desalinización conocida. En los métodos de procesamiento de membrana generalmente se emplean membranas semipermeables. Las membranas semipermeables se conocen como membranas en las que solo pasan las moléculas e iones de un tamaño específico o más pequeño. Por ejemplo, son membranas en las que pasa el agua, pero no la sal del agua de mar. 20 Cuando dos soluciones de diferentes concentraciones de soluto se ponen en contacto a través de una membrana semipermeable, se genera una presión osmótica entre las dos soluciones. El disolvente de la solución en el lado de baja concentración de soluto, es decir, el lado de baja presión osmótica, pasa hacia el lado de alta concentración de soluto, es decir, el lado de alta presión osmótica. Este fenómeno de ósmosis continúa teóricamente hasta la fase en la que el diferencial de presión osmótica disminuye a cero. Por ejemplo, cuando el agua de mar y el agua se ponen 25 en contacto a través de una membrana semipermeable, el agua tiende a atravesar hacia el lado del agua de mar y crear un estado de equilibrio. El proceso de ósmosis inversa (proceso de OI) y el proceso de ósmosis directa (proceso de OD) son métodos conocidos de procesamiento de membrana que usan dichas membranas semipermeables.

30 El proceso de OI es una técnica osmótica mediante la cual los componentes de bajo peso molecular tales como el agua son obligados a desplazarse desde el lado de alta presión osmótica de vuelta hacia el lado de baja presión osmótica. En el proceso de OI, para llevar a cabo dicha ósmosis inversa, en el lado de alta presión osmótica se aplica una alta presión superior a la diferencia de presión osmótica de las dos soluciones. Por ejemplo, cuando se separa agua del agua de mar, el agua de mar y el agua se ponen en contacto a través de una membrana 35 semipermeable, y se aplica una presión superior a la diferencia de presión osmótica entre el agua de mar y el agua, normalmente una presión enormemente superior a este diferencial de presión osmótica, en el lado del agua de mar para hacer que el agua en el agua de mar pase hacia el lado del agua.

40 Por el contrario, el proceso de OD es un proceso mediante el cual se emplea una solución de extracción con una alta de presión osmótica (solución de arrastre) para generar artificialmente una diferencia de presión osmótica entre las dos soluciones y hacer que el agua migre, como se describe en las Referencias de patente 1 y 2. Específicamente, se ponen en contacto una solución de partida en forma de solución de alimentación (solución de alimentación) y una solución de arrastre de mayor presión osmótica que la solución de alimentación a través de una 45 membrana semipermeable. Cuando se hace eso, la diferencia de presión osmótica entre las dos soluciones hace que el agua en la solución de alimentación pase hacia el lado de la solución de arrastre. Posteriormente, el componente de soluto en la solución de arrastre se volatiliza y se recupera para separar el agua de la solución de alimentación. También hay casos en los que la solución de alimentación concentrada se separa.

50 Un ejemplo de un caso de separación de agua del agua de mar se describe a continuación basándose en la Figura 1.

La Figura 1 muestra un ejemplo de un aparato de tratamiento de agua de mar que usa el proceso de OD. Las flechas de línea continua muestran el flujo de agua de mar o agua 11 separada del agua de mar, y las líneas de puntos muestran el flujo de la solución de arrastre o el soluto de la solución de arrastre 12, respectivamente. 55 Inicialmente, el agua de mar 11 y la solución de arrastre 12 entran en contacto a través de una membrana semipermeable 13. El agua en el agua de mar 11 pasa a través de la membrana semipermeable 13 hacia el lado de la solución de arrastre 12. A continuación, en la columna de rectificación 14, el componente de soluto de la solución de arrastre se volatiliza de la solución de arrastre que se ha diluido por el agua del agua de mar, separando de este modo el agua 16 y el componente de soluto 15 de la solución de arrastre. El componente de soluto 15 de la solución de arrastre se disuelve en la solución de arrastre que se ha diluido en un absorbente gaseoso 17, y se vuelve a usar 60 como solución de arrastre 12. El número 18 representa un manómetro.

La gasificación y separación del componente de soluto de la solución de arrastre en la columna de rectificación 14 requiere una alta volatilidad. El componente de soluto de la solución de arrastre también debe tener un alto grado de solubilidad para que se disuelva en la solución de arrastre diluida. Además, naturalmente, el componente de soluto de la solución de arrastre no debe pasar a través de la membrana semipermeable. Cuando no se cumplen estos

requisitos, habrá problemas en el aparato de OD o proceso de OD en el sentido de que la velocidad de penetración a través de la membrana semipermeable por el agua de la solución de alimentación será pobre; el soluto en la solución de arrastre terminará escapando a través de la membrana semipermeable y migrando hacia el lado de la solución de alimentación, incrementando la velocidad; y la cantidad de soluto de solución de arrastre (rendimiento de separación) que queda en el agua obtenida al volatilizar el componente de soluto de la solución de arrastre que se ha diluido con el agua de la solución de alimentación será grande.

Son conocidos los ejemplos que emplean soluciones de arrastre en forma de soluciones de iones de amoníaco y dióxido de carbono, soluciones de iones de amoníaco, soluciones de dióxido de azufre y similares (Referencias de patente 2 y 3). Sin embargo, todavía no se ha obtenido ninguna que combine plenamente una alta volatilidad, alta solubilidad y la propiedad anterior de no atravesar membranas semipermeables.

Referencias de la técnica anterior

El documento US-A-2006/144789 desvela un sistema que incluye una unidad de ósmosis directa para la dilución de una fuente de agua para una unidad de desalinización aguas abajo. El sistema incluye una unidad de extracción para extraer un agente osmótico relativamente fácil de extraer de una solución de arrastre osmótica. La solución de arrastre tiene un potencial osmótico relativamente alto. En un ejemplo específico la solución de arrastre incluye bicarbonato de amonio. En otro ejemplo incluye nitrato de potasio.

El documento WO-A-2007/147013 desvela un sistema para purificar un líquido que incluye un sistema de ósmosis directa, que en sí mismo puede incluir una o más unidades de ósmosis directa. Una corriente de arrastre concentrada de la unidad de membrana de destilación, tal como una solución de salmuera concentrada, sirve como solución de arrastre para las unidades de ósmosis directa, que puede extraer el agua de una fuente de agua, tal como agua contaminada.

Desalination, 174, (2005), páginas 1-11 desvela un proceso de desalinización de ósmosis directa que usa una solución de arrastre que contiene bicarbonato de amonio para extraer agua de una alimentación de agua salina a través de una membrana polimérica semipermeable. Tras un calentamiento moderado, el bicarbonato de amonio se descompone en gases de amoníaco y dióxido de carbono que se pueden separar y reciclar como solutos de arrastre, dejando agua dulce.

Referencias de patentes

- [Referencia de patente 1] Patente de Estados Unidos 6.391.205
- [Referencia de patente 2] Publicación de Solicitud de patente de Estados Unidos 2005/0145568
- [Referencia de patente 3] Patente de Estados Unidos 3.171.799

Sumario de la invención

Problema a resolver por la invención

La Referencia de patente 2 logra una alta volatilidad asegurando al mismo tiempo un alto grado de solubilidad de los componentes de soluto en la solución de arrastre mediante el uso de una solución de arrastre con amoníaco y dióxido de carbono como solutos, consiguiendo de esta manera tanto una mejora del rendimiento de procesamiento como un mayor rendimiento de separación en el proceso de OD. Sin embargo, durante su examen, los presentes inventores encontraron un problema en el sentido de que el amoníaco terminaba fugándose a través de la membrana semipermeable en el medio de dilución. Es decir, en el proceso de la Referencia de patente 2, era necesario reponer grandes cantidades de amoníaco en el aparato de OD. En la Referencia de patente 3, la tasa de fuga a través de la membrana semipermeable se redujo mediante el empleo de ácido sulfuroso como componente solvato de la solución de arrastre. Sin embargo, fue imposible usar cualquier otra cosa que no fuera un solvato de baja volatilidad para lograr una alta solubilidad en la solución de arrastre, impidiendo el rendimiento de separación adecuado.

La presente invención tiene por objeto mantener una alta velocidad de paso a través de una membrana semipermeable por el agua de una solución de alimentación en un aparato de OD y en un proceso de OD, el control de la migración del soluto de la solución de arrastre hacia el lado de la solución de alimentación debida a la fuga a través de la membrana semipermeable, y la reducción de la cantidad de soluto de la solución de arrastre que permanece en el agua obtenida al volatilizar el componente de soluto de la solución de arrastre que se ha diluido con agua de la solución de alimentación (mejora del rendimiento de extracción).

Medios para resolver el problema

Los presentes inventores llevaron a cabo una extensa investigación sobre la base de estas condiciones, dando como resultado el descubrimiento de que el problema anteriormente indicado se podría solucionar mediante el empleo de una solución de arrastre que contiene una fuente de aniones y una fuente de cationes de tal manera que

la fuente de cationes tuviera un peso molecular de 45 a 74 en un estado sin carga y la fuente de cationes y la fuente de aniones cada una tenía una constante de la ley de Henry de $1,0 \times 10^4$ (Pa/mol · fracción) o superior en condiciones estándar.

5 Por lo general, cuanto más baja es la constante de la ley de Henry, mayor es la tendencia a hidratar y se cree que mayor es el radio de hidratación (referencia: Chemical & Engineering Data, 53 (2008), 2873-2877, ampliación de las ecuaciones (4), (5) y (6), $\ln K_{aw} = \Delta G_{hyd}/RT$, en la que K_{aw} = constante adimensional de la ley de Henry, ΔG_{hyd} = energía libre de hidratación (con la tendencia a hidratarse que aumenta con la magnitud del valor negativo, R es de la constante de Avogadro y T es la temperatura absoluta). Además, cuanto mayor es el radio de hidratación, más
10 lenta se piensa que será la fuga de soluto a través de la membrana semipermeable (referencia: Desalination, 144 (2002), 387-392, Fig. 2 (b), Página 390, línea 7, columna de la izquierda a la línea 8, columna derecha; referencia: Journal of Membrane Science, 74 (1992), 05-103, Figs. 4 y 5, Página 98, línea 34, columna de la izquierda a la página 101, línea 9, columna de la izquierda). Esto naturalmente demuestra que a mayor nivel de hidratación de un material, menos propenso es a volatilizarse en agua (más baja es la constante de la ley de Henry), que indica que es
15 difícil de lograr tanto una tendencia a no presentar fugas a través de membranas semipermeables como una tendencia a volatilizarse. En consecuencia, se pensó que el problema anteriormente indicado sería extremadamente difícil de resolver mediante el ajuste de los componentes de la solución de arrastre. Sin embargo, sorprendentemente, una amplia investigación por los presentes inventores dio como resultado el descubrimiento de que el problema se podría resolver mediante el empleo de componentes de soluto de la solución de arrastre en
20 forma de fuente de cationes y fuente de aniones que tienen unas constantes de la ley de Henry especificadas.

