

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 706 071**

51 Int. Cl.:

C02F 1/469 (2006.01)

B01D 61/48 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.07.2013 PCT/EP2013/002205**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.03.2014 WO14032751**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.07.2013 E 13742159 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.10.2018 EP 2888205**

54 Título: **Módulo de electrodesionización mejorado y aparato**

30 Prioridad:

27.08.2012 EP 12290283

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

27.03.2019

73 Titular/es:

**MERCK PATENT GMBH (100.0%)
Frankfurter Strasse 250
64293 Darmstadt, DE**

72 Inventor/es:

**GRABOWSKI, ANDREJ y
GROSS, JULIEN**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 706 071 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

Módulo de electrodesionización mejorado y aparato

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un módulo de electrodesionización (EDI) y a un aparato adaptados para transferir iones presentes en un líquido bajo la influencia de un campo eléctrico. De forma específica, la invención se refiere a un aparato de EDI adaptado para purificar líquidos acuosos para la producción de agua de alta pureza o agua ultrapura y a un método para purificar un líquido. La presente invención se refiere además a un sistema de purificación de agua de laboratorio que utiliza el módulo o aparato de EDI.

Antecedentes de la invención

15 La electrodesionización (EDI) es un proceso para la retirada de iones de líquidos, tales como agua, por adsorción de estos iones en un material capaz de intercambiar estos iones por iones hidrógeno (para cationes) o bien por iones hidróxido (para aniones) y retirada de los iones adsorbidos mediante la aplicación de un campo eléctrico entre un ánodo y un cátodo.

20 Un módulo de EDI habitual tiene al menos un compartimento de diluato a través del que se hace pasar el líquido que se procesa y al menos un compartimento de concentrado que recoge los iones retirados del líquido en el compartimento de diluato. Por lo tanto, el compartimento de diluato se denomina a menudo "canal de producto" y por lo tanto el compartimento de concentrado se denomina a menudo "canal de desecho".

25 En el borde exterior de un lado del compartimento de diluato hay por lo general una membrana permeable a aniones que define el límite exterior de compartimento de diluato en ese lado. El límite exterior en el lado opuesto del compartimento de diluato está definido por lo general por una membrana permeable a cationes. Uno o más compartimentos de concentrado están formados en los lados opuestos de las membranas del compartimento de diluato. En particular, los compartimentos de concentrado están formados por lo general entre la membrana permeable a aniones del lado del cátodo y la membrana permeable a cationes del lado del ánodo. Un compartimento del lado del ánodo (también denominado compartimento de ánodo) y un compartimento del lado del cátodo (también denominado compartimento de cátodo) son compartimentos que contienen el ánodo o el cátodo, respectivamente, y están delimitados por una membrana. Dependiendo del tipo de membranas que delimitan un compartimento de electrodo (y el tipo de compartimento vecino), el compartimento de electrodo actúa para descationización, o desanionización o la concentración de un ácido o una base. De ese modo, un compartimento de ánodo delimitado por lo general por una membrana permeable a aniones concentra un ácido, mientras que un compartimento de ánodo delimitado por una membrana permeable a cationes se reduce en cationes de sal. Del mismo modo, un compartimento de cátodo delimitado por una membrana permeable a cationes concentra una base, mientras que un compartimento de cátodo delimitado por una membrana permeable a aniones se reduce en aniones de sal.

40 El compartimento de diluato está lleno de materiales de intercambio iónico a través de los que fluye el agua que se desioniza. Los materiales de intercambio iónico en el compartimento de diluato adsorben selectivamente los iones del líquido tras intercambio por iones hidrógeno (para cationes) o iones hidróxido (para aniones). Mediante el campo eléctrico aplicado, los aniones adsorbidos se transfieren hacia el ánodo y los cationes adsorbidos se transfieren hacia el cátodo. Una vez pasan a través de las respectivas membranas permeables, se hacen pasar al compartimento de concentrado. Los compartimentos de concentrado pueden estar llenos de material de intercambio iónico o de material permeable líquido inerte y un líquido fluye a través de cada compartimento de concentrado para aclararlo de ese modo y transportar los iones que se desperdician.

50 El material de intercambio iónico que se emplea en los módulos de EDI está hecho a menudo de resina de polímero en forma de perlas de polímero, como se describe, por ejemplo, en el documento de Patente EP 1 282 463 B1. Se han producido materiales de intercambio iónico alternativos en forma de telas no tejidas o tejidas hechas de fibras que contienen grupos funcionales de intercambio aniónico e intercambio catiónico, como se describe, por ejemplo, en los documentos de Patente US 6.423.205 y US 2006/0091013. Se describe una combinación de perlas y tejidos de resina de intercambio iónico en el documento de Patente WO 2005/011849 A.

Los materiales de intercambio iónico en forma de telas no tejidas o tejidas o bloques porosos permiten intensificar el proceso de purificación y los bloques porosos permiten además simplificar el montaje de los módulos. Tales materiales se producen por lo general mediante injerto de sustrato poroso o fibroso seguido de tratamiento químico mediante el que se introduce la funcionalidad de intercambio iónico en el material. En lo sucesivo, también se denominan simplemente "materiales de injerto".

Los materiales de injerto permiten posibilidades adicionales de disposiciones especiales de materiales de intercambio iónico en el interior de compartimentos de un módulo de EDI, lo que es casi imposible con un lecho de perlas de resina de intercambio iónico.

En lo que respecta a la construcción de un compartimento de diluato en EDI, el documento de solicitud de Patente JP 07-100391 A describe capas de telas no tejidas de intercambio iónico dispuestas en paralelo con el flujo del líquido, adyacentes a una membrana de la misma polaridad y separadas por un tamiz de malla abierta neutra, mientras que en el documento de Patente US 6.423.205 el tamiz se supone que tiene capacidad de intercambio iónico. En el caso de que se use un tamiz de intercambio iónico, la disociación de agua mejora electroquímicamente en la interfase bipolar entre los materiales injertados orientados perpendiculares al campo eléctrico, y los iones H^+ y OH^- generados regeneran los materiales injertados y se pueden intercambiar por contaminantes iónicos o ionizables mediante lo cual se retiran del agua. En el aparato de EDI, como se desvela en la Figura 3 del documento de Patente 6.423.205, todas las capas se orientan paralelas a las membranas y el flujo de líquido, los materiales fibrosos aumentan la superficie activa para la retirada de iones, pero dado que exhiben resistencia al flujo en comparación con el tamiz de malla abierta, la mayor parte del flujo corre a través del canal entre los materiales fibrosos llenos mediante el tamiz. En este caso se requiere una ruta de flujo larga para purificar el agua a alta resistividad. Junto con el hecho de que los compartimentos con capas paralelas a las membranas son relativamente delgados, por ejemplo 3 mm - 5 mm, el montaje requerirá un área de membrana relativamente alta por volumen de agua producida y dará como resultado un coste de material relativamente alto.

En el documento de Patente US 2006/0091013 se desveló una mejora donde las capas de materiales injertados se situaron perpendiculares a las membranas y a la dirección de flujo, como se muestra en la Figura 2 del documento de Patente US 2006/0091013. En este caso se pueden usar compartimentos más gruesos para reducir la caída de presión y el coste de material. Dado que toda el agua puede pasar a través de materiales fibrosos con un área superficial específica elevada, los iones se retirarían de forma eficaz en una ruta relativamente corta, lo que da como resultado un buen rendimiento de purificación. Los autores del documento de Patente US 2006/0091013 exponen que para conseguir un rendimiento de purificación excelente es importante que el agua pase alternativamente numerosas veces a través de los contactos entre materiales de intercambio catiónico y aniónico, por lo general 10 contactos entre capas de polaridad contraria de materiales injertados por 1 cm de longitud de canal de diluato, lo que requiere un equipo complejo o una amplia mano de obra para cortar las capas y montar los módulos.

