

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 592 215**

51 Int. Cl.:

C02F 1/469 (2006.01) **C02F 1/461** (2006.01)

C02F 1/60 (2006.01)

B01D 61/46 (2006.01)

B01D 61/52 (2006.01)

C02F 1/66 (2006.01)

C02F 1/52 (2006.01)

B01D 61/58 (2006.01)

C02F 103/08 (2006.01)

B01D 65/08 (2006.01)

C02F 101/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.02.2013 PCT/US2013/026071**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.09.2013 WO13138012**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.02.2013 E 13706863 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.08.2016 EP 2825509**

54 Título: **Procedimiento de desalinización**

30 Prioridad:

12.03.2012 CN 201210063881

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

28.11.2016

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**ZHANG, CHENGQIAN;
YANG, HAI y
XIONG, RIHUA**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 592 215 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de desalinización

Antecedentes de la divulgación

5 La invención se refiere generalmente a sistemas de desalinización y procedimientos para la recuperación de agua. Más particularmente, la presente invención se refiere a sistemas de desalinización y procedimientos que usan membranas de intercambio iónico para la retirada de sílice y la recuperación de agua.

10 En los procedimientos industriales, se producen grandes cantidades de agua residual, tal como soluciones salinas acuosas. Generalmente, dicho agua residual no resulta apropiada para el consumo directo en aplicaciones domésticas e industriales. A la vista de las fuentes de agua idóneas limitadas, resulta deseable recuperar agua idónea a partir de agua residual.

15 Se han llevado a cabo intentos para retirar sílice del agua residual u otras fuentes de agua que contiene sílice. Por ejemplo, se introducen corrientes que contienen sílice en aparatos de desalinización, tales como aparatos de ósmosis inversa al tiempo que el pH de dichas corrientes se aumenta para la retirada de sílice debido a que el pH más elevado de las corrientes tiene como resultado una ionización elevada de la sílice. No obstante, dichos procedimientos sufren de requisitos de pretratamiento complicados y rigurosos y coste elevado. Normalmente, la fluctuación y la ineficacia del pretratamiento puede provocar formación de incrustaciones u obstrucción de la sales en pequeñas cantidades, tales como hidróxido de magnesio o carbonato de calcio dentro de los aparatos de retirada de sílice, lo cual resulta desventajoso para la retirada de sílice y los aparatos de retirada de sílice.

20 La técnica anterior a modo de ejemplo relevante para la materia objetivo de la presente invención incluye los documentos WO 2011/152 226, US 4 110 175, AU 514 772, GB 1 005 125, US 4 227 981, JP 2001 327 971, TW 200 838807, US 4 298 442, JP 2007 167 745.

Por tanto, resultan necesarios nuevos procedimientos de desalinización mejorados para la retirada de sílice y la recuperación de agua.

Breve descripción de la divulgación

25 En la presente memoria se describe un sistema de desalinización.

30 El sistema de desalinización comprende una unidad de retirada de sílice configurada para recibir una primera corriente de alimentación para la retirada de sílice. La unidad de retirada de sílice comprende electrodos primero y segundo, una pluralidad de membranas de intercambio iónico dispuestas entre los electrodos primero y segundo y una pluralidad de separadores dispuestos entre la posición las membranas de intercambio iónico adyacentes y entre los electrodos primero y segundo y las respectivas membranas de intercambio iónico. La pluralidad de membranas de intercambio iónico comprende un par de membranas de intercambio iónico y un par de membranas de intercambio aniónico dispuestas entre el par de membranas de intercambio catiónico. Un primer canal viene definido entre las membranas de intercambio aniónico y los canales segundo y tercero se definen entre la membrana de intercambio aniónico y una membrana adyacente de intercambio catiónico.

35 Otra realización del sistema de desalinización se describe de forma adicional en la presente memoria. El sistema de desalinización comprende un aparato de retirada de sílice configurado para recibir una primera corriente de retirada de sílice. El aparato de retirada de sílice comprende electrodos primero y segundo, una pluralidad de membranas de intercambio iónico dispuestas entre los electrodos primero y segundo, y una pluralidad de separadores dispuestos entre las membranas de intercambio iónico adyacentes y entre los electrodos primero y segundo y las respectivas membranas de intercambio iónico. La pluralidad de membranas de intercambio iónico comprende al menos tres membranas de intercambio catiónico y al menos dos pares de membranas de intercambio aniónico. Cada par de membranas de intercambio aniónico se dispone entre dos membranas de intercambio catiónico para definir un primer canal entre cada parte de membranas de intercambio aniónico y los canales segundo y tercero entre cada una de la membranas de intercambio aniónico de cada par y la membrana de intercambio catiónico adyacente.

45 La invención proporciona un procedimiento de desalinización para retirar la sílice de una corriente acuosa. El procedimiento de desalinización comprende hacer pasar una primera corriente de alimentación a través de un primer canal definido entre al menos un par de membranas de intercambio aniónico dispuestas entre los electrodos primero y segundo de un aparato de retirada de sílice para producir una primera corriente de salida para la retirada de sílice; hacer pasar una segunda corriente de alimentación a través de un segundo canal definido entre la membrana de intercambio aniónico de al menos un par de membranas de intercambio aniónico y una membrana de intercambio catiónico adyacente dispuesta entre al menos un par de membranas de intercambio aniónico y el primer electrodo para sacar la sílice retirada de la primera corriente de alimentación y producir una segunda corriente de salida; y hacer pasar una tercera corriente de alimentación a través del tercer canal definido entre la membrana de intercambio aniónico de al menos un par de membranas de intercambio aniónico y una membrana de intercambio catiónico adyacente dispuesta entre al menos un par de membranas de intercambio aniónico y el segundo electrodo para facilitar la retirada de sílice del primer canal hasta el segundo canal adyacente y para producir una tercera

corriente de salida.

Estas y otras ventajas y características se comprenderán mejor a partir de la siguiente descripción detallada de las realizaciones preferidas de la invención que se proporciona en conexión con los dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

5 La Figura 1 es un diagrama esquemático de un sistema de desalinización usado en un procedimiento de la invención;

La Figura 2 es un diagrama esquemático de un diagrama de un aparato de desalinización del sistema de desalinización usado en un procedimiento de la invención;

10 La Figura 3 es un diagrama esquemático de otra realización de un aparato de destilación del sistema de desalinización usado en el procedimiento de la invención;

La Figura 4 es un diagrama esquemático de otra realización de un sistema de desalinización usado en el procedimiento de la invención; y

La Figura 5 es un gráfico experimental que ilustra la eficacia de retirada de sílice del aparato de retirada de sílice mostrado en la Figura 3.

Descripción detallada de la invención

Las realizaciones preferidas de la presente divulgación se describen a continuación con referencia a los dibujos adjuntos. En la siguiente descripción, las funciones bien conocidas o construcciones no se describen con detalle para evitar el oscurecimiento de la divulgación con detalles innecesarios.