Específicamente, el problema de la presente invención se resuelve mediante los siguientes medios.

<1> Una solución de arrastre para un proceso de ósmosis directa, que comprende:

25

una fuente de aniones; y
una fuente de cationes que tiene un peso molecular de 45 a 74 en un estado sin carga;

en la que cada una de la fuente de aniones y la fuente de cationes tiene una constante de la ley de Henry en
30 agua de $1,0 \times 10^4$ (Pa/mol · fracción) o superior en condiciones estándar.

<2> Una solución de arrastre según <1>, en la que la fuente de cationes tiene una constante de la ley de Henry en agua de $3,0 \times 10^4$ (Pa/mol · fracción) o superior en condiciones estándar.

35

<3> Una solución de arrastre según <1> o <2>, en la que la fuente de aniones tiene una constante de disociación ácida (pKa) de 6,0 a 7,0 como material sin carga en condiciones estándar.

<4> Una solución de arrastre de acuerdo con cualquiera de los puntos anteriores, en la que la fuente de cationes tiene una constante de disociación básica (pKb) de 2,0 a 4,5 como material sin carga en condiciones estándar.

40

<5> Una solución de arrastre según <4>, en la que la fuente de cationes tiene una constante de disociación básica (pKb) de 4,0 a 4,5 como material sin carga en condiciones estándar.

<6> Una solución de arrastre de acuerdo con cualquiera de los puntos anteriores, en la que cada una de la fuente de aniones y la fuente de cationes está presente en una concentración de al menos 2,4 moles por kilogramo de agua.

45

<7> Una solución de arrastre de acuerdo con cualquiera de los puntos anteriores, en la que los aniones son iones de ácido carbónico y/o iones de carbonato de hidrógeno, y la fuente de cationes es uno o más miembros seleccionados del grupo que consiste en trimetil amina, dimetil etil amina, isopropil amina, dimetil amina, y dietil amina.

50

<8> Una solución de arrastre de acuerdo con cualquiera de los puntos anteriores, en la que la fuente de cationes y/o fuente de aniones tiene un punto de ebullición inferior a 100 °C a 1 atm (101 kPa) como material sin carga.

55

<9> Una solución de arrastre de acuerdo con cualquiera de los puntos anteriores, en la que la fuente de cationes tiene una constante de la ley de Henry en agua de $1,0 \times 10^5$ (Pa/mol · fracción) o superior en condiciones estándar.

<10> Una solución de arrastre de acuerdo con <9>, en la que la fuente de cationes tiene una constante de la ley de Henry en agua de $3,0 \times 10^5$ (Pa/mol · fracción) o superior en condiciones estándar.

60

<11> Una solución de arrastre de acuerdo con cualquiera de los puntos anteriores, en la que la relación molar de la fuente de aniones y de la fuente de cationes es de 1:1 a 1:2.

65

<12> Una solución de arrastre según <1> a <9>, en la que la fuente de cationes y la fuente de aniones cada una

tiene una constante de la ley de Henry de $1,00 \times 10^5$ (Pa/mol · fracción) o superior.

<13> Una solución de arrastre de acuerdo con cualquiera de los puntos anteriores, en la que la fuente de cationes es trimetil amina o dimetil etil amina, y la fuente de aniones es dióxido de carbono.

5 <14> Un aparato de ósmosis directa, que comprende:

una solución de arrastre tal como se define en uno cualquiera de <1> a <13>;
 un medio de dilución, que es capaz de poner en contacto una solución de alimentación con la solución de arrastre a través de una membrana semipermeable y diluir la solución de arrastre con agua separada de la
 10 solución de alimentación a través de la membrana semipermeable;
 un medio de separación, que es capaz de separar la solución de arrastre que se ha diluido por el medio de dilución en la fuente de cationes y la fuente de aniones y en agua; y
 un medio de disolución, que es capaz de devolver la fuente de cationes y la fuente de aniones de la
 15 solución de arrastre, que han sido separadas por el medio de separación, a la solución de arrastre que ha sido diluida y de disolver en esta la fuente de cationes y la fuente de aniones.

<15> Un aparato de ósmosis directa de acuerdo con <14>, que comprende un intercambiador de calor capaz de calentar la solución de arrastre diluida usando, como fuente de calor, por lo menos uno entre agua, la fuente de cationes, y la fuente de aniones obtenidos por el medio de separación.

<16> Un aparato de ósmosis directa de acuerdo con uno cualquiera de <14> o <15>, que comprende además un intercambiador de calor que enfría al menos uno entre la fuente de cationes y la fuente de aniones obtenida por el aparato del medio de disolución o el medio de separación usando la solución de alimentación antes de la dilución como fuente de enfriamiento.

<17> Un aparato de ósmosis directa de acuerdo con uno cualquiera de <14> a <16>, en el que el aparato de ósmosis directa es un aparato de purificación de agua capaz de separar la solución de arrastre diluida por el medio de dilución en una fuente de cationes y una fuente de aniones y en agua, y recuperar el componente de agua como producto objetivo.

<18> El aparato de ósmosis directa de acuerdo con uno cualquiera de <14> a <16> en el que el aparato de ósmosis directa es un dispositivo de concentración capaz de recuperar la solución de alimentación que se ha concentrado después de poner en contacto la solución de alimentación y la solución de arrastre a través de la membrana semipermeable como producto objetivo.

<19> Un proceso de ósmosis directa, que comprende:

poner en contacto una solución de arrastre tal como se define en uno cualquiera de <1> a <13> con una solución de alimentación a través de una membrana semipermeable y diluir la solución de arrastre con un líquido separado de la solución de alimentación por la membrana semipermeable;
 40 separar la solución de arrastre diluida en la fuente de cationes y la fuente de aniones y en agua; y
 devolver la fuente de cationes y la fuente de aniones separadas a la solución de arrastre diluida y disolver en esta la fuente de cationes y la fuente de aniones separadas.

<20> Un proceso de ósmosis directa de acuerdo con <19>, en el que la solución de arrastre diluida se separa en la fuente de cationes y la fuente de aniones y en agua por calentamiento a una temperatura no superior a 90 °C.

<21> Un proceso de ósmosis directa de acuerdo con <19> o <20>, en el que la solución de arrastre que se introduce por el medio de dilución tiene una temperatura de ± 5 °C de la solución de alimentación introducida por el medio de dilución.

<22> Un proceso de ósmosis directa de acuerdo con uno cualquiera de <19> a <21>, en el que la diferencia entre la temperatura máxima del medio de separación y la temperatura mínima del medio de disolución es inferior a 35 °C.

<23> Un proceso de ósmosis directa de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones <19> a <22>, en el que la solución de alimentación es agua de mar.

Efecto de la invención

60 El aparato de OD y el proceso de OD de la presente invención hacen que sea posible mantener una alta tasa de permeación, inhiben la fuga de soluto de la solución de arrastre a través de la membrana semipermeable y la migración hacia el lado de la solución de alimentación, y reducen la cantidad de soluto de la solución de arrastre restante en el agua obtenida al volatilizar los componentes de soluto de la solución de arrastre que se ha diluido con el agua de la solución de alimentación (mejora del rendimiento de extracción). Como resultado, es posible usar el
 65 aparato de OD y poner en práctica el proceso de OD sin la reposición de los componentes de soluto de la solución

de arrastre.

Breve descripción de los dibujos

- 5 [Figura 1] La Figura 1 es un ejemplo que muestra la configuración de un aparato de OD convencional.
- [Figura 2] La Figura 2 es un ejemplo que muestra la configuración del aparato de OD empleado en una realización de la presente solicitud.
- [Figura 3] La Figura 3 es un gráfico de la correlación entre el peso molecular de la fuente de cationes y las fugas.
- [Figura 4] La Figura 4 es un gráfico que muestra la correlación entre la constante de la ley de Henry multiplicada por el peso molecular y las fugas.
- 10 [Figura 5] La Figura 5 es un diagrama de flujo de una simulación empleada en una realización de la presente solicitud.

Modos de llevar a cabo la invención

- 15 El contenido de la presente invención se describe en detalle a continuación. En la presente descripción, los valores numéricos anteriores y posteriores a la palabra "a" se emplean en el sentido de los valores máximos y mínimos, inclusive, de un intervalo.

20 En la presente descripción, el término "fuente de aniones" se refiere a una sustancia que genera aniones cuando se disuelve en agua, y el término "fuente de cationes" se refiere a una sustancia que produce cationes cuando se disuelve en agua. En consecuencia, la fuente de aniones y la fuente de cationes normalmente son materiales sin carga. En la presente invención, el término "condiciones estándar" significa 25 °C y 10⁵ Pa (aproximadamente 1 atmósfera).

25 El aparato de OD de la presente invención comprende un medio de dilución para poner en contacto una solución de alimentación y una solución de arrastre que comprende una fuente de cationes y una fuente de aniones en un estado ionizado a través de una membrana semipermeable y diluir la solución de arrastre con agua separada de la solución por medio de la membrana semipermeable; un medio de separación, que es capaz de separar la solución de arrastre que se ha diluido por el medio de dilución en la fuente de cationes y la fuente de aniones y en agua; y un
30 medio de disolución, que es capaz de devolver la fuente de cationes y la fuente de aniones que se han separado por el medio de separación a, y la disolución de la fuente de cationes y la fuente de aniones en, la solución de arrastre que se ha diluido; en el que el peso molecular de la fuente de cationes en un estado sin carga es de 45 a 74 y la constante de la ley de Henry de cada una de la fuente de aniones y de la fuente de cationes es 1,0 x 10⁴ (Pa/mol · fracción) o superior en condiciones estándar. La presente invención se describirá en detalle a continuación.

35 El aparato de OD de la presente invención se refiere a un aparato que lleva a cabo la separación, concentración, filtración, y similares por un proceso de OD. Es decir, no se prescribe específicamente siempre que comprenda un método para generar artificialmente una diferencia de presión osmótica entre dos soluciones con una solución de arrastre de alta presión osmótica para hacer que el agua migre. Por ejemplo, el caso en el que se aplica una
40 diferencia de presión osmótica y se aplica presión para forzar un líquido de alimentación también está cubierto por el proceso de OD de la presente invención. En consecuencia, en el aparato de OD de la presente invención, el producto objetivo que se recupera finalmente puede ser el agua que se separa en el lado de la solución de arrastre o el líquido que se concentra en el lado de la solución de alimentación.