La disociación de agua mejorada electroquímicamente con generación de iones H^+ y OH^- requerida para la regeneración de materiales injertados se produce básicamente en la interfase entre el material injertado y la membrana de polaridad contraria, como se ilustra en la Figura 5. La disociación de agua se podría mejorar en la interfase entre capas adyacentes de materiales injertados, pero la orientación de las capas paralelas al campo eléctrico no favorece esto. Aquí, se puede producir una disociación de agua electroquímicamente mejorada debido a cierta "rugosidad" de la interfase entre dos materiales fibrosos y debido a una desviación de las líneas de campo eléctrico de la orientación paralela entre los electrodos, por ejemplo causada por diferentes conductividades de materiales a lo largo de la longitud del módulo. Se considera que la regeneración de materiales con tal orientación en el campo eléctrico puede requerir que se aplique una caída de potencial relativamente alta y puede dar como resultado una eficacia de energía relativamente baja para el proceso de desionización.

Como desventaja adicional de la técnica que se describe en el documento de Patente US 2006/0091013, debido a la orientación en una pluralidad de capas delgadas donde los iones H^+ y OH^- migran en direcciones opuestas, algunos de ellos pueden estar impulsados por la diferencia de concentración en la interfase entre las capas de polaridad contraria donde se recombinarán en agua y de ese modo no estarán disponibles para intercambio con contaminantes iónicos o ionizables del agua. De forma similar, los iones de la sal, que ya se han retirado del agua y han migrado al interior del material de intercambio iónico correspondiente se pueden recombinar en la interfase entre los materiales injertados de polaridad contraria y de ese modo se pueden desechar de vuelta al agua, aumentando de ese modo la eficacia de corriente del proceso de purificación. La disminución de la eficacia de corriente a través de la recombinación de los iones H^+ y OH^- en agua y el desecho de los aniones y cationes de sal retirados en el agua del compartimento del diluato se pronunciarán incluso más fuertemente con un aumento del grosor del compartimento. Además, una cantidad considerable de iones generados en la interfase de membrana/material injertado pasan inmediatamente a través de la membrana correspondiente (ion H^+ a través de la membrana permeable a cationes e ion OH^- a través de la membrana permeable a aniones) y se dirigen directamente al compartimento de concentrado respectivo sin participar en la regeneración de los materiales injertados. Esto disminuye además la eficacia de corriente y provoca fuertes variaciones del pH local en la superficie de la membrana correspondiente en el compartimento de concentrado, que podría ser indeseable debido al riesgo de formación de incrustaciones o la degradación de los materiales.

El documento de Patente US 6436264 B1 desvela un aparato para producir eléctricamente agua desionizada que tienen membranas de intercambio catiónico y aniónico de forma básicamente complementaria en contacto entre sí y transversales a la dirección de flujo del líquido que se purifica. Se forman huecos entre los materiales de intercambio aniónico y catiónico.

El documento de Patente US 4033850 A desvela un dispositivo de electrodiálisis en el que, a través de todas las realizaciones y alternativas, se proporcionan ciertas separaciones o huecos para el paso del líquido entre las membranas, ya sea en forma de material de intercambio iónico selectivo para aniones granulado o mediante circunvoluciones o pliegues y orificios en los pliegues.

El documento de Patente US 5738775 A enseña la provisión de un material poroso interpuesto entre los intercambiadores de aniones y cationes dispuesto en una relación cara a cara.

Objeto de la invención

5 Un objeto de la presente invención es proporcionar un módulo de EDI que se beneficie de las ventajas de los materiales de intercambio iónico de flujo a través en términos de un proceso de purificación intensificado y que permita disposiciones especiales de materiales de intercambio iónico, y que sin embargo no adolezca de las desventajas que se han descrito anteriormente de los módulos y aparatos de EDI conocidos con respecto a la complejidad de la fabricación y el montaje de los módulos, el flujo a través canalizado entre el material de intercambio iónico sin suficiente interacción con el material de intercambio iónico y una disminución de la eficacia de corriente.

15 Un objetivo adicional de la presente invención es proporcionar un aparato de EDI que permita la purificación de líquidos acuosos para la producción de agua de alta pureza o agua ultrapura con una eficacia sin precedentes y a bajo coste tanto de fabricación como de operación así como un método para purificar un líquido, en particular agua, con una eficacia sin precedentes y a bajo coste de operación y mantenimiento.

20 Otro objeto más de la presente invención es proporcionar un sistema de purificación de agua de laboratorio que se pueda usar fácilmente en un laboratorio y proporcione agua purificada a petición.

Sumario de la invención

25 La presente invención se refiere a un módulo de electrodesionización (EDI) como se define en los rasgos de la reivindicación 1. El módulo de electrodesionización (EDI) comprende un cátodo y un ánodo separado del cátodo, teniendo entre los mismos al menos dos membranas permeables a iones que comprenden al menos una membrana permeable a aniones y al menos una membrana permeable a cationes y que delimitan uno o más compartimentos de diluato y uno o más compartimentos de concentrado, en el que al menos un compartimento de diluato contiene al menos dos bloques, conteniendo un primer bloque un material de intercambio aniónico y conteniendo un segundo bloque un material de intercambio catiónico, en el que una superficie de dicho primer bloque es adyacente a una membrana permeable a aniones y una superficie de dicho segundo bloque es adyacente a una membrana permeable a cationes y en el que dichos dos bloques están dispuestos lado a lado en una dirección de paso de líquido formando de ese modo una interfase entre dichos dos bloques de un modo tal que dicha interfase esté separada de dicha membrana permeable a aniones y dicha membrana permeable a cationes y una línea recta en una dirección de paso de líquido puede pasar por la interfase entre dichos dos bloques al menos una vez.

Además, dicho primer bloque y dicho segundo bloque tienen protuberancias y hendiduras complementarias en dicha interfase que se prolongan transversales a la dirección de paso de líquido.

40 Los presentes inventores han descubierto que una forma y una orientación especiales del material de intercambio iónico de flujo a través en el interior de un compartimento de diluato de un módulo de EDI supera las desventajas de las disposiciones de la técnica anterior descritas anteriormente, es decir, mejora la calidad líquida de producto para un volumen dado de material de intercambio iónico de flujo a través y área de membrana así como aumenta la eficacia de corriente, mejorando de ese modo el rendimiento de purificación y la facilidad de montaje en comparación con materiales injertados formados por capas en paralelo o perpendiculares a las membranas permeables a iones y el flujo de líquido.

50 La presente invención se refiere además a aparato de electrodesionización (EDI) para la producción de agua de alta pureza o para la producción de agua ultrapura, que comprende un módulo de EDI de acuerdo con la presente invención.

La presente invención se refiere además a un sistema de purificación de agua de laboratorio, que comprende un módulo de EDI o un aparato de EDI de acuerdo con la presente invención.

55 La presente invención se refiere además a un método para la purificación de un líquido, que utiliza un módulo de EDI de acuerdo con la presente invención, un aparato de EDI de acuerdo con la presente invención o un sistema de purificación de agua de laboratorio de acuerdo con la presente invención, comprendiendo el método las etapas de alimentar el líquido que se purifica a dicho al menos un compartimento de diluato, hacer pasar el líquido que se purifica a través de dicho al menos un compartimento de diluato bajo la aplicación de un campo eléctrico, y recoger el líquido purificado en un puerto de salida de dicho al menos un compartimento de diluato.

Descripción de las figuras

65 La Figura 1 es una ilustración esquemática de una realización a modo de ejemplo de un módulo de EDI de acuerdo con la presente invención.

La Figura 2 es una ilustración esquemática de otra realización a modo de ejemplo de un módulo de EDI de acuerdo con la presente invención, que comprende en particular cuatro unidades de repetición, consistiendo cada una en un compartimento (6) de concentrado adyacente y un compartimento (5) de diluato, que está situado entre una membrana (1) permeable a cationes y una membrana (2) permeable a aniones y lleno con un bloque (3) de intercambio catiónico y un bloque (4) de intercambio aniónico. En las extremidades el apilamiento se consigue mediante un compartimento (9) de cátodo que contiene un cátodo (7) y un compartimento (10) de ánodo que contiene un ánodo (8). El perímetro, el sellado y los distribuidores de flujo de entrada-salida para los correspondientes compartimentos están formados por los marcos (15) de compartimento de diluato, los marcos (16) de compartimento de concentrado, las tapas de extremo (17) de cátodo y ánodo. El aclarado de los correspondientes compartimentos se muestra de forma simplificada, se dirigió para la purificación de una corriente (11) de agua de alimentación, es decir, la alimentación que se desioniza fluye a través de los compartimentos de diluato, donde se desioniza y sale como una corriente (13) de diluato que se usa como producto, mientras que los compartimentos de concentrado y electrodo se aclaran mediante la corriente (12), es decir, la alimentación al concentrado, que sale como una corriente (14) de concentrado para desperdicio o reutilización. Se conduce corriente continua entre los electrodos (7) y (8) para regenerar los bloques (3) y (4) de intercambio iónico de los compartimentos (5) de diluato y de ese modo asegurar un proceso de purificación continua.