20 La Figura 1 es un diagrama esquemático de un sistema de desalinización 10 usado en un procedimiento de la invención. Según se ilustra en la Figura 1, el sistema de desalinización 10 comprende un aparato de desalinización 11 configurado para recibir una primera corriente de alimentación 12 que tiene sales u otras impurezas a partir de una primera fuente de líquidos (no mostrada) para la desalinización, para producir una primera corriente de salida 13.

25 Además, el aparato de desalinización 13 está configurado para recibir una segunda corriente de alimentación 14 y una tercera corriente de alimentación 15 a partir de las respectivas fuentes segunda y tercera (no mostradas) de manera que las corrientes de alimentación segunda y tercera 14, 15 cooperen para transportar las especies cargadas retiradas a partir de la primera corriente de alimentación 12 fuera del aparato de desalinización 11 y produzcan las respectivas corrientes de salida segunda y tercera 16, 17.

30 En los ejemplos no limitantes, las sales de la primera corriente de alimentación 12 pueden incluir iones cargados, tales como iones de magnesio (Mg^{2+}), calcio (Ca^{2+}), sílice, sodio (Na^+), cloro (Cl^-) y/u otros iones. En un ejemplo no limitante, los iones cargados de la primera corriente de alimentación 12 al menos incluyen una parte de iones objetivo, tales como sílice ionizada de forma que el aparato de desalinización 11 pueda actuar como aparato de retirada de sílice para retirar la sílice de la primera corriente de alimentación 12.

35 Por consiguiente, la primera corriente de salida 13 tiene una concentración baja de las especies cargadas, tal como sílice en comparación con la primera corriente de alimentación 12. En algunas aplicaciones, la primera corriente de salida 13 puede hacerse circular al interior del aparato de desalinización 11 u otros aparatos de desalinización apropiados, tales como aparatos de electrodiálisis inversa (EDR) para desalinización adicional.

40 Generalmente, la sílice puede estar parcialmente ionizada en la primera corriente de alimentación 12. El aumento del pH de la primera corriente de alimentación 12 provoca la ionización de la sílice en el interior de la misma y facilita la retirada de la misma. Por consiguiente, como se muestra en la Figura 1, el sistema de desalinización 10 comprende además una unidad 18 de ajuste de pH en comunicación fluida con el aparato de desalinización 11 y está configurada para aumentar el pH de la primera corriente de alimentación 12 con el fin de facilitar la ionización de sílice en la primera corriente de alimentación 12.

45 La unidad 18 de ajuste de pH puede ajustar el pH de la primera corriente de alimentación 12 para que sea mayor de aproximadamente 7, por ejemplo, hasta un intervalo de aproximadamente 8 a aproximadamente 11. En particular, el pH de la primera corriente de alimentación 12 se puede ajustar a un intervalo de aproximadamente 9,5 a aproximadamente 11,5. En un ejemplo no limitante, el pH de la primera corriente de alimentación 12 se ajusta para que sea de aproximadamente 11. Una vez ajustado el pH, al menos una parte de la sílice de la primera corriente de alimentación 12 se puede ionizar en forma de $HSiO_3^-$ y/o SiO_3^{2-} . Para una fácil ilustración, la sílice ionizada se muestra como $HSiO_3^-$, por ejemplo.

50 Para algunas configuraciones, la unidad 18 de ajuste de pH puede comprender una fuente de ajuste de pH (no mostrada) para introducir aditivos en la primera corriente de alimentación 12 para ajustar su pH. En los ejemplos no limitantes, la unidad 18 de ajuste de pH puede introducir aditivos básicos en la primera corriente de alimentación 12.

Los ejemplos no limitantes de los aditivos básicos incluyen hidróxido de sodio, hidróxido de potasio e hidróxido de amonio. Los aditivos básicos pueden introducirse automáticamente en la primera corriente de alimentación 12. En determinadas aplicaciones, la unidad 18 de ajuste de pH no se puede emplear en el sistema de desalinización 10 y se puede pre-ajustar el pH de la primera corriente de alimentación 12.

5 La Figura 2 ilustra un diagrama esquemático del aparato de desalinización 11 usado en un procedimiento de la invención. En este ejemplo, el aparato de desalinización 11 comprende una unidad de desalinización. Como se ilustra en la Figura 2, la unidad de desalinización 11 comprende un primer electrodo 9, un segundo electrodo 20, una pluralidad de membranas de intercambio iónico y una pluralidad de separadores 25. En el ejemplo ilustrado, las membranas de intercambio iónico comprenden un par de membranas 21, 22 de intercambio catiónico, y un par de
10 membranas 23, 24 de intercambio aniónico.

El primer y segundo electrodos 19, 20 están conectados a terminales positiva y negativa de una fuente de energía (no mostrada) para actuar como ánodo y cátodo, respectivamente. Alternativamente, la polaridad del primer y segundo electrodos, 19, 20 se puede invertir. En algunos ejemplos, el primer y segundo electrodos 19, 20 pueden incluir materiales metálicos, tales como una placa de titanio o una placa de titanio revestido con platino. En otros
15 ejemplos, el primer y segundo electrodos 19, 20 pueden incluir materiales eléctricamente conductores, que pueden ser o no térmicamente conductores, y pueden tener partículas con tamaños más pequeños y áreas superficiales grandes. En algunos ejemplos, el material eléctricamente conductor puede incluir uno o más materiales de carbono.

Los ejemplos no limitantes de los materiales de carbono incluyen partículas de carbono activado, partículas de carbono porosas, fibras de carbono, aerogeles de carbono, micropérlas de mesocarbono porosas o sus combinaciones. En otros ejemplos, los materiales eléctricamente conductores pueden incluir un material compuesto conductor, tal como óxidos de manganeso, o hierro, o ambos, o carburos de titanio, circonio, vanadio, tungsteno o sus combinaciones.
20

En el ejemplo ilustrado, el primer y segundo electrodos 19, 20 están en forma de placas que se disponen en paralelo unas con respecto a otras para formar una estructura apilada. En otros ejemplos, el primer y segundo electrodos 19, 20 pueden tener formas variadas, tal como una lámina, un bloque o un cilindro. Además, el primer y segundo electrodos 19, 20 puede disponerse con configuraciones variables. Por ejemplo, el primer y segundo electrodos 19, 20 se pueden disponer concéntricamente con forma espiral y espacio continuo entre ellos.
25

Las membranas 21, 22 de intercambio catiónico y las membranas 23, 24 de intercambio aniónico se disponen entre los electrodos primero y segundo 19, 20 susceptibles del paso de cationes y aniones, respectivamente. En el ejemplo ilustrado, las membranas 23, 24 de intercambio aniónico se disponen entre las membranas 21, 22 de intercambio catiónico. La membrana 21 de intercambio catiónico, de este modo, se encuentra ubicada entre la membrana 23 de intercambio aniónico y el primer electrodo 19, y la membrana 22 de intercambio catiónico está ubicada entre la membrana 24 de intercambio aniónico y el segundo electrodo 20. Se define un primer canal 26 entre el par de membranas 23, 24 de intercambio aniónico para la introducción de la primera corriente de
30 alimentación 12, y se definen segundos y terceros canales 27, 28 entre las membranas 21, 22 de intercambio catiónico y las respectivas membranas 23, 24 de intercambio aniónico para recibir la segunda y tercera corrientes de alimentación 14, 15.
35