45 Al recuperar el agua que se separa en el lado de la solución de arrastre como producto objetivo, el aparato de OD de la presente invención de forma deseable es un dispositivo de purificación de agua. La solución de alimentación que se emplea no está limitada específicamente y se puede seleccionar adecuadamente en función del objetivo. Ejemplos de ello son el agua de mar, agua salobre, agua de río, agua obtenida de lugares naturales, como lagos,
50 pantanos y lagunas, aguas residuales industriales desechadas por fábricas y diversas instalaciones industriales, aguas residuales comunes desechadas por hogares e instalaciones comunes, y soluciones de cultivo de microorganismos en instalaciones de tratamiento de agua. De estos, se prefiere agua de mar debido a su fácil disponibilidad en cantidades grandes y estables, y la necesidad de purificación.

55 Al recuperar la solución de alimentación concentrada como producto objetivo, el aparato de OD de la presente invención de forma deseable es un aparato de concentración. En este caso, ejemplos de dichas soluciones de alimentación son zumos de frutas y jugos vegetales concentrados.

60 El aparato de OD de la presente invención comprende un medio de dilución, medios de separación, y un medio de disolución, así como otros medios según sea necesario. El proceso de OD de la presente invención comprende diluir, separar, y disolver, y se lleva a cabo por el aparato de OD de la presente invención.

<El medio de dilución>

65 El medio de dilución es un proceso en el que la solución de alimentación y la solución de arrastre se ponen en contacto a través de una membrana semipermeable y la membrana semipermeable diluye la solución de arrastre con agua que se separa de la solución de alimentación. Este proceso se puede llevar a cabo de 15 a 40 °C, por

ejemplo. Cuando la solución de arrastre que se introduce por el medio de dilución se calienta por la solución de alimentación, el soluto en la solución de arrastre se gasifica y potencialmente forma burbujas. Por el contrario, cuando se enfría, el soluto en la solución de arrastre potencialmente precipita. Por lo tanto, la temperatura de la solución de arrastre que se introduce de forma deseable es $\pm 5^\circ\text{C}$ la de la solución de alimentación que se introduce por el medio de dilución. Además, la presión de la alimentación de líquido de la solución de alimentación puede ser tal que la conducción se lleva a cabo a una baja presión diferente de la de la OI, tal como de 1×10^4 Pa a 5×10^5 Pa.

La membrana semipermeable no está limitada específicamente en términos de material, forma, tamaño, configuración, o similares, y se puede seleccionar adecuadamente en función del objetivo. Por ejemplo, puede ser una membrana plana, un módulo espiral que emplea una membrana plana, un módulo de fibra hueca, o un módulo tubular. La dirección de alimentación de la solución de arrastre y la solución de alimentación con respecto a la superficie de la membrana no está limitada; la alimentación se puede realizar antiparalela, en paralelo, o en una dirección no paralela como en un ángulo de 90° . El espesor del caudal de la alimentación tal como se mide desde la superficie de la membrana semipermeable no está limitado específicamente, y puede ser de $10\ \mu\text{m}$ a $10\ \text{mm}$, a modo de ejemplo. Cuanto menos profundo sea el caudal, mejor, porque aumenta la eficiencia de permeación del agua en la solución de alimentación a través de la membrana semipermeable. Sin embargo, también tiende a suceder la obstrucción y similares, por lo que se selecciona un espesor adecuado.

Tampoco el material de la membrana semipermeable está limitado específicamente, salvo por que sea capaz de separar agua y soluto. Ejemplos son acetato de celulosa, poliamidas aromáticas, polisulfonas aromáticas, y polibenzimidazoles. De manera deseable se selecciona una poliamida o un acetato de celulosa con un grado de sustitución de grupo acetilo de 2,50-2,95.

El método de fabricación de la membrana semipermeable no está limitado específicamente salvo por que sea posible la separación de agua y soluto. Ejemplos son el método de separación de fases inducida por un no disolvente (NIPS), método de separación de fases inducida térmicamente (TIPS), el método de polimerización interfacial y el método de evaporación del disolvente. Por ejemplo, se pueden llevar a cabo diversos métodos de fabricación de la membrana mediante los procedimientos descritos en los métodos de ciencias experimentales con membranas en *A Compilation of Artificial Membranes* (compilado por la Sociedad de membrana de Japón), 1.2 Métodos para la fabricación de membranas macromoleculares. En la fabricación de una membrana semipermeable por el método de evaporación del disolvente, es deseable una membrana delgada con un espesor inferior a $1\ \mu\text{m}$. En ese caso, hay riesgo de dañar la membrana semipermeable en el transcurso del desprendimiento de la membrana delgada del sustrato de recubrimiento (incluyendo formas de la película). Por lo tanto, se puede adoptar de antemano el método de recubrimiento de una capa de sacrificio sobre el sustrato de recubrimiento y el desprendimiento de una membrana para cada capa de sacrificio. En este caso, el término "capa de sacrificio" se refiere a una capa que se desprende o se disuelve espontáneamente cuando se sumerge en disolvente, se calienta, o similares.

Una membrana que se emplea como membrana de OI se puede usar tal cual o en una forma mejorada, como membrana semipermeable, además de una película fabricada como membrana de OD. Sin embargo, de manera deseable se selecciona una membrana de OD en la que se ha inhibido el deterioro en el rendimiento de permeación por polarización de la concentración interna. Como ejemplos específicos, se puede emplear la membrana integrada Expedition y la membrana integrada X-Pack, ambas fabricadas por Hydration Technology Innovation.

La solución de alimentación

La solución de alimentación no está limitada específicamente. Se puede seleccionar adecuadamente en función del objetivo. Ejemplos de ello son el agua de mar, agua salobre, agua de río, agua obtenida de lugares naturales, como lagos, pantanos y lagunas, aguas residuales industriales desechadas por fábricas y diversas instalaciones industriales, aguas residuales comunes descargadas por hogares e instalaciones comunes, soluciones de cultivo de microorganismos en instalaciones de tratamiento de aguas, soluciones de cultivo de microorganismos en biorreactores de membrana (MBR), zumos de frutas, legumbres y hortalizas. De estos, se prefiere el agua de mar debido a su fácil disponibilidad en cantidades grandes y estables, y la necesidad de purificación.

La solución de alimentación se puede someter a diversos tratamientos previos antes del procesamiento por el medio de dilución. Ejemplos son métodos comunes de tratamiento de agua tales como un tratamiento floculante, tratamiento de sedimentación, y tratamientos de filtración tales como filtración por arena y microfiltración. Un ejemplo adicional es el método de dilución por uso previo de la solución de alimentación como solución de arrastre en otro aparato de ósmosis directa, tal como la dilución osmótica descrita en el *Journal of Membrane Science*, 362 (2010), pp. 417-426. La reducción de la concentración de soluto de la solución de alimentación por ese método se puede anticipar que tenga efectos tales como la mejora de la tasa de dilución en el aparato de ósmosis directa de la presente invención y la reducción en gran medida de la entrada de energía.

La solución de arrastre

La solución de arrastre comprende solutos en forma de fuente de aniones y fuente de cationes cada una que tiene

una constante de la ley de Henry de $1,0 \times 10^4$ (Pa/mol · fracción) o superior. La constante de la ley de Henry es una propiedad física que indica la relación entre la fracción molar de una sustancia y la presión parcial de vapor de saturación en una solución en la que una gran cantidad de una solución se ha disuelto en agua. Cuanto mayor sea esta constante, mayor será la volatilidad de la solución acuosa y más baja será la solubilidad indicada. Se describe en los libros: *Chemistry Handbook* (publicado por Maruzen KK) y *Gas Absorption, Supplemented* (publicado por Kagaku Kogyo K.K.); en la literatura: Recopilación de las constantes de la Ley de Henry para especies orgánicas e inorgánicas de importancia potencial en Química Ambiental (hipervínculo: <http://www.mpch-mainz.mpg.de/~sander/res/henry.html>); y similares. Cuando el soluto se carga (iones), dado que solo el componente sin carga del soluto se correlaciona con la presión de vapor de saturación, la constante de la ley de Henry es una propiedad física que indica la relación entre la fracción molar del componente sin carga del soluto y la presión parcial de vapor de saturación. Por lo tanto, cuando la fuente de aniones y la fuente de cationes se cargan en forma de aniones y cationes basándose en el pH de la solución acuosa, la presión de vapor de saturación cae, es decir, aumenta la solubilidad. Dado que en la presente invención se emplea una fuente de aniones y una fuente de cationes con constantes altas de la ley de Henry de $1,0 \times 10^4$ (Pa/mol · fracción) o superior, la solubilidad es baja en el estado sin carga. Sin embargo, cuando la fuente de aniones y la fuente de cationes se juntan para ajustar el pH, la relación de cada uno de los materiales cargados se incrementa y su solubilidad aumenta notablemente en relación con el caso de la solución sola.

La solución de arrastre comprende una fuente de aniones y una fuente de cationes. En este caso, la fuente de aniones y la fuente de cationes están contenidas en la solución de arrastre en estado ionizado.

El contenido de la fuente de aniones y la fuente de cationes en la solución de arrastre no está limitado específicamente y se puede seleccionar adecuadamente en función del objetivo.

En el medio de dilución, son deseables altas concentraciones desde el punto de vista de aumentar la tasa de separación de agua de la solución de alimentación. Por ejemplo, la concentración total de soluto disuelto en la solución de arrastre justo antes del medio de dilución de forma deseable es de 4,8 moles o superior por kilogramo de agua. Si el pH de la solución es extremadamente alto o bajo existe el riesgo de favorecer el deterioro de la membrana semipermeable y similar, por lo que el pH de forma deseable es de 4 a 10. Cuando se emplea dióxido de carbono como fuente de aniones, para aumentar la solubilidad es deseable una relación de mezcla que produzca un pH de 8 o superior. La relación molar de la fuente de aniones y la fuente de cationes de forma deseable es de 1:1 a 1:2, preferentemente de 1:1,2 a 1:1,7. Para esta relación, en función de las especies de aniones y cationes, se selecciona un valor adecuado.