La Figura 3 es una ilustración esquemática de la migración de los iones generados mediante la disociación de agua electroquímicamente mejorada en la interfase de material de intercambio iónico en el montaje del material de intercambio iónico de flujo a través de acuerdo con la presente invención bajo un campo eléctrico aplicado.

La Figura 4 es una ilustración esquemática de un ejemplo preferente de la forma del material de intercambio iónico de flujo a través de acuerdo con la presente invención (Figura 4a), unido a una membrana permeable a iones de la misma polaridad (Figura 4b) y un montaje de dos bloques (CB y AB), unido a las respectivas membranas permeables a iones de la misma polaridad (CM y AM) (Figura 4c).

La Figura 5 es una ilustración esquemática de la disociación de agua mejorada electroquímicamente y la migración de los iones H^+ y OH^- al interior de los materiales de intercambio iónico para un elemento de los materiales orientado de acuerdo con la técnica anterior (documento de Patente US 2006/0091013), donde CM y AM indican una membrana permeable a cationes y permeable a aniones, respectivamente.

La Figura 6 es una ilustración esquemática de una realización preferente de un módulo de EDI de acuerdo con la presente invención.

La Figura 7 es una ilustración esquemática de una disposición de cátodo preferente de un módulo de EDI de acuerdo con la presente invención.

La Figura 8 es una ilustración esquemática de una (primera) realización a modo de ejemplo de un sistema de purificación de agua de laboratorio de acuerdo con la presente invención.

La Figura 9 es una ilustración esquemática de otra (segunda) realización a modo de ejemplo de un sistema de purificación de agua de laboratorio de acuerdo con la presente invención.

Las Figuras 10a y 10b son ilustraciones esquemáticas de otra (tercera) realización a modo de ejemplo de un sistema de purificación de agua de laboratorio de acuerdo con la presente invención.

Descripción detallada de la invención

En lo sucesivo en el presente documento, se describirán detalles de la presente invención y otros rasgos y ventajas de la misma. Sin embargo, la presente invención no se limita a las siguientes descripciones y realizaciones específicas, sino que en su lugar son únicamente con fines ilustrativos.

Las Figuras 1 y 2 ilustran realizaciones a modo de ejemplo de un módulo de electrodesionización (EDI) de acuerdo con la presente invención.

La presente invención proporciona un módulo de EDI que comprende un cátodo y un ánodo separado del cátodo, que tienen entre los mismos al menos dos membranas permeables a iones que comprenden al menos una membrana (AM) permeable a aniones y al menos una membrana (CM) permeable a cationes y que delimita uno o más compartimentos de diluato y uno o más compartimentos (CC) de concentrado y está caracterizado por una forma y una orientación especiales del material de intercambio iónico de flujo a través en el interior del compartimento del diluato.

La expresión "que comprende", como se usa en el presente documento, incluye no solo el significado de "que comprende" sino también incluye el significado de "que consiste básicamente en" y "que consiste en". Del mismo modo, la expresión "que contiene", como se usa en el presente documento, incluye no solo el significado de "que

contiene", sino que también incluye el significado de "hecho de" o "lleno con".

Las expresiones "al menos uno" y "uno o más", como se usan en el presente documento, incluyen un número de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 o más. Las expresiones "al menos dos" y "dos o más", como se usan en el presente documento, incluyen un número de 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 o más.

La expresión (A) "separado de" (B), como se usa en el presente documento, indica que los componentes (A) y (B) no están en contacto directo entre sí. La expresión (A) "es adyacente a" (B), como se usa en el presente documento, indica que los componentes (A) y (B) están en proximidad cercana entre sí y que están en contacto directo entre sí.

En primer lugar, se describirá el método para la purificación de un líquido de acuerdo con la presente invención, mediante lo cual también se describen con detalle adicional los componentes del módulo de EDI y el aparato de acuerdo con la presente invención.

El líquido que se purifica de acuerdo con la presente invención es preferentemente un líquido acuoso, más preferentemente agua. El término "purificado", como se usa en el presente documento, indica preferentemente la retirada de iones del líquido, es decir, el líquido que se va a desionizar.

El líquido que se purifica se alimenta a un compartimento de diluato de acuerdo con la presente invención. Preferentemente, se sitúa un tamiz de malla abierta que tiene preferentemente propiedades de intercambio iónico entre la abertura o aberturas del puerto de entrada, o el puerto de salida, los distribuidores de flujo del marco de compartimento y los bloques de intercambio iónico de material injertado en el compartimento de diluato, mejorando de ese modo una distribución regular de flujo sobre la sección transversal del compartimento de diluato.

El compartimento de diluato contiene o está lleno preferentemente con un material de intercambio iónico de flujo a través de acuerdo con la presente invención que se describirá con detalle posteriormente. El material de intercambio iónico de flujo a través en el compartimento de diluato adsorbe selectivamente los iones del líquido tras intercambio para iones hidrógeno (para cationes) o iones hidróxido (para aniones). Mediante el campo eléctrico aplicado entre un ánodo y un cátodo, los aniones adsorbidos migran hacia el ánodo y los cationes adsorbidos migran hacia el cátodo.

El cátodo y el ánodo, adecuados para su uso en la presente invención, no se limitan de forma particular y se puede usar cualquier material y tamaño habitual en el campo de los módulos de EDI.

Una vez migran los iones a través de las respectivas membranas permeables a iones, entran en el compartimento de concentrado.

Las membranas permeables a iones, adecuadas para su uso en la presente invención, no se limitan de forma particular y se puede usar cualquier material y tamaño habitual en el campo de los módulos de EDI. Como implica el nombre, la membrana permeable a aniones es permeable a aniones y básicamente impermeable a cationes mientras que la membrana permeable a cationes es permeable a cationes y básicamente impermeable a aniones.

Las membranas permeables a iones sirven para delimitar un compartimento de diluato de un compartimento de concentrado. Las membranas permeables a iones permiten la transferencia selectiva de los iones respectivos desde el compartimento de diluato hasta el compartimento de concentrado. Con el fin de acelerar la transferencia de los iones desde el compartimento de diluato hasta el compartimento de concentrado, es preferente que las propias membranas permeables tengan propiedades de intercambio iónico, es decir, que la membrana permeable a aniones contenga material de intercambio aniónico y de ese modo represente una membrana de intercambio aniónico y/o que la membrana permeable a cationes contenga material de intercambio catiónico y represente de ese modo una membrana de intercambio catiónico.

Un líquido de purgado fluye a través del compartimento de concentrado para aclarar de ese modo los iones, retirados del líquido del compartimento de diluato, en la corriente de concentrado. El flujo de líquido a través del compartimento de concentrado puede tener la misma dirección que el flujo de líquido en el compartimento de diluato, como se muestra la Figura 1, o se puede operar en un modo a contraflujo, como se muestra la Figura 2. Desde el punto de vista de la eficacia de purificación, se pretende que la dirección del flujo de líquido a través del compartimento de concentrado sea opuesta a la dirección del flujo de líquido a través del compartimento de diluato, es decir, un modo de operación a contraflujo. Una parte del diluato producido, es decir agua purificada, se puede usar para aclarar los compartimentos de concentrado adyacentes en un modo a contraflujo. Si se produce una disminución de pH en un compartimento, que a menudo es el caso para un compartimento de ánodo o un compartimento de concentrado adyacente al compartimento de ánodo, entonces es preferente usar el agua de este compartimento para aclarar en serie otros compartimentos de concentrado y el compartimento de cátodo reduciendo de ese modo el riesgo de la formación de incrustaciones de carbonato en estos otros compartimentos de concentrado y el compartimento de cátodo.

Si los compartimentos de electrodo se sitúan verticalmente, es preferente aclararlos hacia arriba, es decir, desde el fondo hacia la parte superior, con el fin de aclarar de forma eficaz las burbujas de gas generadas en los electrodos.