Para algunas configuraciones, en condiciones de operación, el primer canal 26 puede denominarse canal diluido y el segundo canal 27 puede denominarse canal concentrado en el cual se introduce la sílice retirada. Alternativamente, el tercer canal 28 puede denominarse canal concentrado para recibir la sílice retirada de la primera corriente de alimentación 12.
40

Para la configuración ilustrada en la Figura 2, cada una de las membranas 21, 22 de intercambio catiónico comprende una membrana de intercambio catiónico normal. Cada una de las membranas 23, 24 de intercambio aniónico comprende una membrana de intercambio aniónico normal. La membrana de intercambio catiónico normal está configurada para hacer pasar no solo los cationes monovalentes sino también los cationes polivalentes. La membrana de intercambio aniónico está configurada para hacer pasar no solo los aniones monovalentes sino también los aniones polivalentes. En determinadas aplicaciones, las membranas 23, 24 de intercambio aniónico pueden comprender membranas de intercambio aniónico monovalentes configuradas únicamente para hacer pasar los aniones monovalentes. Las membranas 21, 22 de intercambio catiónico pueden comprender membranas de intercambio catiónico monovalente configuradas únicamente para hacer pasar los cationes monovalentes.
45
50

Los separadores 25 están dispuestos entre dos membranas 21-24 adyacentes de intercambio iónico, y entre los electrodos primero y segundo 19, 20 y las respectivas membranas 21, 22 adyacentes de intercambio iónico. En algunas realizaciones, los separadores 25 pueden comprender cualquier material permeable a iones, electrónicamente no conductor, incluyendo membranas y materiales porosos y no porosos.

55 De este modo, durante la operación, mientras se aplica una corriente eléctrica al aparato de desalinización 11, se introducen líquidos, tales como las corrientes de alimentación 12, 14, 15 primera, segunda y tercera en los canales 6, 27, 28 primero, segundo y tercero, respectivamente. En determinadas aplicaciones, las corrientes 12, 14, 15 primera, segunda y tercera pueden o no introducirse en el aparato de desalinización 11 de forma simultánea.

Debido a que el primer canal 26 se define por medio de membranas 23, 24 de intercambio aniónico, en el primer canal 26, al menos una parte de la sílice ionizada, tal como HSiO_3^- y otros aniones, tales como OH^- de la primera corriente de alimentación 12 pasan a través de la membrana 23 de intercambio aniónico hacia el ánodo 19 para penetrar en el segundo canal 27. Los cationes, tales como Ca^{2+} y Na^+ de la primera corriente de alimentación 12 no pueden pasar a través de la membrana 24 de intercambio aniónico y permanecen en el primer canal 26.

En el segundo canal 27 definido por la membrana 23 de intercambio aniónico y la membrana 21 de intercambio catiónico, puede ocurrir que los cationes de la segunda corriente 14 no pasen a través de la membrana 23 de intercambio aniónico hacia el cátodo 20 y permanezcan en el segundo canal 27, aunque el campo eléctrico ejerza una fuerza de los cationes hacia el electrodo respectivo (por ejemplo, los cationes son forzados hacia el cátodo). Puede suceder que los aniones de la segunda corriente de alimentación 14 y otros aniones, tales como HSiO_3^- y OH^- del primer canal 26 no pasen a través de la membrana 21 de intercambio catiónico, hacia el ánodo 19 y también permanezcan en el segundo canal 27.

Adicionalmente, con el fin de proteger los electrodos 19, 20 y mantener la conductividad eléctrica entre los dos electrodos 19, 20, se puede introducir una cuarta corriente 29 en los cuatro canales 101, 102 definidos entre los electrodos 19, 20 y las respectivas membranas 21, 22 de intercambio catiónico. En un ejemplo no limitante, la cuarta corriente de alimentación 29 comprende una solución de NaSO_4 de manera que los cationes, tales como Na^+ de la misma penetran en ella y permanecen en el segundo canal 27.

Para la configuración ilustrada, para facilitar la introducción de HSiO_3^- en el segundo canal 27, durante la desalinización de la primera corriente de alimentación 12, se introduce la tercera corriente de alimentación 15 en el tercer canal 28 para proporcionar aniones en el primer canal 26 desde el tercer canal 28 para lograr un equilibrio de carga eléctrica durante la retirada de HSiO_3^- del primer canal 26. Como resultado de ello, la segunda y tercera corrientes de alimentación 14, 15 cooperan para retirar sílice de la primera corriente de alimentación 12. Al mismo tiempo, los cationes de la tercera corriente 15 pasan a través de la membrana 22 de intercambio catiónico hacia el cátodo 20.

En los ejemplos no limitantes, la tercera corriente de alimentación 15 puede comprender sales solubles que incluyen aniones ionizados, tales como iones cloruro. Por ejemplo, la tercera corriente de alimentación 15 incluye una solución de cloruro sódico (NaCl). En algunos ejemplos, la segunda corriente de alimentación 14 puede también comprender la solución de cloruro sódico (NaCl). La concentración del cloruro sódico en la segunda corriente de alimentación 14 puede ser la misma o diferente de la concentración en la tercera corriente de alimentación 15. Alternativamente, la segunda corriente de alimentación 14 puede comprender materiales diferentes de la tercera corriente de alimentación 15. Por ejemplo, la segunda corriente de alimentación 14 comprende agua pura. En un ejemplo no limitante, la tercera corriente de salida 17 puede también actuar como la segunda corriente de alimentación 14 que se redirige al segundo canal 27.

Por consiguiente, como se muestra en la Figura 2, durante la operación, la segunda corriente de alimentación 14 pasa a través del segundo canal 27 para transportar aniones objetivo, tales como HSiO_3^- desde el primer canal 26 fuera del aparato de desalinización 11 de manera que se retira la sílice de la primera corriente de alimentación 12. Como resultado de ello, la primera corriente de salida 13 (una corriente de producto) y la segunda corriente de salida 16 pueden tener una concentración más baja y más elevada de las especies cargadas, tal como los iones objetivo que incluyen sílice ionizada, en comparación con la primera y segunda corrientes de alimentación 12, 14. En el tercer canal 28, los iones de la tercera corriente de alimentación 15 también se retiran para producir la tercera corriente de salida 17 que tiene una concentración más baja de las especies cargadas, tal como Cl^- y Na^+ , en comparación con la tercera corriente de alimentación 15.

Generalmente, el aumento del pH de la primera corriente de alimentación 12 puede provocar la formación de incrustaciones o la tendencia a la obstrucción de los cationes que incluyen, pero sin limitarse, Ca^{2+} en el aparato de desalinización. Para la configuración ilustrada en la Figura 1, debido al empleo del aparato de desalinización 11, la sílice ionizada de la primera corriente de alimentación 12 se puede retirar mientras que los cationes, tales como Ca^{2+} de la primera corriente de alimentación 12 pueden todavía permanecer en el primer canal 26 y puede ocurrir que no se concentren en el segundo canal 27, de forma que la tendencia a la formación de incrustaciones o a la obstrucción se pueda evitar o mitigar en el segundo canal 27.