En el medio de separación, es deseable que la solución de arrastre diluida sea de baja concentración desde el punto de vista del aumento de la eficiencia de separación y la reducción de la energía requerida para la separación. Por lo tanto, la tasa de dilución en el medio de dilución de forma deseable es alta. Sin embargo, cuando disminuye la diferencia de presión osmótica entre la solución de arrastre diluida y la solución de alimentación, la tasa de permeación de agua a través de la membrana semipermeable en el medio de dilución cae bruscamente, por lo que se seleccionan una concentración y una tasa de dilución adecuadas.

La fuente de cationes

El peso molecular de la fuente de cationes en la presente invención es de 45 a 74 en un estado sin carga y la constante de la ley de Henry en condiciones estándar es de $1,0 \times 10^4$ (Pa/mol · fracción) o superior. El empleo de dicha fuente de cationes con la fuente de aniones hace que sea posible mantener una alta tasa de permeación de agua a través de la membrana semipermeable y la inhibición de la fuga de soluto en la solución de arrastre a través de la membrana semipermeable y la migración hacia el lado de la solución de alimentación en un aparato de OD. También reduce la cantidad de soluto de la solución de arrastre que permanece en el agua obtenida al volatilizar el componente de soluto de la solución de arrastre que se ha diluido con el agua de la solución de alimentación (mejora del rendimiento de extracción).

El peso molecular de la fuente de cationes en un estado sin carga preferentemente es de 45 a 62.

La constante de la ley de Henry de la fuente de cationes en condiciones estándar de forma deseable es $1,0 \times 10^5$ (Pa/mol · fracción) o superior. El límite superior no está fijado específicamente. A modo de ejemplo, puede ser de $1,0 \times 10^7$ (Pa/mol · fracción) o inferior. Fijarlo dentro de dicho intervalo permite elevar la volatilidad del medio de separación, y como resultado, reducir la cantidad de agua que se termina volatilizando innecesariamente en el medio de separación. Como resultado, es posible mantener baja la energía requerida para la separación.

Cuando la constante de disociación básica (pK_b) de la fuente de cationes como material sin carga es excesivamente baja en condiciones estándar, hay problemas en el sentido de que disminuye la volatilización en el medio de separación, aumenta la cantidad de la fuente de cationes restante en el agua separada, y aumenta la energía necesaria para la separación. Por el contrario, cuando el pK_b es excesivamente alto, hay problemas en el sentido de que cae el pH del absorbente, disminuye la cantidad de fuente de aniones que se disuelve, y disminuye la tasa de permeación de agua a través de la membrana semipermeable en el medio de dilución. Por lo tanto, la pK_b se debe

seleccionar adecuadamente y de forma deseable es de 2,0 a 4,5, preferentemente de 4,0 a 4,5.

Mantener el peso molecular, la constante de la ley de Henry, y el pKb de la fuente de cationes dentro de los intervalos adecuados anteriores inhibe de manera más eficaz que la fuente de cationes se fugue a través de la membrana semipermeable y la migración hacia el lado de la solución de alimentación, aumenta la eficiencia de separación del medio de separación, mantiene baja la energía requerida para la separación, y aumenta la eficiencia del medio de dilución.

El punto de ebullición de la fuente de cationes como material sin carga a 1 atm (101 kPa) de forma deseable es inferior a 100 °C, preferentemente no superior a 50 °C. Al permanecer dentro de este intervalo se inhibe la condensación durante la operación de gas en la fuente de cationes que se ha separado en el medio de separación. El límite inferior no está fijado específicamente. Por ejemplo, puede ser de -20 °C o superior.

La concentración de la fuente de cationes en la solución de arrastre justo antes de ponerla en contacto con la membrana semipermeable de forma deseable es de 2,4 moles o superior por kg de agua, preferentemente de 3,0 mol/kg o superior. La adopción de dichos medios hace que sea posible elevar la tasa de permeación de agua a través de la membrana semipermeable en el medio de dilución. El límite superior no está limitado específicamente, y normalmente puede ser de 8,0 mol/kg o inferior.

La fuente de cationes no tiene por qué estar limitada específicamente para permanecer dentro del espíritu y el alcance de la presente invención. Sin embargo, de forma deseable es un compuesto de amina y se puede representar por la fórmula general (I) a continuación.

Fórmula general (I): $R_n-NH_{(3-n)}$

(En la fórmula general (I), R representa un grupo alifático lineal o ramificado con 1 a 4 átomos de carbono y n significa 1, 2, o 3.)

En la fórmula general (I), R de forma deseable indica un grupo metilo con 1 átomo de carbono y n representa de forma deseable 3.

Ejemplos específicos son uno o más seleccionados entre trimetil amina, dimetil etil amina, isopropil amina, dimetil amina, dietil amina, n-propil amina, etil amina, n-butil amina, isopropil amina, isobutil amina, t-butil amina, pirrolidina, metil amina, etil metil amina, metil n-propil amina, metil isopropil amina, pentil amina, dimetil n-propil amina, dimetil isopropil amina, etil n-propil amina, etil isopropil amina y dietil metil amina; más preferentemente uno o más seleccionados entre trimetil amina, dimetil etil amina, isopropil amina, dimetil amina, y dietil amina; y aún más preferentemente, trimetil amina o dimetil etil amina.

La fuente de aniones

La fuente de aniones en la presente invención tiene una constante de la ley de Henry en condiciones estándar de $1,0 \times 10^4$ (Pa/mol · fracción) o superior. El empleo de dicha fuente de aniones en combinación con la fuente de cationes mantiene una alta tasa de permeación e impide que el soluto en la solución de arrastre se fugue a través de la membrana semipermeable y la migración hacia el lado de la solución de alimentación en un aparato de OD, así como la reducción de la cantidad de soluto de la solución de arrastre restante en el agua obtenida al volatilizar el componente de soluto de la solución de arrastre que se ha diluido con agua de la solución de alimentación (mejora del rendimiento de extracción).

La constante de disociación ácida (pKa) de la fuente de aniones como material sin carga en condiciones estándar es de manera deseable de 6,0 a 7,0. Mantenerla dentro de dicho intervalo tiene los efectos de causar la volatilización y la separación preferenciales sobre los cationes en el medio de separación, la mejora de la eficiencia global de la separación, y la inhibición de la fuga de la fuente de aniones a través de la membrana semipermeable y la migración hacia el lado de la solución de alimentación en el medio de dilución.

El punto de ebullición de la fuente de aniones como material sin carga a 1 atm (101 kPa) de forma deseable es inferior a 100 °C, preferentemente no superior a 50 °C, y más preferentemente no superior a 0 °C. Mantenerlo dentro de dicho intervalo tiene los efectos de causar la volatilización y la separación preferenciales sobre los cationes en el medio de separación y mejorar la eficiencia global de la separación. El límite inferior no está fijado específicamente. Sin embargo, normalmente es de -100 °C o superior.

La constante de la ley de Henry de la fuente de aniones en condiciones estándar preferentemente es de $1,0 \times 10^7$ (Pa/mol · fracción) o superior. Mantenerlo dentro de dicho intervalo tiene los efectos de causar la volatilización y la separación preferenciales sobre los cationes en el medio de separación y mejorar la eficiencia global de la separación. El límite superior no está fijado específicamente, pero normalmente es de $1,0 \times 10^{10}$ (Pa/mol · fracción) o inferior.

La concentración de la fuente de aniones en la solución de arrastre justo antes de su puesta en contacto con la

membrana semipermeable de forma deseable es de 2,4 moles por kg de agua o superior, preferentemente, de 2,8 mol/kg o superior. El empleo de dicho medio aumenta la tasa de permeación de agua a través de la membrana semipermeable en el medio de dilución. El límite superior no está fijado específicamente, pero normalmente es de 8,0 mol/kg o inferior.

5 La fuente de aniones no está limitada específicamente, y los ejemplos son dióxido de carbono (CO₂), ácido carbónico (H₂CO₂), y dióxido de azufre (SO₂). De éstos, el dióxido de carbono (CO₂) es particularmente deseable desde el punto de vista de una alta volatilidad, estabilidad, baja reactividad y fácil disponibilidad. Por consiguiente, como aniones es deseable una mezcla de iones de ácido carbónico e iones de carbonato de hidrógeno. En algunos
10 casos, se pueden incorporar iones complejos, tales como iones de carbamato.

<El medio de disolución>

15 El medio de disolución devuelve y disuelve los solutos volátiles de la solución de arrastre que se han separado por el medio de separación a la solución de arrastre que se ha diluido por el medio de dilución. El medio de disolución no está limitado específicamente y se puede seleccionar adecuadamente en función del objetivo entre los aparatos que se emplean habitualmente para absorber gases. Por ejemplo, opcionalmente se puede emplear el aparato, las piezas, las condiciones y similares que se describen en el libro: Gas Absorption, Supplemented (publicado por Kagaku Kogyo K.K.), pp 49-54, pp 83-144. Ejemplos específicos son los métodos que emplean absorbentes,
20 columnas de relleno, columnas de platos, columnas de pulverización, y columnas de relleno de fluidos; métodos de contacto de película de líquido de flujo cruzado; métodos de flujo rotatorio de alta velocidad; y métodos que usan fuerzas mecánicas. También es posible construir y causar la absorción de capas finas de gases y líquidos usando dispositivos de control de microfluidos tales como microrreactores y reactores de membrana. También se pueden emplear estructuras similares a los absorbentes empleados en bombas de calor, tales como enfriadores de
25 absorción de amoníaco.

Los rellenos que se colocan en columnas de relleno pueden ser rellenos estructurados o rellenos no estructurados. Por ejemplo, se pueden seleccionar opcionalmente los rellenos descritos en el libro: Gas Absorption, Supplemented (publicado por Kagaku Kogyo K.K.), pp 221 a 242.

30 Las partes estructurales y materiales tales como rellenos, columnas, distribuidores y soportes no están limitados específicamente y se pueden seleccionar de forma adecuada en función del objetivo. Ejemplos son materiales a base de acero, tales como acero inoxidable y acero calmado con aluminio; materiales no ferrosos, tales como titanio y aluminio; materiales cerámicos tales como vidrio y alúmina; y materiales tales como carbono, polímeros sintéticos y
35 cauchos. Para absorber eficientemente los gases de la fuente de aniones y de la fuente de cationes en el medio de disolución, es deseable la presencia de una función de refrigeración. La función de refrigeración puede estar integrada con los elementos de intercambio de calor que atraviesan el medio de disolución, o en forma de uno o varios intercambiadores de calor conectados a una parte del medio de disolución. Desde el punto de vista de una disolución eficiente, de manera deseable se selecciona una forma integrada. En el medio de disolución se pueden
40 emplear varios tipos de absorbentes de gas.