Los compartimentos de concentrado pueden contener o están llenos preferentemente con material de intercambio iónico o con material permeable líquido inerte. También es posible que los compartimentos de concentrado contengan o estén llenos con el material de intercambio iónico de flujo a través de acuerdo con la presente invención. Desde el punto de vista de la estabilidad dimensional, los compartimentos de concentrado contienen preferentemente o están llenos con tamices de intercambio iónico.

El líquido que pasa a través del compartimento de diluato y se purifica de ese modo se recoge en un puerto de salida del compartimento de diluato del módulo o aparato de EDI.

A continuación, se describirá con mayor detalle el compartimento de diluato que contiene el material de intercambio iónico de flujo a través de acuerdo con la presente invención.

El compartimento de diluato de acuerdo con la presente invención contiene al menos dos bloques, un primer bloque que contiene material de intercambio aniónico (también denominado en lo sucesivo "bloque de material de intercambio aniónico" o simplemente "AB") y un segundo bloque que contiene material de intercambio catiónico (también denominado en lo sucesivo "bloque de material de intercambio catiónico" o simplemente "CB").

El término "bloque", como se usa en el presente documento, indica una pieza de material interconectada que tiene una estructura tridimensional.

Una superficie del AB es adyacente a una membrana permeable a aniones (también denominada simplemente en lo sucesivo "AM") y una superficie del CB es adyacente a una membrana permeable a cationes (también denominada simplemente en lo sucesivo "CM"). Preferentemente, la superficie del AB que es adyacente a la AM está en contacto con la AM y más preferentemente la superficie del AB que es adyacente a la AM cubre básicamente la superficie completa del lado de la AM que está de cara al compartimento de diluato. Del mismo modo, la superficie del CB que es adyacente a la CM está preferentemente en contacto con la CM y más preferentemente la superficie del CB que es adyacente a la CM cubre básicamente la superficie completa del lado de la CM que está de cara al compartimento de diluato.

Los dos bloques, AB y CB, están dispuestos lado a lado en una dirección de paso de líquido formando de ese modo una interfase entre los dos bloques. Los dos bloques, AB y CB se disponen de un modo tal que están en contacto entre sí. La expresión "dirección de paso de líquido", como se usa en el presente documento y como implica el nombre, indica la dirección principal del flujo de líquido a través del compartimento de diluato. Sin el deseo de quedar unidos a teoría alguna, los presentes inventores suponen que mediante la disposición lado a lado en la dirección de paso de líquido de los bloques, se puede conseguir que los iones H^+ y OH^- generados mediante la disociación de agua electroquímicamente mejorada en la interfase de materiales de intercambio iónico migren en direcciones opuestas bajo la aplicación de un campo eléctrico sin la recombinación en agua. De ese modo, estos iones H^+ y OH^- están disponibles para la regeneración del material de intercambio iónico y pueden participar en el intercambio con contaminantes iónicos e ionizables del líquido, mejorando de ese modo el rendimiento de purificación y aumentando la eficacia de corriente del proceso de purificación. El mecanismo se ilustra adicionalmente en la Figura 3.

bloques se disponen de una forma tal que la interfase entre los bloques está separada de la AM y la CM. Sin el deseo de quedar unidos a teoría alguna, los presentes inventores suponen que la disociación de agua electroquímicamente mejorada tiene lugar exclusivamente en la interfase entre los dos bloques de un modo tal que ambos tipos de iones generados, es decir, los iones H^+ y OH^- , pueden regenerar el material de intercambio iónico y participar en el intercambio iónico con los iones del líquido que se purifica. De ese modo, se puede prevenir que una cantidad considerable de los iones H^+ y OH^- generados mediante la disociación de agua electroquímicamente mejorada en la interfase de un material de intercambio iónico/membrana pase inmediatamente a través de la membrana correspondiente (ion H^+ a través de la membrana permeable a cationes e ion OH^- a través de la membrana permeable a aniones) y se dirijan directamente al compartimento de concentrado respectivo (donde se recombinan) sin participar en la regeneración del material de intercambio iónico. Como consecuencia, la eficacia de corriente se puede aumentar adicionalmente.

Una línea recta teórica en una dirección de paso de líquido puede pasar por la interfase entre los dos bloques al menos una vez, preferentemente al menos 5 veces, más preferentemente al menos 10 veces, aún más preferentemente al menos 20 veces, aún más preferentemente al menos 50 veces, lo más preferentemente al menos 100 veces. El límite superior del número de pasos de la línea recta teórica en una dirección de paso de líquido a través de la interfase entre los dos bloques solo está limitado por el espacio disponible y la estructura fina de los dos bloques. Por a razones prácticas, el límite superior del número de pasos de la línea recta teórica en una dirección de paso de líquido a través de la interfase entre los dos bloques no es más de 1000 veces, preferentemente no más de 500 veces. La expresión "línea recta teórica" o simplemente "línea recta", como se usa en el presente documento, indica una línea ficticia o virtual que no existe en la realidad en el módulo de EDI. Sin el deseo de quedar unidos a teoría alguna, los presentes inventores suponen que permitiendo que el líquido que fluye a través del compartimento de diluato pase por la interfase entre el material de intercambio aniónico y el material de intercambio catiónico al menos una vez, preferentemente varias veces, ambas sustancias catiónica y aniónica se retirarán de forma eficaz y se puede obtener un líquido completamente desionizado en el puerto de salida del compartimento de diluato, consiguiendo de ese modo un rendimiento de purificación excelente. El ángulo entre la

línea recta (cuando pasa por la interfase entre los dos bloques) y la interfase es preferentemente menos de 90°, es decir, preferentemente la interfase no es perpendicular a la dirección de paso de líquido, mas preferentemente no más de 75°, aún más preferentemente no más de 60°.

5 Los dos bloques, AB y CB, tienen protuberancias y hendiduras complementarias en la interfase entre los dos bloques que se extienden transversales a la dirección de paso del líquido. La expresión "protuberancias y hendiduras complementarias", como se usa en el presente documento, significa que los dos bloques tienen superficies adyacentes con protuberancias (o proyecciones) y hendiduras (o cavidades) que se complementan las unas con las otras, es decir, que soportan mutuamente la carencia o exceso de la una con la otra. La expresión "que se extienden transversales a dirección de paso del líquido", como se usa en el presente documento, significa que las protuberancias y hendiduras se pueden prolongar de forma perpendicular a la dirección de paso del líquido o pueden estar inclinadas hacia la dirección de paso del líquido con una pendiente de hasta, pero no incluyendo, un ángulo de 90°, preferentemente hasta un ángulo de 75°, más preferentemente hasta un ángulo de 60° y lo más preferentemente hasta un ángulo de 45°. En otras palabras, la expresión "que se extiende transversal a la dirección de paso del líquido" incluye cualquier orientación excepto una orientación en paralelo a la dirección del paso del líquido. Sin el deseo de quedar unidos a teoría alguna, los presentes inventores suponen que de ese modo el líquido que fluye a través del compartimento de diluato puede pasar por el material de intercambio aniónico y el material de intercambio catiónico de un modo tal que ambas sustancias catiónica y aniónica se retiren de forma eficaz y se pueda obtener un líquido completamente desionizado en el puerto de salida del compartimento de diluato, consiguiendo de ese modo un rendimiento de purificación excelente. Además, el compartimento de diluato está completamente lleno sin la formación de separaciones o canales a través de los cuales pueda pasar el líquido que se purifica sin suficiente interacción con el material de intercambio iónico para una retirada satisfactoria de iones del líquido. Además, el contacto entre los dos bloques, AB y CB, se puede mejorar, aumentando de ese modo la estabilidad del montaje completo.

25 En una realización preferente, la superficie del primer bloque (es decir, el bloque de material de intercambio aniónico), opuesto a la superficie adyacente a la membrana permeable a aniones (AM), es complementario a la superficie del segundo bloque (es decir, el bloque de material de intercambio catiónico) opuesto a la superficie adyacente de la membrana permeable a cationes (CM). De ese modo, se pueden mejorar adicionalmente el rendimiento de purificación y la prevención de separaciones o canales a través de los cuales pueda pasar el líquido que se purifica sin suficiente interacción con el material de intercambio iónico para una retirada satisfactoria de iones del líquido.