En algunos ejemplos, la polaridad del primero y segundo electrodos 19, 20 del aparato de desalinización 11 se puede invertir. Durante la operación, en el primer canal 26, al menos parte de la sílice ionizada, tal como HSiO_3^- y otros aniones, tal como OH^- de la primera corriente de alimentación 12 pasan a través de la membrana 24 de intercambio aniónico hacia el ánodo 20 para penetrar en el tercer canal 28. Los cationes, tales como Ca^{2+} y Na^+ de la primera corriente de alimentación 12 no pueden pasar a través de la membrana 23 de intercambio aniónico y permanecen en el primer canal 26. La segunda corriente de alimentación 14 pasa a través del tercer canal 28 para transportar los aniones cargados, tales como HSiO_3^- retirados del primer canal 26 fuera del aparato de desalinización 11, de manera que se retira la sílice de la primera corriente de alimentación 12. Al mismo tiempo, la tercera corriente de alimentación 15 pasa a través del segundo canal 27 y los aniones, tales como Cl^- de la misma se introducen en el primer canal 26 para lograr un equilibrio de carga eléctrica durante el movimiento de HSiO_3^- para facilitar la introducción de sílice ionizada en el tercer canal 28 del primer canal 26. Como resultado de ello, la segunda y tercera

corrientes de alimentación 14, 15 cooperan para retirar sílice de la primera corriente de alimentación 12.

En algunas realizaciones, el aparato de desalinización 11 puede comprender una pluralidad de unidades de desalinización. Por ejemplo, se puede disponer una pluralidad de unidades de desalinización por separado y cada unidad de desalinización está constituida para que sea similar a la unidad de desalinización de la Figura 2.

5 Alternativamente, la pluralidad de unidades de desalinización se puede disponer para que tenga electrodos comunes.

La Figura 3 ilustra un diagrama esquemático de otra realización del aparato de desalinización 11 del sistema de desalinización 10 usado en un procedimiento de la invención. Los mismos números de las Figuras 2-3 pueden indicar elementos similares. Como se muestra en la Figura 3, el aparato de desalinización 11 comprende un primer electrodo 30, un segundo electrodo 31, una pluralidad de membranas de intercambio iónico (no marcadas) y una pluralidad de separadores 32.

10

En el ejemplo ilustrado, las membranas de intercambio iónico comprenden cinco pares de membranas 33-42 de intercambio aniónico emparejadas y seis membranas 43-48 de intercambio catiónico. En otros ejemplos, el aparato de desalinización 11 puede comprender al menos dos pares de las membranas de intercambio aniónico y al menos tres membranas de intercambio catiónico.

15

El primer y segundo electrodos 30, 31 están conectados a terminales positivo y negativo de una fuente de energía (no mostrada) para actuar como ánodo y cátodo, respectivamente. El primer y segundo electrodos 30, 31 comprenden materiales similares y/o tienen formas similares como los respectivos electrodos 19, 20 en la configuración de la Figura 2.

20 Las membranas 33-42 de intercambio aniónico y las membranas 43-48 de intercambio catiónico se disponen entre el primer y segundo electrodos 30, 31 y comprenden materiales similares a los de las respectivas membranas 21-24 de intercambio catiónico. En el ejemplo ilustrado, cada par de membranas 33-42 de intercambio aniónico se dispone entre cada dos membranas 43-48 adyacentes de intercambio catiónico, para definir los primeros canales 49 entre cada par de membranas 33-42 de intercambio aniónico para la introducción de la primera corriente de alimentación 12 y para definir segundo y tercero canales 50,51 entre las membranas de intercambio aniónico de cada par de la membranas de intercambio aniónico y las respectivas membranas adyacentes de intercambio catiónico para recibir la segunda y tercera corrientes de alimentación 14, 15.

25

Igual que el primer, segundo y tercer canales 26-28 de la Figura 2, en condiciones de operación, puede hacerse referencia a los primeros canales 49 como canales diluidos y los segundos canales 50 como canal concentrado en cuyo interior penetra la sílice retirada. Alternativamente, los terceros canales 51 pueden denominarse como canal concentrado para la introducción de la sílice retirada de la primera corriente de alimentación 12.

30

Para la configuración ilustrada, con el fin de proteger los electrodos 30, 31 y mantener la conductividad eléctrica entre los dos electrodos, se introduce una cuarta corriente de alimentación 52 similar a la cuarta corriente de alimentación 29 de la Figura 2 en los cuatro canales 103, 104 definidos entre los electrodos 30, 31 y las respectivas membranas 43, 48 de intercambio catiónico. En un ejemplo no limitante, la cuarta corriente de alimentación 52 comprende una solución de NaSO_4 .

35

En determinadas aplicaciones, la cuarta corriente de alimentación 52 puede comprender impurezas tales como cationes polivalentes que incluyen Ca^{2+} y/o Mg^{2+} . De este modo, con el fin de evitar que las impurezas de la cuarta corriente de alimentación 52 penetren en el segundo canal 50 definido entre la membrana 33 de intercambio aniónico y la membrana 43 de intercambio catiónico para provocar la formación de incrustaciones o la obstrucción en la misma, como se ilustra en la Figura 3, se dispone una membrana 53 adicional de intercambio aniónico entre el electrodo 30 y la membrana 43 de intercambio catiónico. Alternativamente, la membrana 53 adicional de intercambio aniónico no se puede emplear. En algunos ejemplos, la membrana 53 adicional de intercambio aniónico puede comprender materiales similares a los de las otras membranas 33-42 de intercambio aniónico.

40

Los separadores 32 se disponen entre dos membranas adyacentes de intercambio iónico, y entre el primer y segundo electrodos 30, 31 y las respectivas membranas adyacentes 48, 53. Igual que los separadores 25 de la Figura 2, los separadores 32 pueden comprender cualquier material no electrónicamente no conductor, incluyendo membranas, y materiales porosos y no porosos.

45

Por consiguiente, igual que en la configuración de la Figura 2, durante la operación, mientras se aplica una corriente eléctrica al aparato de desalinización 11, se introducen líquidos, tal como la primera, segunda y tercera corrientes de alimentación 12, 14, 15 en los respectivos primero, segundo y tercer canales 49, 50, 51, respectivamente. Como resultado de ello, se retira la sílice de la primera corriente de alimentación 12 y se saca fuera del aparato de desalinización 11 por medio de la segunda corriente de alimentación 14. Una primera corriente de salida 13 (una corriente producto) y una segunda corriente de salida 16 pueden tener una concentración baja y elevada de especies cargadas, tal como los iones objetivo incluyendo sílice ionizada, en comparación con las respectivas primera y segunda corrientes de alimentación 12, 14. Una tercera corriente de alimentación 17 también tiene una concentración baja de especies cargadas, tales como Cl^- y Na^+ , en comparación con la tercera corriente de alimentación 15. En los ejemplos no limitantes, durante la operación, la tercera corriente de alimentación 17

50

55

procedente de los terceros canales 51 puede actuar como la segunda corriente de alimentación 14 para la introducción en los segundos canales 50.