Una baja temperatura de funcionamiento del medio de disolución en general aumenta la eficiencia de disolución. Sin embargo, puesto que se requiere una cantidad inmensa de energía de refrigeración para llegar por debajo de la temperatura ordinaria, desde el punto de vista de la cantidad de energía necesaria, es deseable una temperatura
45 desde temperatura ordinaria o superior, o desde una temperatura ordinaria a 15 °C por encima de la temperatura ordinaria. En este caso, el término "temperatura normal" significa temperatura ambiente.

<El medio de separación>

50 En el medio de separación, el soluto volátil en la solución de arrastre se separa de la solución de arrastre que se ha diluido por el medio de dilución y se obtiene una solución objetivo, tal como agua o una solución de alimentación concentrada.

55 El medio de separación no está limitado específicamente y se puede seleccionar adecuadamente en función del objetivo. Ejemplos de ello son columnas de rectificación, aparatos de separación, unidades de procesamiento de membrana, microrreactores, y otros dispositivos de control de microfluidos empleados habitualmente en la separación. De estos, se prefieren las columnas de rectificación.

60 Cuando se emplea una columna de rectificación, la temperatura de calentamiento de forma deseable es no superior a 90 °C, preferentemente no superior a 75 °C. El empleo de dicho medio permite el uso de un medio calefactor de bajo valor de utilidad como fuente de energía, mejorando así en gran medida la rentabilidad. El límite inferior no está fijado específicamente, pero normalmente es de 30 °C o superior.

65 El método de calentamiento en el medio de separación se puede seleccionar adecuadamente con tal de que permita el calentamiento de la solución de arrastre diluida. Desde el punto de vista de la economía, es deseable seleccionar un método de calentamiento que use un calor residual inferior a 100 °C, no fuentes de calentamiento eléctrico o de

calor de alta temperatura de 100 °C o superior. En concreto, se pueden seleccionar plantas de energía, tales como centrales térmicas y centrales nucleares, hornos de incineración, industria de fabricación de acero y plantas de la industria petroquímica, sistemas de recolección de luz solar que emplean espejos y lentes, y similares. La selección de una planta de energía es deseable desde el punto de vista de la cantidad de calor residual.

5 La columna de rectificación no está limitada específicamente y se puede seleccionar adecuadamente en función del objetivo. Ejemplos son columnas de platos y columnas de relleno.

10 Ejemplos de columnas de platos son las estructuras descritas en los libros de Distillation Technology (publicado por Kagaku Kogyo K.K.), pp. 139-143 y Chemical Engineering Explained (publicado por Baifukan), pp. 141-142. Ejemplos específicos son platos de campana de burbujas, platos de válvula y platos de lámina porosa (tamiz).

15 Los rellenos que se colocan en columnas de relleno pueden ser rellenos estructurados o rellenos no estructurados. Por ejemplo, opcionalmente se pueden seleccionar rellenos descritos en Chemical Engineering Explained (publicado por Baifukan), pp. 155 a 157, y Gas Absorption, Supplemented (publicado por Kagaku Kogyo K.K.), pp. 221 a 242.

Por ejemplo, se puede emplear la unidad de destilación de membrana descrita en un artículo científico en el Journal of Membrane Science, Vol. 124, No. 1, pp. 1-25 y similares como unidad de procesamiento de la membrana.

20 Por ejemplo, se puede emplear el reactor descrito en el libro Techniques and Applications of Microchemical Chips (publicado por Maruzen) como microrreactor.

25 Cuando se emplea dióxido de carbono como fuente de aniones, están involucradas reacciones más lentas que en las columnas de rectificación a base de hidrocarburos, tales como la hidratación y deshidratación, y se requiere un tiempo extremadamente largo para alcanzar el equilibrio gas-líquido. Por lo tanto, para conseguir que el medio de separación funcione de manera eficiente, es deseable mantener la solución en los distintos rellenos y platos más tiempo que el tiempo de retención recomendado calculado para un sistema de hidrocarburos. Ejemplos de métodos comunes que se pueden adoptar para alargar el tiempo de retención son el aumento del diámetro de la columna de rectificación, la selección de una columna de platos, y el ajuste del tamaño del poro.

30 <Otros procesos>

Ejemplos de otros procesos son procesos de control y procesos de accionamiento. Estos se llevan a cabo por medios de control y medios de accionamiento.

35 Los medios de control no están limitados específicamente aparte de que sean capaces de controlar el funcionamiento de cada medio, y se pueden seleccionar adecuadamente en función del objetivo. Ejemplos de ello son dispositivos tales como secuenciadores y ordenadores.

40 <Energía requerida>

45 En el proceso de ósmosis directa de la presente invención, se pueden seleccionar condiciones relativamente específicas, tales como la fuente de aniones y la fuente de cationes para reducir en gran medida la energía requerida. En particular, dado que se puede emplear una fuente de calor de baja calidad como fuente de energía usada en el proceso de ósmosis directa, se logra algo de gran importancia en la fabricación. En este caso, el término "energía de baja calidad" se refiere a la energía que no se puede usar en aplicaciones comunes, o que proporciona una pobre eficiencia. Por ejemplo, para el calor inferior a 100 °C, la eficiencia de conversión de energía eléctrica de las turbinas y similares es pobre, y el valor de utilidad de dicho calor es bajo. El proceso de ósmosis directa de la presente invención requiere principalmente energía de alimentación y energía de calentamiento en el medio de separación. Sin embargo, dado que la presión de alimentación es baja, a diferencia de la OI, la energía de calentamiento representa la mayor parte de la energía en el medio de separación. Sin embargo, cuando la temperatura en el medio de disolución es inferior a la temperatura ordinaria, la temperatura de enfriamiento se vuelve inmensa. Por lo tanto, se debe ajustar por encima o igual a la temperatura ordinaria. Así, para reducir la energía general, se deben seleccionar las condiciones óptimas para todo el sistema, no solo para el medio de separación.

60 Cuando se realizó una simulación termodinámica del sistema de ósmosis directa de la presente invención, se comprobó que la reducción de la cantidad de agua que terminó siendo volatilizada innecesariamente con la fuente de aniones y la fuente de cationes en el elemento de separación mantenía baja de manera efectiva la energía en el medio de separación. En particular, cuando se emplea dióxido de carbono como fuente de aniones, la separación se produjo con la fuente de aniones que se volatiliza preferentemente en el periodo inicial en el medio de separación. Por lo tanto, era importante la facilidad con que se volatiliza y se separa la fuente de cationes restante. Es decir, el criterio de selección de la fuente de cationes no es su energía de volatilización; es importante seleccionar cationes con una alta constante de la ley de Henry y una alta pKb. En el medio de disolución, es necesario disolver eficazmente el dióxido de carbono, pero como se ha expuesto anteriormente, se hace necesaria una inmensa cantidad de energía de refrigeración cuando la temperatura en el medio de disolución se vuelve excesivamente baja.

Por lo tanto, es deseable un intervalo de temperatura normal a temperatura ordinaria, más 15 °C. Para mejorar la eficiencia de la disolución de dióxido de carbono, es deseable un pH alto en la solución de arrastre. Por lo tanto, de forma deseable el pKb de la fuente de cationes es bajo. El hecho de que el pKb que se requiere en la fuente de cationes vaya en contra de lo que se necesita en el medio de separación y el medio de disolución indica así que

5 estará presente un intervalo adecuado. Específicamente, desde el punto de vista de la energía requerida, son deseables un pKb de 3,2 a 4,5 y una constante de la ley de Henry de $1,0 \times 10^5$ (Pa/mol · fracción) o superior, y en la fuente de cationes son preferidos un pKb de 4,0 a 4,5 y una constante de la ley de Henry de $3,0 \times 10^5$ (Pa/mol · fracción) o superior. Más específicamente, de manera deseable se selecciona trimetil amina o dimetil etil amina, por ejemplo.

10 Además de lo anterior, en la presente invención se pueden adoptar las técnicas descritas en la Patente de Estados Unidos 6.391.205, la Publicación de Solicitud de patente de Estados Unidos 2005/0145568 y la Publicación Internacional N.º WO2007/146094.

15 [Realizaciones]

La presente invención se describe más específicamente a continuación por medio de formas de realización. El alcance de la presente invención no está limitado por los ejemplos específicos que se dan a continuación.

20 En las presentes realizaciones, se emplean las siguientes sustancias como fuente de cationes y fuente de aniones.

La constante de la ley de Henry es un valor basado en la Recopilación de las constantes de la Ley de Henry para especies orgánicas e inorgánicas de importancia potencial en Química Ambiental (hipervínculo: <http://www.mpch-mainz.mpg.de/~sander/res/henry.html>). Para sustancias para las que se enumeran varios valores, se eliminaron valores extremos y se empleó el valor medio. Se representa en unidades de Pa/mol · fracción. El peso molecular es el peso molecular del compuesto respectivo en un estado sin carga. El pKa y pKb son los valores habituales basados en la literatura, como el Manual de Química, Basic Edition, ed. por la Chemical Society of Japan, Maruzen. El punto de ebullición es un valor basado a 1 atm (101 kPa).

30

[Tabla 1]

Soluto (estado sin carga)		Constante de Henry	Peso molecular	pKa o pKb	Punto de ebullición [°C]
Cación	Trimetil amina	6,0E + 05	60,11	4,21	3
	Dimetil etil amina	4,0E + 05	74,14	4,17	36
	Isopropil amina	2,6E + 05	60,11	3,37	33
	Dietil amina	2,2E + 05	74,14	2,98	55,5
	Dimetil amina	1,3E + 05	46,08	3,27	7
	Etil amina	8,0E + 04	46,08	3,3	17
	Propil amina	7,8E + 04	60,11	3,33	48
	* Pentil amina	1,4E + 05	88,16	3,4	104
	Amoniaco (comparación)	9,8E + 04	18,03	4,75	-33
	Etilendiamina (comparación)	9,7E + 00	61,1	3,92	116
Anión	CO ₂	1,6E + 08	44,01	6,35	-79
	SO ₂	4,6E + 06	64,07	1,81	-10
	Ácido trifluoroacético (comparación)	7,7E + 02	114,03	0,3	72
* para referencia					

Tasa de fugas de soluto a través de la membrana semipermeable

35 La tasa a la que solo la fuente de cationes permea a través de la membrana semipermeable de una solución acuosa se analizó en un experimento modelo de la tasa de fuga del soluto en el medio de dilución. De la fuente de aniones y sus materiales cargados y la fuente de cationes y sus materiales cargados, se sabe que la fuente de cationes sin carga pasa más fácilmente a través de una membrana semipermeable cuando en la presente invención se emplea dióxido de carbono como fuente de aniones. Por lo tanto, el análisis fue eficaz en el sentido de que se ha seleccionado la fuente de cationes.