35 Preferentemente, al menos parte de la interfase entre los dos bloques AB y CB y/o al menos parte de las superficies complementarias de los dos bloques AB y CB está corrugada en una dirección transversal a la dirección de paso del líquido. Es particularmente preferente que la parte de la interfase entre los dos bloques AB y CB y/o la parte de las superficies complementarias de los dos bloques AB y CB que está corrugada en una dirección transversal a la dirección del paso del líquido represente al menos un 20 %, más preferentemente al menos un 30 %, aún más preferentemente al menos un 40 % y lo más preferentemente al menos un 50 %, pero no más de un 98 %, más preferentemente no más de un 95 %, aún más preferentemente no más de un 90 % y lo más preferentemente no más de un 80 % de la interfase completa o las superficies complementarias. La expresión "corrugado", como se usa en el presente documento, incluye la presencia de una serie de crestas, pestañas, o aletas, y surcos, ranuras, muescas o cuñas. De ese modo, el rendimiento de purificación y la prevención de separaciones o canales a través de los que pueda pasar el líquido que se purifica sin interacción suficiente con el material de intercambio iónico para una retirada satisfactoria de iones del líquido se puede mejorar incluso adicionalmente. Además, el contacto entre los dos bloques, AB y CB, se puede mejorar, aumentando de ese modo la estabilidad del montaje completo.

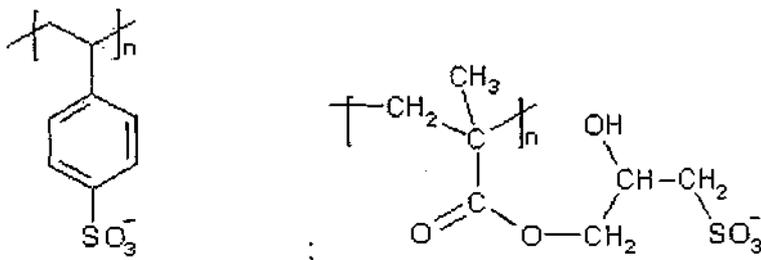
45 En una realización preferente, al menos parte de la interfase entre los dos bloques AB y CB y/o al menos parte de las superficies complementarias de los dos bloques AB y CB tienen forma de cuña, forma de diente de sierra o son onduladas. Es particularmente preferente que la parte de la interfase entre los dos bloques AB y CB y/o la parte de las superficies complementarias de los dos bloques AB y CB que tienen forma de cuña, forma de diente de sierra o son onduladas representen al menos un 20 %, más preferentemente al menos un 30 %, aún más preferentemente al menos un 40 % y lo más preferentemente al menos un 50 %, pero no más de un 98 %, más preferentemente no más de un 95 %, aún más preferentemente no más de un 90 % y lo más preferentemente no más de un 80 % de la interfase completa o las superficies complementarias. Es particularmente preferente que al menos parte de la interfase entre los bloques AB y CB y/o al menos parte de las superficies complementarias de los dos bloques AB y CB, como se ha definido anteriormente, tengan un perfil puntiagudo. Es posible una diversidad de ángulos en punta, tal como de 5 a 120°, preferentemente de 15 a 110°, más preferentemente de 20 a 100° y lo más preferentemente de 30 a 90°. Un ejemplo de una forma preferente del material de tipo bloque de intercambio iónico de flujo a través de acuerdo con la presente invención se ilustra en la Figura 4. Mediante la forma o perfil particular, se puede conseguir un buen contacto entre AB y CB, mejorando adicionalmente de ese modo el rendimiento de purificación y la prevención de separaciones o canales a través de los que pueda pasar el líquido que se purifica sin suficiente interacción con el material de intercambio iónico para una retirada satisfactoria de los iones del líquido.

65 Los bloques AB y/o CB están hechos preferentemente de material poroso o material fibroso. Por supuesto, también es posible que el bloque AB esté hecho de material poroso y el bloque CB esté hecho de material fibroso y viceversa. El material poroso puede ser un material de tipo espuma. El material fibroso es preferentemente una tela no tejida. El diámetro de fibra del material fibroso está preferentemente dentro del intervalo de 10 a 100 µm, más

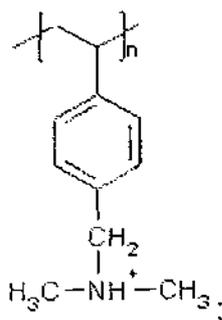
preferentemente de 20 a 80 μm .

El material de intercambio iónico de flujo a través de acuerdo con la presente invención contiene por lo general un polímero de cadena principal que tiene funcionalidades de intercambio iónico injertadas en la misma.

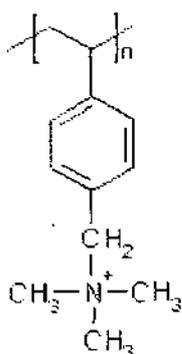
Las funcionalidades de intercambio iónico, adecuadas para su uso en la presente invención, no se limitan de forma particular y se puede usar cualquier grupo de intercambio iónico habitual en el campo del intercambio iónico. Por ejemplo, un grupo de intercambio catiónico de ácido débil habitual representa un grupo carboxílico $-\text{CO}_2^-$; un grupo de intercambio catiónico de ácido fuerte habitual representa un grupo sulfónico $-\text{SO}_3^-$, por ejemplo



un grupo de intercambio aniónico de base débil habitual representa un grupo amino secundario, tal como $-\text{N}(\text{CH}_3)_2\text{H}^+$, o un grupo amino terciario, tal como $-\text{N}(\text{CH}_3)_3\text{H}^+$, por ejemplo



y un grupo de intercambio aniónico de base fuerte habitual representa un grupo amonio cuaternario, tal como $-\text{N}(\text{CH}_3)_3^+$, por ejemplo

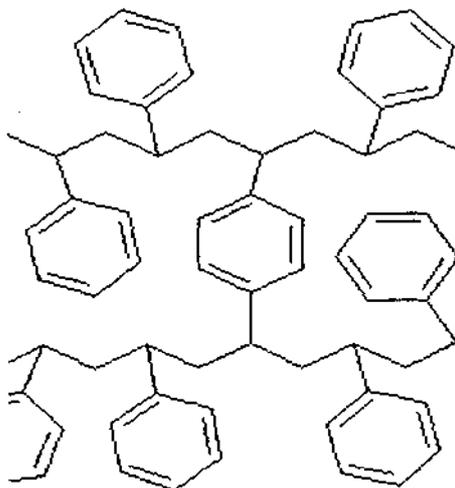


Se pueden usar diversos polímeros de cadena principal para un material de intercambio iónico de flujo a través de acuerdo con la presente invención. Algunos ejemplos adecuados incluyen copolímero de poliestireno-divinilbenceno, poli(met)acrilato, polietileno, fluoruro de polivinilideno, poliuretano, etc.

La síntesis de un bloque poroso de intercambio catiónico de ácido fuerte (también denominado en lo sucesivo en el presente documento "monolito de resina de intercambio catiónico poroso") se describe, por ejemplo, en Inoue *et al.*, Polymer, Vol. 45 (2004) pág. 3-7. En resumen, el procedimiento contiene la formación de un bloque poroso mediante la polimerización de monómeros en el interior de una emulsión de agua en aceite sin agitación, seguido de la funcionalización de los grupos de intercambio catiónico. Se preparó la emulsión de agua en la mezcla de estireno y

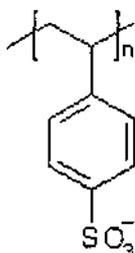
divinilbenceno, con la adición de un emulgente y un iniciador de polimerización en condiciones de agitación controladas. A continuación, la emulsión estancada se curó para polimerización a una temperatura elevada en un recipiente cerrado dando como resultado un bloque poroso de copolímero de poliestireno-divinilbenceno reticulado con un fragmento de la estructura química ilustrado esquemáticamente como sigue a continuación:

5



Después de refrigeración, lavado de los monómeros residuales y secado, el polímero se funcionalizó con ácido clorosulfónico en resina de intercambio catiónico de ácido fuerte en forma de un bloque poroso. Después de la inactivación del ácido clorosulfónico residual, el lavado y la transferencia final a la forma iónica requerida, el bloque poroso está listo para su utilización. Sus iones funcionales fijados son iones de ácido sulfónico, que están unidos a los anillos de benceno de la cadena principal polimérica de copolímero de poliestireno-divinilbenceno reticulado:

10



15

La forma del bloque poroso reproduce la forma del recipiente usado para la polimerización. De ese modo, se puede ajustar una forma específica del bloque poroso, según se requiera para el uso en la presente invención, mediante la forma del recipiente que se usa para la polimerización.