En determinadas aplicaciones, con el fin de evitar y/o mejorar la tendencia de los cationes a la formación de incrustaciones, tales como Ca^{2+} y Mg^{2+} en el aparato de desalinización 11, que se puede provocar mediante el empleo de la unidad 18 de ajuste de pH, se puede emplear una unidad de pretratamiento para pretratar un líquido para retirar al menos parcialmente los cationes polivalentes del mismo con el fin de producir la primera corriente de alimentación 12 que tenga una determinada cantidad de sólidos disueltos totales (TDS) y un determinado nivel de concentración de cationes, tales como Ca^{2+} y Mg^{2+} antes de introducir la primera corriente de alimentación 12 en el aparato de retirada de sílice.

La Figura 4 ilustra un diagrama esquemático de otra realización del sistema de desalinización 10 usado en un procedimiento de la invención. Como se ilustra en la Figura 4, la configuración es similar a la configuración de la Figura 1. Las dos configuraciones de las Figuras 1 y 4 difieren en que en la Figura 4, se dispone una unidad de pretratamiento 54 aguas arriba y en comunicación fluida con el aparato de desalinización 11 para pretratar el líquido de entrada 55 con el fin de retirar al menos una parte de los iones fuertemente ionizados, tales como iones calcio y magnesio para producir así una primera corriente de alimentación 12 con niveles apropiados de TDS y niveles apropiados de concentración de cationes.

Para la configuración ilustrada, la unidad de pretratamiento 54 comprende un aparato de electrodiálisis inversa (EDR). Alternativamente, la unidad de pretratamiento 54 también puede comprender un aparato de electrodiálisis (ED), un aparato de desalinización de supercondensador (SCD) o aparato de reblandecimiento para pretratar el líquido de entrada 55.

Por consiguiente, durante la operación, el líquido de entrada 55 se introduce en el aparato EDR 54 para el procesamiento, de forma que al menos una parte de los aniones y/o cationes, tales como Ca^{2+} y Mg^{2+} se puede retirar del líquido de entrada 55 para producir una primera corriente de alimentación 12 que tiene niveles de TDS y niveles de concentración apropiados de los cationes para la introducción en el aparato de desalinización 11. Al mismo tiempo, también se introduce un segundo líquido de entrada 56 en el aparato de EDR 54 para transportar los iones retirados del líquido de entrada 55 fuera del aparato de EDR 54 para producir una corriente de salida 57, que puede tener una concentración elevada de especies cargadas en comparación con un segundo líquido de entrada 56.

En determinadas aplicaciones, el sistema de desalinización 10 puede comprender además una unidad de precipitación 58 en comunicación fluida con el aparato de EDR 54. La unidad de precipitación 58 puede proporcionar el segundo líquido de entrada 56 en circulación al interior del aparato de EDR 54. A medida que continúa la circulación del segundo líquido de entrada 56, la concentración de las sales u otras impurezas aumenta de forma continua, algunas sales con baja solubilidad, tales como sulfato de calcio en el segundo líquido de entrada 56 se satura o se sobresaturan. Como resultado de ello, el grado de saturación de la sobresaturación puede alcanzar un punto en el que comienza a tener lugar la precipitación en la unidad de precipitación 58. En algunos ejemplos, al menos una parte del líquido de entrada 56 puede descargarse a partir de la unidad de precipitación 58 desde el conducto 59. Se puede introducir un fluido 60 para complementar el segundo líquido de entrada 56. En los ejemplos no limitantes, el fluido 60 puede tener una fuente de agua similar al líquido 55.

La Figura 5 ilustra un gráfico experimental que ilustra una eficacia de retirada de sílice de un aparato 11 de desalinización experimental.

En este experimento a modo de ejemplo, se emplea la configuración de la Figura 3. La primera corriente de alimentación 12 incluye aproximadamente 60 ppm de sílice y su caudal es de aproximadamente 100 ml/min por par celular. El pH de la primera corriente de alimentación 12 se ajusta para que sea de 11 antes de la introducción en el aparato de desalinización 11. La tercera corriente de alimentación incluye una solución de NaCl. La concentración de NaCl en la solución es de aproximadamente 40000 ppm. La tercera corriente de salida 17 se alimenta en el interior de los segundos canales 50 para actuar como segunda corriente de alimentación 14 y el caudal de la segunda corriente de alimentación 14 es de aproximadamente 2 ml/min por cada par celular. La corriente eléctrica aplicada al aparato de desalinización 11 es de aproximadamente $2,5 \text{ mA/cm}^2$.

Como se ilustra en la Figura 5, durante el procesamiento continuo durante aproximadamente 3 días, la eficacia de retirada de sílice del aparato de desalinización 11 está por encima de un 30 % y es relativamente estable, lo cual indica que se puede retirar eficazmente la sílice de la primera corriente de alimentación 12 de manera y se puede mitigar por consiguiente la formación de incrustaciones de la segunda corriente de alimentación 13.

Debería apreciarse que las configuraciones de las Figuras 1-4 son únicamente ilustrativas. Para algunas configuraciones, las configuraciones de las Figuras 1-4 se emplean para la retirada de sílice a partir de un líquido o corriente acuosa. En otros ejemplos, las configuraciones de las Figuras 1-4 se pueden usar para retirar cualesquiera otros iones apropiados, por ejemplo aniones divalentes en un líquido.

En las realizaciones de la invención, cada par de al menos un par de membranas de intercambio aniónico se dispone entre las respectivas membranas adyacentes de intercambio catiónico para formar al menos un primer canal entre al menos un par de la membranas de intercambio aniónico y para formar al menos un segundo canal y al

5 menos un tercer canal entre las membranas de intercambio aniónico de al menos un par de las membranas de intercambio aniónico y las respectivas membranas de intercambio catiónico. La primera, segunda y tercera corriente de alimentación se introducen en los respectivos primer, segundo y tercer canales para retirar en cooperación los iones objetivo, tal como sílice en la primera corriente de alimentación 12. Como resultado de ello, los iones objetivo, tal como sílice en la primera corriente de alimentación 12 se pueden retirar de forma eficaz y estable.