40 Se prepararon concentraciones de 0,4 moles de amoniaco (fabricado por Kanto Chemical Co., Inc.), dimetil amina (fabricada por Tokyo Chemical Industry Co., Ltd.), etil amina (fabricada por Tokyo Chemical Industry Co., Ltd.), propil amina (fabricada por Wako Pure Chemical Industries, Ltd.), trimetil amina (fabricada por Wako Pure Chemical Industries, Ltd.), y dietil amina (fabricada por Wako Pure Chemical Industries, Ltd.) por kilogramo de agua pura como soluciones de arrastre. Se emplea agua pura como solución de alimentación. Se empleó una membrana integrada

45

Expedition fabricada por Hydration Technology Innovations (denominada en lo sucesivo "membrana HT") como membrana semipermeable. Se bombearon una cantidad de 100 ml de solución de alimentación y 100 ml de solución de arrastre a una tasa de flujo de 20 mm/segundo con una bomba Peri-Star y la solución de alimentación y la solución de arrastre se pusieron en contacto a través de la membrana semipermeable en una celda que alberga una membrana semipermeable (membrana HT). En ese momento, el área de la superficie de contacto de la membrana era de 280 mm² y los dos flujos eran paralelos y estaban orientados de manera idéntica. Las dos soluciones se pusieron en contacto mientras se introducían durante 30 minutos, después de lo cual se midió la concentración de cada fuente de cationes en la solución de alimentación y se estimó la tasa de permeación de la membrana semipermeable. Se midieron el pH y la conductividad eléctrica de las soluciones de alimentación y se estimó la concentración de cationes de cada fuente de cationes contenida a partir de una curva de calibración. Los resultados se dan en la Tabla 2. La Figura 3 muestra la correlación con el peso molecular de la fuente de cationes y la Figura 4 muestra la correlación con el valor del peso molecular multiplicado por la constante de la ley de Henry de la fuente de cationes.

[Tabla 2]

Fuente de cationes	Abreviatura	Constante de Henry	Peso molecular	Henry × PM	Tasa de fuga	
					Promedio	Desviación típica
		[Pa/mol·frac]	[g/mol]	[GPA/mol molfrac]	[mol/mm ² h]	-
Amoniaco	NH ₃	9,8E + 04	17	1,66E + 06	6,92	0,51
Dimetil amina	NMe ₂	1,3E + 05	45,08	5,86E + 06	2,85	0,26
Etil amina	Net	8,0E + 04	45,08	3,59E + 06	3,30	0,48
Propil amina	NPr	7,8E + 04	59,11	4,61E + 06	3,21	0,31
Trimetil amina	NMe ₃	6,0E + 05	59,11	3,53E + 07	1,36	0,2
Dietil amina	NEt ₂	2,2E + 05	73,14	1,58E + 07	1,96	0,34

Como se muestra en la Tabla 2 y la Figura 3, los resultados indicaban que el uso de una fuente de cationes con un peso molecular de 45 a 74 suprime la tasa de permeación de la membrana semipermeable. Como se muestra en la Figura 4, la selección de una fuente de cationes con una constante de la ley de Henry alta, además de un alto peso molecular, suprime mejor la tasa de permeación de la membrana semipermeable.

Ajuste de la solución de arrastre

Se prepararon soluciones de arrastre con las composiciones que se muestran en la Tabla 3. Para el CO₂, la absorción de gas se llevó a cabo con dióxido de carbono (usando un cilindro de CO₂ gaseoso) mientras se enfría una solución acuosa de una fuente de cationes preparada de antemano. Se añadió ácido trifluoroacético (fabricado por Wako Pure Chemical Industries, Ltd.) en forma líquida. Para el SO₂, se empleó una solución acuosa de ácido sulfuroso (fabricado por Wako Pure Chemical Industries, Ltd.) en la preparación.

Ajuste de la solución de alimentación

Se empleó una solución del 0,1 % en peso (0,1 % de BSA) de albúmina de suero bovino (fabricada por Wako Pure Chemical Industries, Ltd.) o una solución 0,6 M (NaCl 0,6 M) de cloruro de sodio (fabricada por Wako Pure Chemical Industries, Ltd.) como solución de alimentación.

En el aparato de OD mostrado en la Figura 2, el medio de dilución y el medio de separación se ensamblan de forma independiente. En la Figura 2, Las flechas de líneas continuas indican el flujo de la solución de alimentación o de agua separada de la solución de alimentación y las líneas de puntos indican el flujo de la solución de arrastre o del soluto de la solución de arrastre, respectivamente. El presente aparato de OD está compuesto de un medio de dilución 21, un medio de disolución 22, y un medio de separación 23.

Inicialmente, como medio de dilución, se ponen en contacto 200 ml de solución de alimentación y 200 ml de solución de arrastre a través de una membrana semipermeable 24 (membrana HT) en el medio de dilución 21 (área de la superficie de contacto de la membrana 280 mm²). Cada solución se bombeó a un caudal de 20 mm/segundo en paralelo con la misma orientación usando una bomba Peri-Star. La tasa a la que el agua de la solución de alimentación permea hacia el lado del medio de disolución 22 a través de la membrana semipermeable 24 se analizó midiendo los pesos de la solución de alimentación y la solución de arrastre en tiempo real. Se cuantificó la concentración de cationes que se había filtrado de la solución de arrastre y estaba contenida en la solución de alimentación después de fluir durante tres horas con diversos electrodos de amina o por cromatografía de gases, y se calcula la tasa de fuga. Se obtuvieron los electrodos de amina empleados en la cuantificación de amina

5 sustituyendo el líquido interno de electrodos de amoniaco comerciales (fabricados por DKK-TOA Corporation, que comprende electrodos de compuesto de amoniaco AE-2041 conectados a un medidor de iones portátil IM-32P) con una solución acuosa de cloruro de la amina a medir (por ejemplo, solución acuosa 50 mM de cloruro de trimetil amina). El método de medición consistía en ajustar el pH de la muestra de líquido con solución acuosa de NaOH y a continuación la medición de la fuerza electromotriz en estado estacionario. Se prepararon curvas de calibración de la concentración de amina y la fuerza electromotriz para diferentes concentraciones de las soluciones acuosas de los diferentes controles de medición y a continuación se estimaron las concentraciones de amina de las muestras.

10 A continuación, se empleó una columna de rectificación como medio de separación para medir la cantidad de soluto restante. Se empleó una columna de rectificación de configuración de doble tubo con un sistema incorporado de relleno estructurado (Laboratory Packing EX, fabricado por Sulzer Chemtech: en adelante denominado "Labpack") como columna de rectificación. Mientras se calentaba la parte inferior con un calentador de camisa, la solución de arrastre que se había diluido por el agua de la solución de alimentación se introdujo de forma continua desde la parte superior de la columna de rectificación. En la columna de rectificación del medio de separación 23, el
15 componente de soluto de la solución de arrastre se volatiliza para separar el agua del componente de soluto de la solución de arrastre. En ese momento, la parte superior de la columna se conecta a través de un elemento de refrigeración a una bomba de vacío y la presión interna se regula automáticamente a $1,0 \times 10^4$ Pa. Durante tres horas de operación, se tomaron muestras de una cantidad adecuada de líquido separado de la parte inferior de la columna y se midió la concentración de cationes restante en la solución sin carga de la parte inferior de la columna
20 de rectificación mientras se encuentra en estado estacionario. La medición se llevó a cabo por el mismo método que en el medio de dilución anteriores.

Tasa de flujo de permeación

25 En el proceso anterior se mide el caudal de permeación de la membrana semipermeable de agua de la solución de alimentación.

O: $300 \mu\text{mol}/\text{mm}^2 \text{ h}$ o más
 Δ : $30 \mu\text{mol}/\text{mm}^2$ o más, pero inferior de $300 \mu\text{mol}/\text{mm}^2$
 30 X: menos de $30 \mu\text{mol}/\text{mm}^2$
 Por encima, Δ o mejor indica un nivel práctico.

Tasa de fuga

35 En el proceso anterior se midió la fuga del componente de soluto a través de la membrana semipermeable hacia la solución de arrastre. Se llevó a cabo la siguiente evaluación.

O: menos de $1 \mu\text{mol}/\text{mm}^2$
 Δ : $1 \mu\text{mol}/\text{mm}^2$ o más, pero inferior a $5 \mu\text{mol}/\text{mm}^2$
 40 X: más de $5 \mu\text{mol}/\text{mm}^2$
 Por encima, Δ o mejor indica un nivel práctico.

Cantidad de soluto restante

45 Se midió la cantidad de solución de arrastre restante en el agua después de la separación de la fuente de cationes y la fuente de aniones de la solución de arrastre. Se llevó a cabo la siguiente evaluación.

①: menos de $50 \mu\text{M}$
 O: $50 \mu\text{M}$ o más, pero inferior a $200 \mu\text{M}$
 Δ : $200 \mu\text{M}$ o más, pero inferior de 1 mM
 50 X: 1 mM o más
 Por encima, Δ o mejor indica un nivel práctico.