20

Como enfoque alternativo, se pueden producir bloques más grandes y a continuación cortarlos en la forma deseada. Por ejemplo, se puede preparar una espuma a partir de una solución de un polímero de intercambio iónico en un disolvente orgánico correspondiente, mientras que la formación de espuma es simultánea, o va seguida de reticulación y evaporación del disolvente. Tal espuma se puede preparar ya en la forma del bloque conformado, o se puede dar una forma más tarde, por ejemplo por corte, calandrado, etc.

25

La síntesis de estructuras porosas de intercambio iónico basada en polimerización (que se describe, por ejemplo, en el documento de Patente US 5.453.185) u otros procedimientos, tales como funcionalización de espumas de poliuretano (que se describe, por ejemplo, en Yeong *et al.*, J. Appl. Poly. Sci., vol. 86 (2002) pág. 1773-1781), la inmovilización de partículas de intercambio iónico (que se describe, por ejemplo, del documento de Patente US 6.495.014), el injerto iniciado por irradiación y la funcionalización de espuma de poliuretano (que se describe, por ejemplo, en los Ejemplos 5 y 6 del documento de Patente US 6.610.546), etc. son técnicas del estado de la técnica bien conocidas.

30

Se pueden obtener materiales de intercambio iónico en forma fibrosa mediante el injerto y la funcionalización de un sustrato fibroso de una forma similar a los sustratos porosos.

35

Las síntesis de un material no tejido fibroso de intercambio aniónico de base débil se describen, por ejemplo, en el

Ejemplo 1 del documento de Patente US 5.425.866 junto con las síntesis de otros materiales de intercambio iónico fibrosos. Se ha irradiado un sustrato de haces de fibras de polietileno con haces de electrones de 200 kGy en nitrógeno y se ha sumergido en una solución de clorometilestireno para reacción a temperatura elevada. Después de lavado y secado, las fibras se tratan con una solución de dimetilamina a temperatura elevada, dando como resultado un material de intercambio aniónico de base débil. Después de lavado y la transferencia final a la forma iónica requerida, el material de intercambio iónico fibroso ya está listo para su uso.

Una estructura habitual de un material de intercambio iónico disponible en el mercado no tejido fibroso denominado FIBAN se muestra en Soldatov V.S., *Solvent Extraction and Ion Exchange*, vol. 26 (2008) pág. 457-513.

Se pueden producir materiales fibrosos en forma de fibras no tejidas o espaciadores tejidos con diferentes funcionalidades. Se describen métodos adecuados adicionales en los documentos de Patente US 5.308.467, JP 8-12774 A o en Lilja *et al.*, *Applied catalysis A, General*. vol. 228 n.º 1-2 (2002) pág. 253-267.

El material de intercambio iónico fibroso, adecuado para su uso en la presente invención, se puede preparar sobre la base de un sustrato, al que ya se ha dado forma, según se requiera para su uso en la presente invención, o se puede dar forma después de la funcionalización, por ejemplo mediante calandrado. Teniendo en cuenta los cambios dimensionales exhibidos por los materiales durante la funcionalización de intercambio iónico y mediante el cambio de contenido de agua o forma iónica, es preferente que el bloque se conforme a partir del material en una forma correspondiente a la aplicación específica, por ejemplo forma de sal en equilibrio con agua pura. También es posible doblar, apilar y/o prensar láminas de material tejido o no tejido fibroso en una forma en la que los pliegues de ambos materiales de intercambio iónico (es decir, los materiales de intercambio catiónico e intercambio aniónico) se apilen conjuntamente y creen un bloque que se pueda situar en el compartimento de diluato.

En una realización particularmente preferente, el material de intercambio iónico fibroso se puede proporcionar en una forma especial del material de intercambio iónico de flujo a través de acuerdo con la presente invención desde un bloque congelado de mayores dimensiones. En detalle, se apilan conjuntamente láminas de materiales de intercambio iónico fibrosos no tejidos hinchados en agua y humedecidos, se fijan con cierta fuerza (por ejemplo, poniendo un peso en la placa superior) y se congelan en un bloque. Alternativamente, en lugar de láminas se podrían comprimir y congelar fibras básicas no tejidas en un bloque de forma similar. Esta operación se realiza por separado con las láminas (o las fibras básicas) del material de intercambio aniónico y el material de intercambio catiónico. El bloque congelado grande obtenido se corta en bloques más pequeños de la forma especial deseada. Los medios de corte adecuados incluyen chorro de agua, punzones, cuchillas, sierras de alambre, sierras de cinta o láser. Los bloques del material de intercambio aniónico y catiónico se pueden cortar para reproducir exactamente los unos con los otros y para llenar completamente un compartimento de diluato, proporcionando adicionalmente una cierta compresión contra las membranas y el marco una vez las superficies estructuradas complementarias de dos bloques se ponen juntas y los dos bloques se sitúan en el marco de compartimento entre membranas. De ese modo, los problemas debidos a cierta flexibilidad y compresibilidad de los materiales fibrosos se pueden evitar, facilitando la manipulación y el montaje y permitiendo una compresión controlada, una alta precisión dimensional, bajo riesgo de formación de canales de flujo y alta consistencia del montaje.

Es preferente que el material de intercambio iónico de flujo a través completo de acuerdo con la presente invención se proporcione con funcionalidades de intercambio iónico. De ese modo, los grupos de intercambio iónico en la superficie pueden servir para el intercambio iónico con las especies iónicas del líquido que se purifica, mientras que los grupos de intercambio iónico en el interior pueden servir para acumular una cierta cantidad de iones y transportarlos a través de electromigración al interior del material desde el compartimento de diluato hasta la membrana permeable a iones y además al compartimento de concentrado.

Es preferente que la porosidad, es decir la resistencia al flujo, del AB sea similar a la porosidad del CB de un modo tal que el líquido que se purifica pase a través de ambos sin preferencia. De ese modo, se puede conseguir un rendimiento de purificación bien equilibrado. La porosidad adecuada para la presente invención puede estar en un intervalo muy amplio, por lo general de un 5 - 95 % y preferentemente un 30 - 70 %. La porosidad más adecuada depende de la aplicación final y está gobernada por la caída de presión máxima permitida a través del compartimento de purificación, así como por otras características del material de intercambio iónico de flujo a través (por ejemplo, capacidad de intercambio iónico, volumen, dureza) y los parámetros de operación (por ejemplo, concentración de agua de alimentación, caudal, corriente eléctrica).

Es preferente que la capacidad de intercambio aniónico del AB sea similar a la capacidad de intercambio catiónico del CB. También es preferente que la capacidad de intercambio aniónico del AB sea mayor que la capacidad de intercambio catiónico del CB, lo que proporciona las ventajas de mejorar la eficacia de purificación para líquidos que tengan un pH inferior a 7 y de mejorar la retirada de compuestos débilmente asociados que son por lo general ácidos débiles en lugar de bases débiles, tales como dióxido de carbono, ácido silícico o ácido bórico. Sin embargo, si la capacidad de intercambio iónico por volumen del material de intercambio aniónico no es mayor o igual que la del material de intercambio catiónico, entonces el equilibrio de los grupos de intercambio iónico presentes en un compartimento de diluato se podría conseguir seleccionando una forma de bloques con un volumen del material de intercambio aniónico mayor que el del material de intercambio catiónico como se ilustra a modo de ejemplo en las

Figuras 1 y 2.

La capacidad de intercambio iónico es preferentemente tan alta como sea posible para un material dado. Por lo general, la capacidad de intercambio iónico de los materiales de intercambio iónico injertados se puede aumentar mediante una irradiación más fuerte y/o una exposición más larga al injerto, reticulación y funcionalización de compuestos químicos. Sin embargo, para un cierto grado de capacidad de intercambio iónico, el hinchamiento del material de intercambio iónico en agua (es decir, la captación de agua) se volvería demasiado fuerte (hasta una disolución parcial o completa) dando como resultado una disminución de la estabilidad mecánica. Por lo tanto, el grado de funcionalización y reticulación está gobernado por una solución de compromiso entre la capacidad de intercambio iónico y la estabilidad mecánica. En vista del excelente rendimiento de purificación debido a la forma y la orientación especiales del material de intercambio iónico de flujo a través en el interior del compartimento de diluato de un módulo de EDI de acuerdo con la presente invención, es posible llegar a la solución de compromiso anterior debido a que ya se puede haber conseguido una purificación suficiente incluso con una capacidad de intercambio iónico inferior del material de intercambio iónico de flujo a través en comparación con el material de intercambio iónico que se usa por lo general en los módulos de EDI convencionales.