10 En algunas aplicaciones, la tercera corriente de salida puede actuar como segunda corriente de alimentación para reutilizar la tercera corriente de salida con el fin de mejorar la recuperación de agua. Opcionalmente, se puede disponer una membrana adicional de intercambio aniónico entre el ánodo y la membrana de intercambio catiónico adyacente al ánodo para mitigar o evitar la tendencia a la formación de incrustaciones o a la obstrucción en el canal definido entre la membrana de intercambio catiónico y el par respectivo de la membrana de intercambio aniónico. Adicionalmente, se puede emplear una unidad de pretratamiento para evitar de forma adicional la tendencia a la formación de incrustaciones o la obstrucción durante la desalinización de la primera corriente de alimentación 12.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de desalinización para retirar sílice de una corriente acuosa, que comprende:
5 hacer pasar una primera corriente (12) de alimentación a través de un primer canal (26) definido entre al menos un par de membranas (23, 24) de intercambio aniónico dispuestas entre el primer y segundo electrodos (19, 20) de un aparato (11) de retirada de sílice para producir una primera corriente de salida para la retirada de sílice;
10 hacer pasar una segunda corriente (14) de alimentación a través de un segundo canal (27) definido entre la membrana (23, 24) de intercambio aniónico de al menos un par de membranas de intercambio aniónico y una membrana (21, 22) adyacente de intercambio catiónico dispuesta entre al menos un par de membranas de intercambio aniónico y el primer electrodo (19) para evacuar la sílice retirada de la primera corriente (12) de alimentación y producir una segunda corriente de salida; y
15 hacer pasar una tercera corriente (15) de alimentación a través de un tercer canal (28) definido entre la membrana (23, 24) de intercambio aniónico de al menos un par de membranas de intercambio aniónico y una membrana (21, 22) adyacente de intercambio catiónico dispuesta entre al menos un par de membranas de intercambio aniónico y el segundo electrodo (20) para facilitar la retirada de sílice del primer canal (26) al segundo canal adyacente (27) y producir una tercera corriente de salida.
2. El procedimiento de desalinización de la reivindicación 1, en el que el aparato (11) de retirada de sílice comprende además una membrana adicional de intercambio aniónico dispuesta entre el primer electrodo (19) y la membrana de intercambio catiónico adyacente al primer electrodo.
- 20 3. El procedimiento de desalinización de la reivindicación 1, que además comprende redirigir la tercera corriente de salida al interior del segundo canal (27) para actuar como segunda corriente (14) de alimentación.
4. El procedimiento de desalinización de la reivindicación 1, en el que la tercera corriente (15) de alimentación comprende aniones activos, y en el que la tercera corriente de salida comprende una concentración de los aniones activos más baja que la concentración de los aniones activos de la tercera corriente de alimentación.
- 25 5. El procedimiento de desalinización de la reivindicación 1, en el que la segunda y tercera corrientes (14, 15) de alimentación comprenden materiales iguales o diferentes.
6. El procedimiento de desalinización de la reivindicación 5, en el que la segunda corriente (14) de alimentación comprende agua pura, y en el que la tercera corriente (15) de alimentación comprende una solución de cloruro sódico.
- 30 7. El procedimiento de desalinización de la reivindicación 1, que además comprende ajustar el pH de la primera corriente (12) de alimentación antes de la introducción de la primera corriente de alimentación en los primeros canales (26).
8. El procedimiento de desalinización de la reivindicación 7, en el que el pH de la primera corriente (12) de alimentación se ajusta hasta un intervalo de aproximadamente 9,5 a aproximadamente 11,5.
- 35 9. El procedimiento de desalinización de la reivindicación 1, que además comprende retirar al menos parcialmente cationes polivalentes en un líquido para producir la primera corriente (12) de alimentación antes de la introducción de la primera corriente de alimentación en el primer canal (26).