[Tabla 3]

Ejemplo	Especie (estado sin carga)	Contenido [mol/kg de H ₂ O]	Especie (estado sin carga)	Contenido [mo l/kg H ₂ O]	Solución de alimentación	Tasa de flujo	Tasa de fuga	Cantidad de soluto restante
Ejemplo 1	Trimetil amina	4,2	CO ₂	3	0,1 % de BSA	o	o	o
Ejemplo 2	Trimetil amina	4,2	CO ₂	3	0,6 M NaCl	o	o	o
Ejemplo 3	Dimetil etil amina	4,2	CO ₂	3	0,1 % de BSA	o	o	o
Ejemplo 4	Dimetil etil amina	4,2	CO ₂	3	0,6 M NaCl	o	o	o
Ejemplo 5	Isopropil amina	4,2	CO ₂	3	0,1 % de BSA	o	o	o
Ejemplo 6	Isopropil amina	4,2	CO ₂	3	0,6 M NaCl	o	o	o
Ejemplo 7	Dietil amina	4,2	CO ₂	3	0,6 M NaCl	o	o	o
Ejemplo 8	Propil amina	4,2	CO ₂	3	0,6 M NaCl	o	Δ	o
Ejemplo 9	Etil amina	4,2	CO ₂	3	0,6 M NaCl	o	Δ	o
Ej. Comp. 7	Pentil amina	4,2	CO ₂	3	0,6 M NaCl	o	o	Δ
Ejemplo 11	Trimetil amina	1,4	CO ₂	1	0,1 % de BSA	Δ	o	o
Ejemplo 12	Trimetil amina	1,4	CO ₂	1	0,6 M NaCl	Δ	o	o
Ejemplo 13	Dimetil etil amina	1,4	CO ₂	1	0,1 % de BSA	Δ	o	o
Ejemplo 14	Trimetil amina	4,2	CO ₂	2	0,6 M NaCl	o	Δ	o
Ej. Comp. 1	Trimetil amina	4,2	-	-	0,6 M NaCl	x	x	o
Ej. Comp. 2	-	-	SO ₂	0,5	0,1 % de BSA	Δ	o	x
Ej. Comp. 3	Amoniaco	4,2	CO ₂	3	0,6 M NaCl	o	x	o
Ej. Comp. 4	Amoniaco	1,4	CO ₂	1	0,6 M NaCl	Δ	x	o
Ej. Comp. 5	Etilendiamina	4,2	CO ₂	3	0,1 % de BSA	o	Δ	x
Ej. Comp. 6	Trimetil amina	0,75	Ácido trifluoroacético	0,45	0,1 % de BSA	o	Δ	x

Como será evidente de la tabla anterior, cuando la fuente de cationes empleada tiene una constante de Henry inferior a $1,0 \times 10^4$ (Pa/mol · fracción) o el peso molecular de la fuente de cationes es inferior a 31 (Ejemplos Comparativos 3 a 5), se deterioraron la tasa de fuga y la cantidad de soluto restante. Cuando la constante de la ley de Henry de la fuente de aniones era inferior a $1,0 \times 10^4$ (Pa/mol · fracción) (Ej. Comp. 6), se deterioró la cantidad de soluto restante.

Cuando el peso molecular de la fuente de cationes en un estado sin carga está comprendido en el intervalo de 45 a 74 y la constante de la ley de Henry de cada una de la fuente de cationes y la fuente de aniones en condiciones estándar era de $1,0 \times 10^4$ (Pa/mol · fracción) o superior, el caudal de permeación, la tasa de fuga, y la cantidad de soluto restante eran todas muy buenas. Cuando la constante de la ley de Henry de cada una de la fuente de cationes y la fuente de aniones era de $1,00 \times 10^5$ (Pa/mol · fracción) o superior y el peso molecular de la fuente de cationes está comprendido en un intervalo de 45 a 74, se encontró que estos efectos son particularmente buenos. Cuando la constante de la ley de Henry de cada una de la fuente de cationes y la fuente de aniones es de $3,00 \times 10^5$ (Pa/mol · fracción) o superior, se encontró que estos efectos eran aún mejores. Cuando el pKb de la fuente de cationes está comprendido en un intervalo de 4,0 a 4,5, se encontró que estos efectos eran aún mejores. Cuando se empleó trimetil amina o dimetil etil amina como fuente de cationes y se empleó dióxido de carbono como fuente de aniones, se encontró que estos efectos son particularmente buenos.

Se llevaron a cabo simulaciones generales de energía para el aparato de OD mostrado en la Figura 2 para las Realizaciones 2, 6, y 7 y el Ej. Comp. 3. La Figura 5 muestra un esquema del sistema empleado en la simulación. En ella, el absorbente representa el medio de disolución, el separador representa el medio de separación, y MIX 1 representa el elemento de dilución. La fuente de cationes usada fue amoniaco o diversas aminas, y la fuente de aniones fue dióxido de carbono. Se emplearon los datos almacenados en OLI Systems para las diferentes propiedades físicas de las fuentes de cationes y fuentes de aniones. En términos de escala, aunque no directamente relacionado con los resultados, el caudal de agua que se podría purificar (TR_WATER) se estimó en 1000 toneladas/día.

La concentración de la fuente de cationes y la fuente de aniones en el elemento de dilución se diluyó con agua pura a 25 °C, de 4,2 moles y 3,0 moles por kilogramo de agua a 1,4 moles y 1,0 mol, respectivamente. Se consideró que no hay pérdida de la solución de cationes o la solución de aniones durante este proceso. La solución de arrastre diluida (solución) se dividió en el separador y en el absorbente por el Split1. La relación de reparto en ese momento era de 2:1. Sin embargo, el lado del separador se ajustó alto, de manera que se lograra la concentración objetivo en el absorbente incluso cuando el agua migra hacia el absorbente junto con la fuente de cationes y la fuente de aniones del separador. Como separador se emplea una columna de rectificación empaquetada con 30 segmentos teóricos y se considera que no hay pérdida de presión. La presión se fijó a una presión (presión de vapor de saturación de la solución de arrastre a 25 °C) tal que la concentración de la fuente de cationes y la fuente de aniones alcanzó 4,2 moles y 3,0 moles por kilogramo a una temperatura final de 25 °C cuando se enfría el absorbente contenido en el TR_WATER. La temperatura en la parte inferior de la columna de rectificación se ajusta de manera que, a esa presión, la concentración de la fuente de cationes contenidos en el agua (TR_WATER) obtenida de la parte inferior del separador pasa a ser de 60 μ moles por kilogramo de agua. En la simulación, se ajustó el gas retirado (ventilado) de la parte superior del absorbente. Sin embargo, el nivel era tan bajo en relación con el conjunto que se considera insignificante. Se consideró que la solución de arrastre diluida (ABS_RC) que se dividió en el Split1 se había introducido en el absorbente después de la disolución de la fuente de aniones y la fuente de cationes a 25 °C en MIX2. La fuente de aniones y la fuente de cationes se repusieron en ese momento en cantidades que compensan las pérdidas debido a la retención en el TR_WATER.

Como se muestra en la Figura 5, el calor se intercambiaba mediante intercambiadores de calor (HX1, HX2) en dos puntos. Los valores de UA de los intercambiadores de calor se ajustaron a $4,0 \times 10^8$ y $2,0 \times 10^9$, respectivamente. Se considera que no hay pérdida de calor a través de la tubería, pérdida de presión, o precipitación de la sal debido a estados no uniformes. Se considera que no hay control de la velocidad de las tasas de reacción, tales como la reacción de hidratación o de la tasa de difusión. Se considera que los flujos de la fase mixta de gases y líquidos son adecuados. De los resultados obtenidos, se estimó que el nivel de calentamiento en la parte inferior del separador era la energía requerida.

La Tabla 4 muestra los resultados de la simulación. Como se indica en la Tabla 4, la energía requerida en las Realizaciones 6 y 7 y en el Ej. Comp. 3 era de 100 kWh/m³ (la suma total de la energía térmica requerida para 1 m³ de agua) o superior. Por el contrario, esto pasó a ser de 67 kWh/m³ en condiciones de concentraciones de 4,2 mol/kg y 3,0 mol/kg, respectivamente, en el medio de disolución cuando se emplea trimetil amina como fuente de cationes y se emplea dióxido de carbono como fuente de aniones en la Realización 2. Eso indica un ahorro de energía considerable. Esto se atribuyó principalmente a la supresión de la cantidad de volatilización innecesaria de agua en el separador.

[Tabla 4]

	Solución de arrastre				Rendimiento de separación	
	Fuente de cationes		Fuente de aniones		Nivel de calentamiento de la columna del separador	Conservación de energía
	Especies	Cantidad de cambio [mol/kg]	Especies	Cantidad de cambio [mol/kg]	[kWh/m ³]	
Ejemplo 2	Trimetil amina	4,2 → 1,4	CO ₂	3,0 → 1,0	67	⊙
Ejemplo 6	Isopropil amina	4,2 → 1,4	CO ₂	3,0 → 1,0	215	○
Ejemplo 7	Dietil amina	4,2 → 1,4	CO ₂	3,0 → 1,0	362	○
Ej. Comp. 3	Amoniaco	4,2 → 1,4	CO ₂	3,0 → 1,0	117	○

La Tabla 5 muestra la temperatura del absorbente y la temperatura inferior de la columna del separador en la simulación anterior. Como se indica en la Tabla 3, en el Ej. Comp. 3, la temperatura inferior de la columna del separador, es decir, la temperatura de calentamiento más alta, era de 63 °C. Por el contrario, en la Realización 2, se estima en 51 °C, dando lugar a una diferencia de temperatura con la temperatura del absorbente de 26 °C. Esa era extremadamente baja en relación con el diferencial de temperatura de 38 °C del Ej. Comp. 3. El hecho de que la diferencia en la temperatura de calentamiento y la temperatura de refrigeración del aparato en su conjunto fuese pequeña indica de por sí que el aparato se podría hacer funcionar con una fuente de energía de baja calidad. Por lo tanto, los resultados obtenidos para la Realización 2 indican una eficiencia económica extremadamente buena.