El grosor del compartimento de diluato no se limita de forma particular, pero un compartimento más grueso es ventajoso para la reducción de los costes de material para el módulo. Un grosor preferente es de 3 mm a 5 mm, más preferentemente de 5 mm a 3 cm y lo más preferentemente aproximadamente 1 cm. De acuerdo con la presente invención, es posible usar compartimentos más gruesos que en los módulos de EDI convencionales con un lecho mixto de material de intercambio iónico de un modo tal que el número de compartimentos y membranas requerido en un apilamiento se reduzca y de ese modo se pueda disminuir el material y el coste de montaje.

En una realización preferente, el módulo de EDI de acuerdo con la presente invención comprende además al menos un medio de sujeción con el fin de mantener el buen contacto entre los dos bloques de intercambio iónico, pero también el contacto entre el bloque/membrana y bloque/marco para proporcionar de ese modo una conducción continua de iones a través del medio de intercambio iónico y para prevenir la formación de canales de flujo en el compartimento. Los medios de sujeción adecuados para proporcionar un buen contacto entre los materiales y para eliminar el riesgo de formación de canales incluyen (i) un muelle para mantener una compresión suficiente sobre los bloques de intercambio iónico; (ii) el uso de bloques de intercambio iónico con una cierta flexibilidad/elasticidad; (iii) el uso de un espaciador duro, tal como un tamiz de tipo red, en el compartimento de concentrado para fijar la posición de las membranas y prevenir su deformación en el compartimento de concentrado, (iv) usar uno o más marcos que incluyan el módulo de EDI y cubrir con material especial, por ejemplo sobremoldear con elastómero; y/o (v) proporcionar una buena junta entre el marco y los bloques de intercambio iónico, etc. Se podría usar uno cualquiera de los medios de sujeción (i) a (v) indicados anteriormente así como cualquier combinación de los mismos.

En una realización particularmente preferente, el módulo de EDI de acuerdo con la presente invención comprende además uno o más compartimentos de diluato que contienen o están llenos preferentemente con perlas de resina de intercambio iónico. Mientras que los materiales de intercambio iónico porosos o fibrosos, como se usan preferentemente de acuerdo con la presente invención, con una superficie altamente desarrollada tienen las ventajas de una mejora de la cinética de intercambio iónico y un rendimiento de purificación superior en comparación con las perlas de resina de intercambio iónico convencionales, su uso en aplicaciones prácticas a menudo se rechaza debido al mayor coste de los materiales porosos o fibrosos y a un mayor consumo de energía del EDI. Además, dado que la capacidad de intercambio iónico de los materiales de intercambio iónico no tejidos porosos o fibrosos es por lo general inferior a la de las resinas de intercambio iónico convencionales, el uso de tales materiales es más económico cuando se alimenta con agua con una carga relativamente baja de contaminantes iónicos e ionizables, tal como agua purificada previamente.

Una combinación de compartimentos de diluato llenos con resinas de intercambio iónico por lo general en forma de perlas y compartimentos con material de intercambio iónico poroso o fibroso, como se usa preferentemente de acuerdo con la presente invención, en un módulo de electrodesionización hace uso de las ventajas de ambas propiedades de materiales, en el que se puede retirar la mayoría de los contaminantes en los compartimentos de diluato llenos con perlas de resina de intercambio iónico y a continuación este agua purificada previamente puede pasar a través de un compartimento de diluato que contiene material de intercambio iónico poroso o fibroso que se purifica para una calidad de agua ultrapura. De ese modo, se puede obtener un módulo de EDI que tiene un excelente rendimiento de purificación y una capacidad de intercambio iónico superior a costes razonables.

Los uno o más compartimentos de diluato llenos con perlas de resina de intercambio iónico pueden ser, por ejemplo, de un tipo de lecho mixto (celda delgada), perlas formadas por capas o perlas separadas. También son posibles las combinaciones de los mismos. Desde un punto de vista de la disminución adicional del coste de fabricación del módulo de EDI y aumento de la fiabilidad de la fabricación y el rendimiento del módulo, los uno o más compartimentos de diluato llenos con perlas de resina de intercambio iónico están organizados preferentemente en una celda gruesa.

Un ejemplo de esta realización particularmente preferente se muestra en la Figura 6 como un módulo de EDI que

5 combina compartimentos de diluato de celda gruesa llenos con lechos separados de resinas de intercambio iónico y un material de intercambio iónico poroso o fibroso. El módulo de EDI comprende tres unidades de desionización, mientras que dos están llenas con resinas de intercambio iónico y una con bloques de flujo a través de intercambio catiónico y aniónico de acuerdo con la presente invención. Los lechos separados de compartimentos de diluato consisten en resina (19) de intercambio catiónico entre una membrana (1) de intercambio catiónico y una membrana bipolar (18) y una resina (20) de intercambio aniónico entre una membrana bipolar (18) y una membrana (2) de intercambio aniónico.

10 El apilamiento se consigue en los extremos mediante el compartimento (9) de cátodo que contiene el cátodo (7) y mediante el compartimento (10) de ánodo que contiene el ánodo (8). El perímetro, el sellado y los distribuidores de flujo de entrada-salida para los correspondientes compartimentos están formados por los marcos (15) de compartimento de diluato, los marcos (16) de compartimento de concentrado, las tapas de extremo (17) de cátodo y ánodo.

15 El flujo (11) de alimentación entra en los compartimentos de diluato con el lecho (19) de resina de intercambio catiónico donde se retira la mayoría de las especies catiónicas, a continuación pasa a través de los compartimentos de diluato con el lecho (20) de resina de intercambio aniónico donde se retira la mayoría de las especies aniónicas y posteriormente fluye a través del compartimento (5) de diluato lleno con un bloque (3) de flujo a través de intercambio catiónico y un bloque (4) de flujo a través de intercambio aniónico de acuerdo con la presente invención para la retirada posterior de especies residuales, es decir, la purificación final, para producir una corriente (13) de diluato. La corriente (12) aclara los compartimentos de concentrado (6) y electrodo (9 y 10) para salir como concentrado (14).

25 Aunque los electrodos, es decir, el cátodo y el ánodo, adecuados para su uso en la presente invención, no se limitan de forma particular como se ha indicado anteriormente y se puede usar cualquier material y tamaño habitual en el campo de los módulos de EDI, en una realización preferente los electrodos son electrodos de flujo a través. En una realización preferente adicional, el cátodo está hecho de fibras no tejidas o tejidas hechas de carbono o metal.

30 Los compartimentos de electrodo, es decir, los compartimentos del ánodo y el cátodo, de un módulo de EDI de acuerdo con la presente invención pueden funcionar como compartimentos de diluato o compartimentos de concentrado. Además, se pueden usar materiales diferentes como electrodo y como carga para el compartimento de electrodo. Con el fin de prevenir el riesgo de formación de incrustaciones de carbonato y de oxidación de los materiales, así como para reducir el consumo de energía es preferente usar un tamiz de fibra de malla abierta de intercambio catiónico adyacente al ánodo y/o un tamiz de fibra de malla abierta de intercambio aniónico adyacente al cátodo. El uso de un electrodo de flujo a través, tal como malla expandida, red de alambre tejido, espuma de metal, acero sinterizado, etc., es preferente desde el punto de vista de simplificar la evacuación de los gases generados en los electrodos y reducir la caída de tensión global en el módulo. Como se conoce en la técnica, tal electrodo de flujo a través puede estar separado de la membrana más cercana o permanecer en contacto directo con la membrana. Como ejemplo ilustrativo se puede considerar un electrodo de placa perforada yuxtapuesto a la membrana con una red espaciadora tejida entre la parte posterior del electrodo de placa perforada y la tapa de extremo. Un ejemplo adicional es un electrodo de alambre de metal tejido emparedado entre la membrana y las rasgaduras verticales de la tapa de extremo

45 El uso de un cátodo hecho de fibras no tejidas o tejidas hechas de carbono o metal es ventajoso en términos de la reducción del aumento del pH local y del riesgo de formación de incrustaciones de carbonato en el cátodo, en particular si el compartimento del cátodo funciona como un compartimento de concentrado y están presentes en el agua iones de gran dureza. De ese modo, el cátodo comprende preferentemente un bloque de fibras no tejidas o tejidas de flujo a través bien aclaradas o un monolito poroso hecho de metal o carbono. Tales materiales están disponibles en el mercado en CarboPur technologies Inc. (Montreal, Canadá), SNC Corporation (Bucheon, Corea del Sur), Recemat International (Oud-Beijerland, Países Bajos) y otros.