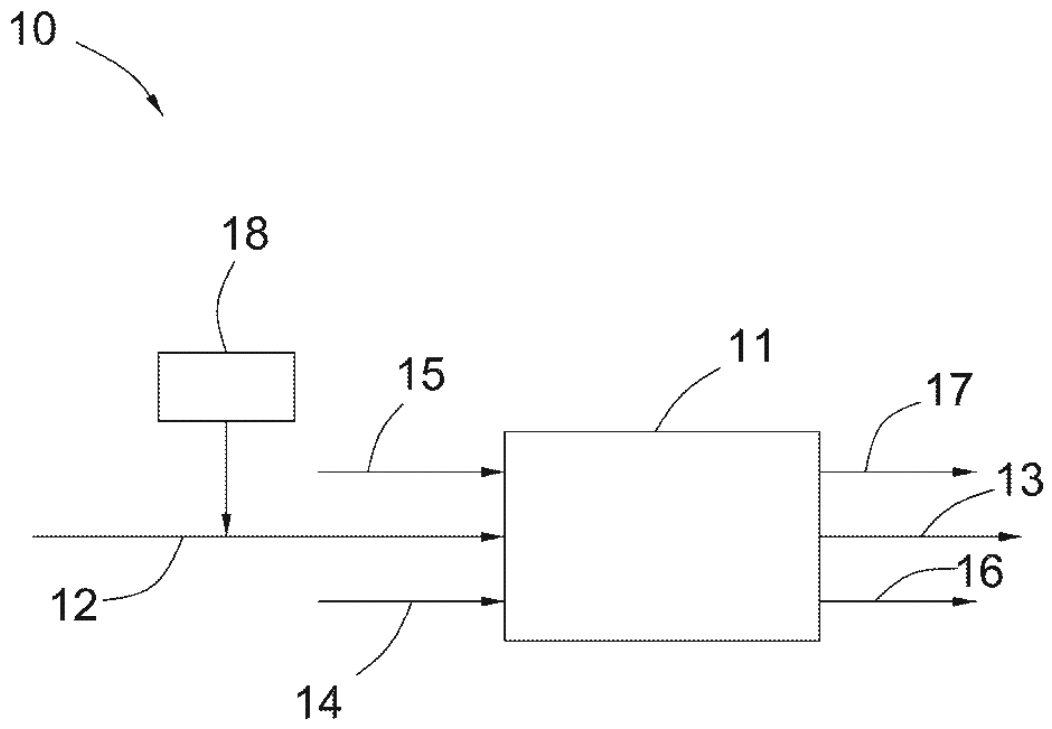


FIG. 1

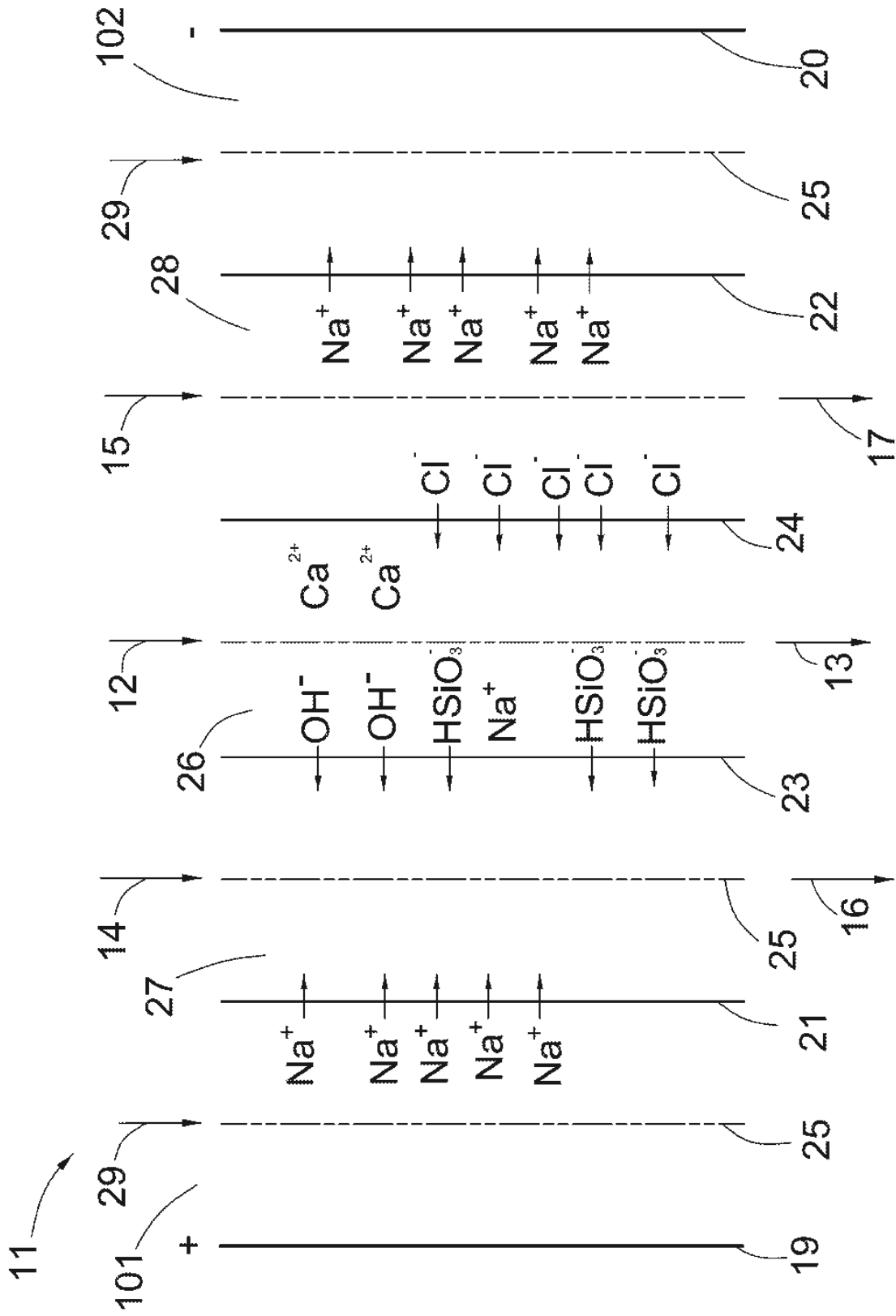


FIG. 2

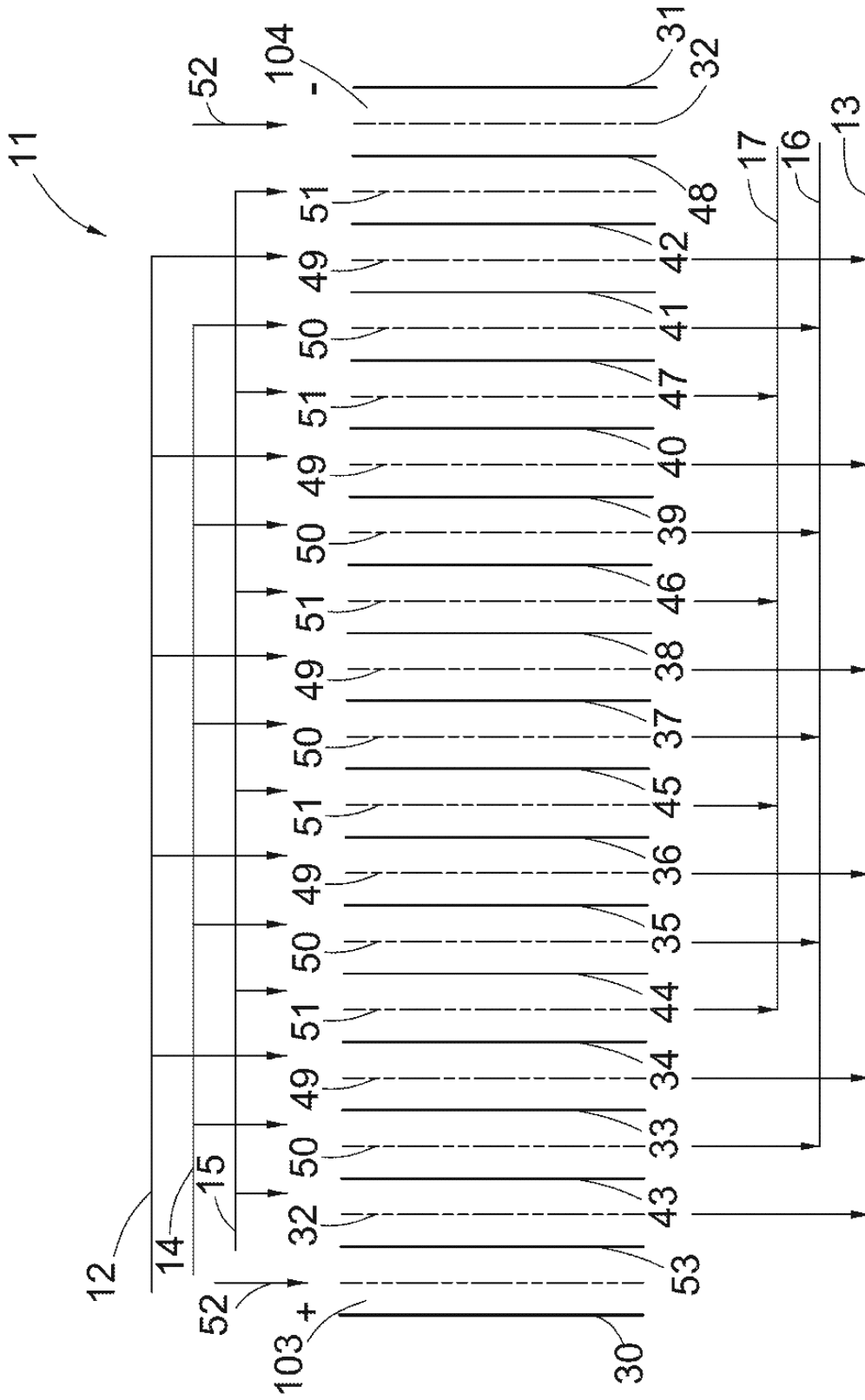