[Tabla 5]

	Fuente de cationes	Temperatura del absorbente (absorbente)	Temperatura inferior de la columna del separador (Separador)	Diferencial de temperatura	Conservación de energía
Ejemplo 2	Trimetil amina	25 °C	51 °C	26 °C	⊙
Ej. Comp. 3	Amoniaco	25 °C	63 °C	38 °C	Δ

[Clave para los números]

- 15
- 11 Agua de mar
 12 Solución de arrastre
 13 Membrana semipermeable
 14 Columna de rectificación
 20 15 Componente volátil de la solución de arrastre
 16 Agua
 17 Absorbente gaseoso
 18 Manómetro
 21 Medios de dilución
 25 22 Medios de disolución
 23 Medios de separación
 24 Membrana semipermeable
 25 Absorbente gaseoso

30

REIVINDICACIONES

1. Una solución de arrastre para un proceso de ósmosis directa, que comprende:
 - 5 una fuente de aniones; y
una fuente de cationes que tiene un peso molecular de 45 a 74 en un estado sin carga; en la que cada una de la fuente de aniones y la fuente de cationes tiene una constante de la ley de Henry en agua de $1,0 \times 10^4$ (Pa/mol · fracción) o superior en condiciones estándar.
 - 10 2. Una solución de arrastre de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la fuente de cationes tiene una constante de la ley de Henry en agua de $3,0 \times 10^4$ (Pa/mol · fracción) o superior en condiciones estándar.
 3. Una solución de arrastre de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en la que la fuente de aniones tiene una constante de disociación ácida (pKa) de 6,0 a 7,0 como material sin carga en condiciones estándar.
 - 15 4. Una solución de arrastre de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en la que la fuente de cationes tiene una constante de disociación básica (pKb) de 2,0 a 4,5 como material sin carga en condiciones estándar.
 5. Una solución de arrastre de acuerdo con la reivindicación 4, en la que la fuente de cationes tiene una constante de disociación básica (pKb) de 4,0 a 4,5 como material sin carga en condiciones estándar.
 - 20 6. Una solución de arrastre de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en la que cada una de la fuente de aniones y la fuente de cationes está presente en una concentración de al menos 2,4 moles por kilogramo de agua.
 - 25 7. Una solución de arrastre de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en la que los aniones son iones de ácido carbónico y/o iones de carbonato de hidrógeno, y la fuente de cationes son uno o más miembros seleccionados del grupo que consiste en trimetil amina, dimetil etil amina, isopropil amina, dimetil amina y dietil amina.
 - 30 8. Una solución de arrastre de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en la que la fuente de cationes y/o la fuente de aniones tienen un punto de ebullición inferior a 100 °C a 1 atm (101 kPa) como material sin carga.
 9. Una solución de arrastre de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en la que la fuente de cationes tiene una constante de la ley de Henry en agua de $1,0 \times 10^5$ (Pa/mol · fracción) o superior en condiciones estándar.
 - 35 10. Una solución de arrastre de acuerdo con la reivindicación 9, en la que la fuente de cationes tiene una constante de la ley de Henry en agua de $3,0 \times 10^5$ (Pa/mol · fracción) o superior en condiciones estándar.
 11. Una solución de arrastre de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en la que la relación molar de la fuente de aniones y de la fuente de cationes es de 1:1 a 1:2.
 - 40 12. Una solución de arrastre de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-9, en la que la fuente de cationes y la fuente de aniones cada una tienen una constante de la ley de Henry de $1,00 \times 10^5$ (Pa/mol · fracción) o superior.
 - 45 13. Una solución de arrastre de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en la que la fuente de cationes es trimetil amina o dimetil etil amina y la fuente de aniones es dióxido de carbono.
 14. Un aparato de ósmosis directa, que comprende:
 - 50 una solución de arrastre tal como se define en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13;
un medio de dilución, que es capaz de poner en contacto una solución de alimentación con la solución de arrastre a través de una membrana semipermeable y diluir la solución de arrastre con agua separada de la solución de alimentación por medio de la membrana semipermeable;
 - 55 un medio de separación, que es capaz de separar la solución de arrastre que ha sido diluida por el medio de dilución en la fuente de cationes y la fuente de aniones y en agua; y
un medio de disolución que es capaz de devolver la fuente de cationes y la fuente de aniones de la solución de arrastre, que han sido separadas por el medio de separación, a la solución de arrastre que ha sido disuelta y de disolver en esta la fuente de cationes y la fuente de aniones.
 - 60 15. Un aparato de ósmosis directa de acuerdo con la reivindicación 14, que comprende un intercambiador de calor capaz de calentar la solución de arrastre diluida usando, como fuente de calor, al menos uno entre agua, la fuente de cationes y la fuente de aniones obtenidos por el medio de separación.
 - 65 16. Un aparato de ósmosis directa de acuerdo con una cualquiera de la reivindicación 14 o la reivindicación 15, que comprende además un intercambiador de calor que enfría al menos uno entre la fuente de cationes y la fuente de aniones obtenidas por el aparato del medio de disolución o el medio de separación usando como fuente de

refrigeración la solución de alimentación antes de la dilución.

5 17. Un aparato de ósmosis directa de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 14 a 16, en donde el aparato de ósmosis directa es un aparato de purificación de agua capaz de separar la solución de arrastre diluida por el medio de dilución en una fuente de cationes y una fuente de aniones y en agua, y recuperar el componente acuoso como producto objetivo.

10 18. El aparato de ósmosis directa de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 14 a 16 en donde el aparato de ósmosis directa es un dispositivo de concentración capaz de recuperar la solución de alimentación que ha sido concentrada después de poner en contacto la solución de alimentación y la solución de arrastre a través de la membrana semipermeable como producto objetivo.

19. Un proceso de ósmosis directa, que comprende:

15 poner en contacto una solución de arrastre tal como se define en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13 con una solución de alimentación a través de una membrana semipermeable y diluir la solución de arrastre con un líquido separado de la solución de alimentación por la membrana semipermeable;
separar la solución de arrastre diluida en la fuente de cationes y la fuente de aniones y en agua; y
20 devolver la fuente de cationes y la fuente de aniones separadas a la solución de arrastre diluida y disolver en esta la fuente de cationes y la fuente de aniones separadas.

25 20. Un proceso de ósmosis directa de acuerdo con la reivindicación 19, en el que la solución de arrastre diluida es separada en la fuente de cationes y la fuente de aniones y en agua por calentamiento a una temperatura no superior a 90 °C.

21. Un proceso de ósmosis directa de acuerdo con la reivindicación 19 o la reivindicación 20, en el que la solución de arrastre que es introducida por el medio de dilución tiene una temperatura de ± 5 °C de la solución de alimentación introducida por el medio de dilución.

30 22. Un proceso de ósmosis directa de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 19 a 21, en el que la diferencia entre la temperatura máxima del medio de separación y la temperatura mínima del medio de disolución es inferior a 35 °C.

35 23. Un proceso de ósmosis directa de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 19 a 22, en el que la solución de alimentación es agua de mar.

Fig.1

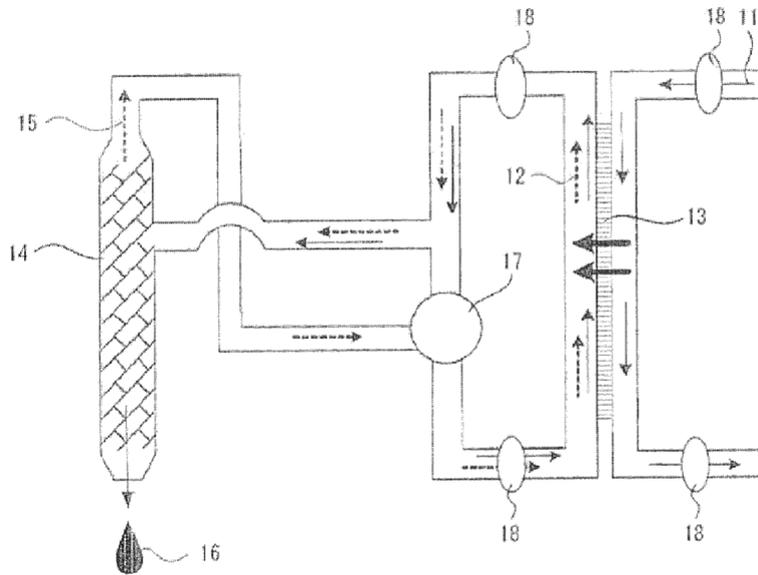


Fig.2

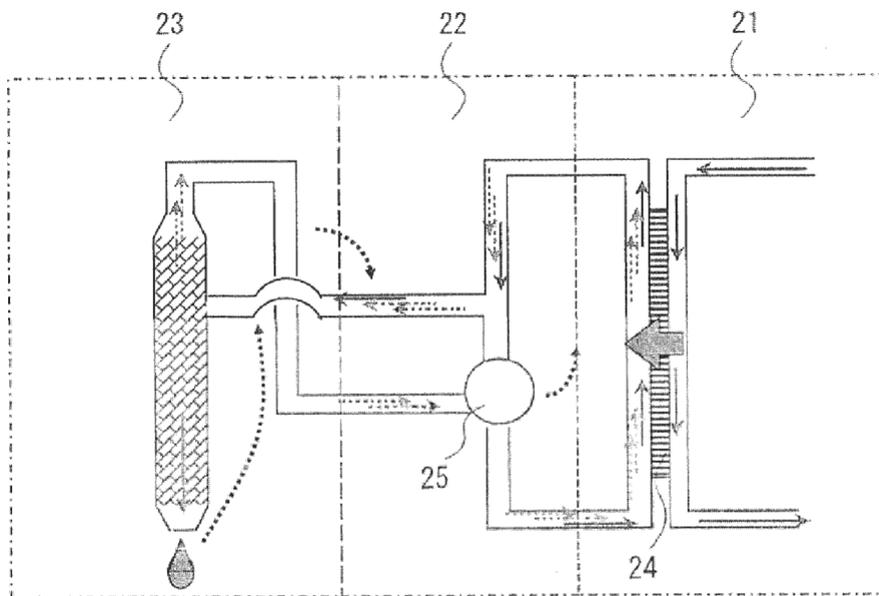


Fig.3

Correlación entre el peso molecular de la fuente de cationes y las fugas

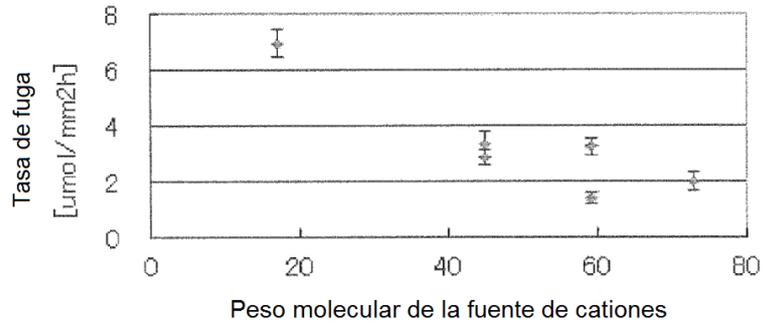
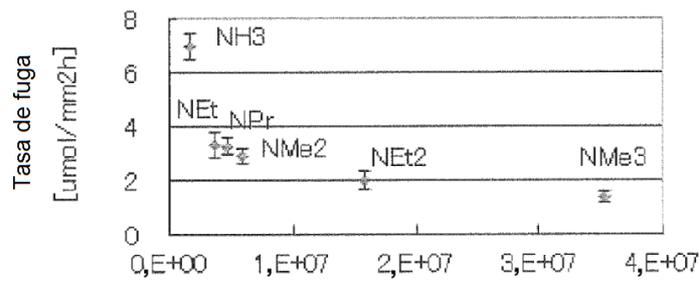


Fig.4

Correlación entre la constante de la ley de Henry x peso molecular y las fugas.



Constante de la ley de Henry de la fuente de cationes x peso molecular

Fig. 5