FIG. 3

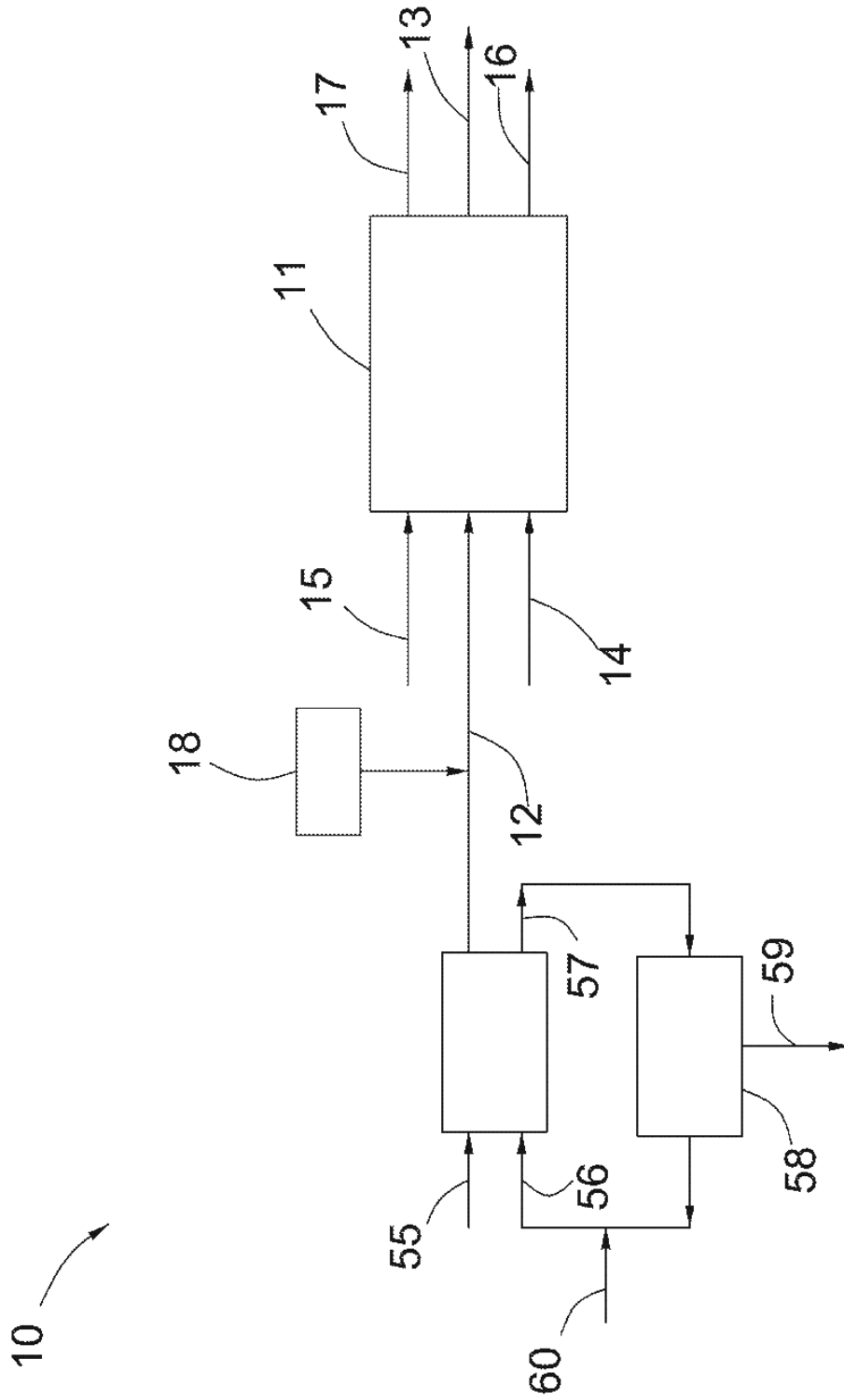


FIG. 4

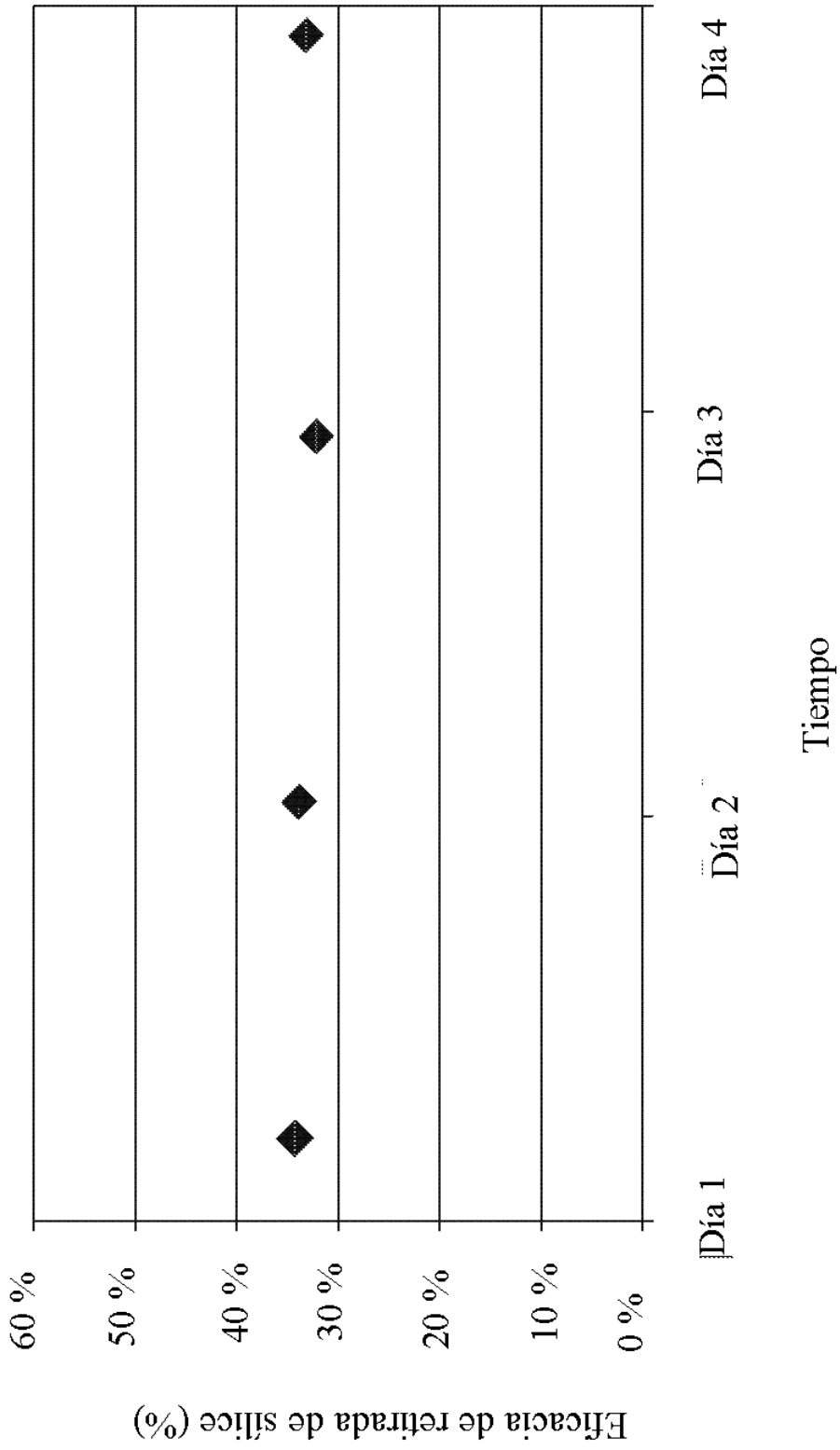


FIG. 5