50 Otra ventaja del uso de tales electrodos fibrosos no tejidos con una superficie específica altamente desarrollada se puede encontrar mediante el aclarado de dos compartimentos de electrodo en serie, mientras que se puede absorber el gas producido en un electrodo y oxidar/reducir en el electrodo opuesto. De ese modo, se puede reducir el volumen de gas generado en el compartimento de electrodo corriente abajo y se puede reducir el volumen de una mezcla de gas explosiva, tal como oxihidrógeno, que emita el módulo.

60 En comparación con el EDI convencional con perlas de resina de intercambio iónico, el módulo de EDI de acuerdo con la presente invención se caracteriza generalmente por una ruta de purificación relativamente corta, que se debe a la mejor cinética de los materiales de intercambio iónico porosos o fibrosos, como se usa preferentemente de acuerdo con la presente invención, que tienen una mayor superficie específica. Sin embargo, una ruta de purificación más corta y la relativa compacidad del módulo de EDI de acuerdo con la presente invención tienden a dar como resultado unas densidades de corriente proporcionalmente mayores así como mayores tensiones aplicadas a los electrodos, lo que podría conducir a efectos secundarios de generación exhaustiva de gas y calentamiento de los electrodos.

Los gases generados en los electrodos (principalmente H₂ en el cátodo y O₂ en el ánodo) pueden tener un efecto negativo en la conducción de corriente y pueden producir una formación de canales de flujo preferente y zonas insuficientemente aclaradas en el compartimento de electrodo. Estos efectos pueden tener cierto impacto en la distribución de densidad de corriente así como en el riesgo de formación de incrustaciones y finalmente en el rendimiento de purificación, consumo de energía y tiempo de vida del módulo. Peor aún, la presencia de H₂ gaseoso junto con O₂ en la misma corriente residual o en el tanque, por ejemplo mediante recirculación de alimentación y sangrado de ambas corrientes de aclarado de electrodo, o mediante recirculación de las mismas en un tanque corriente arriba de la RO, representa riesgo de explosión.

De ese modo, se desea la retirada de los gases de los compartimentos de electrodo y del módulo.

En una realización preferente adicional, los electrodos se configuran para permitir la desgasificación. En particular, el módulo de EDI de acuerdo con la presente invención comprende preferentemente uno o más compartimentos de desgasificación, lo más preferentemente un compartimento de desgasificación para cada electrodo.

Una medida para desgasificar los compartimentos de electrodo es usar una capa de material poroso o fibroso hidrófobo con poros que permitan el paso de gases, pero que sean lo suficientemente finos para permanecer impermeables al agua de aclarado de los electrodos en la caída de presión existente durante la operación, mientras se aplica un vacío o un flujo de gas de eliminación en el lado opuesto de la capa hidrófoba porosa. Las capas, o membranas, hidrófobas porosas adecuadas están disponibles en diferentes fabricantes, tales como Fluoro Techniques Membrane Products Inc. (Castleton On Hudson, NY, USA); o Membrana (Charlotte, NC, USA). Para esta solución de desgasificación es preferente el uso de un electrodo de flujo a través perforado o de malla, mediante lo cual el compartimento de electrodo estará delimitado por la membrana permeable a iones desde un lado y por la membrana permeable a gases (capa porosa hidrófoba) desde el otro lado. El electrodo puede estar en contacto directo con la capa porosa hidrófoba y también con la membrana permeable a iones.

Se incorpora preferentemente un compartimento de desgasificación en la tapa de extremo del módulo y se llena con un tejido de malla abierta neutro, o formado mediante protuberancias, por ejemplo desgarras, en la tapa de extremo que delimita la posición de la capa hidrófoba, pero que permite el paso de gas.

Se puede crear un vacío en el compartimento de desgasificación mediante la conexión del mismo a un eductor instalado en un chorro de agua del agua de desecho de la RO habitualmente disponible en un sistema de purificación de agua. El elemento eductor se puede instalar de forma externa y conectar al compartimento de desgasificación a través de tubos, o puede ser una parte incorporada en la tapa de extremo.

El vacío conectado a un extremo del compartimento de desgasificación mientras un extremo opuesto está conectado a la atmósfera puede crear un arrastre de aire, que puede servir para desgasificar mejor y también podría servir para refrigerar y además para la reducción del riesgo de explosión, dado que el H₂ se diluirá en gran medida con el aire en el interior del compartimento de desgasificación.

Por ejemplo, se puede instalar un eductor en el lado de desecho de RO y conectar al compartimento de desgasificación del cátodo situado horizontalmente con el compartimento de desgasificación en la parte superior del cátodo, evacuando de ese modo el H₂ en la corriente residual del sistema, mientras que el agua de aclarado del ánodo que contiene O₂ se puede reciclar junto al agua de aclarado de cátodo exenta de burbujas en un tanque corriente arriba de la RO, previniendo de ese modo el riesgo de explosión.

Además de las ventajas que se han descrito anteriormente, la desgasificación en el módulo permite adicionalmente el uso del agua de aclarado de electrodo recuperada en otros componentes, que podría estar impedida debido a un exceso no deseado de gases. Cuando se usa un compartimento de desgasificación interno, el agua exenta de burbujas del compartimento de electrodo se puede desviar directamente, por ejemplo a través de un tronco en el interior del alojamiento del módulo en otro compartimento.

Se muestra una ilustración esquemática de una disposición de cátodo preferente que permite la desgasificación en el interior del extremo terminal de electrodo como se ha descrito anteriormente en la Figura 7.

Un ejemplo de una configuración ventajosa es un compartimento de ánodo de EDI lleno con material de intercambio catiónico y unido a una membrana permeable a cationes y un ánodo de tipo malla con una capa hidrófoba y un compartimento de desgasificación en su parte posterior, mientras que el agua que pasa por el compartimento del ánodo se descationiza y se acidifica a través de intercambio iónico, y a continuación exenta de burbujas de gas se desvía para aclarar los compartimentos del cátodo y/o el concentrado, en serie o en paralelo.

Los gases de H₂ y O₂ retirados de los compartimentos de electrodo se pueden usar para alimentar una celda de combustible para de ese modo recuperar energía parcialmente. Sin embargo, para hacerlo de ese modo, los gases deberían ser suficientemente puros, dado que un elemento de celda de combustible es muy sensible a los contaminantes potenciales, tales como CO₂ y Cl₂. Para este fin, por lo tanto es preferente que los compartimentos de electrodo funcionen como compartimentos de desionización parcial y se alimenten con agua pura, por ejemplo una

parte del diluato producido. Alternativamente, la mezcla de gaseosa recogida que contiene H₂ y O₂ se puede dirigir a una cámara de "recombinación", que contiene por ejemplo un catalizador de Pt, donde el H₂ se oxidará sin inflamarse, reduciendo de ese modo el riesgo de explosión. Se desvelan catalizadores adecuados adicionales en el documento de Patente EP 0 358 912 B1 y se desvela una disposición de catalizador adecuada en el documento de Patente EP 0 416 140 B1.

Como se ha indicado anteriormente, los electrodos de un módulo de EDI de acuerdo con la presente invención tienden a calentarse. Un calentamiento significativo de los electrodos, debido a la electricidad conducida y a una refrigeración insuficiente mediante el agua de aclarado de electrodo, puede conducir a la degradación de los materiales del módulo, en particular de los materiales de intercambio iónico, y por lo tanto esto no se desea.

Con el fin de refrigerar los electrodos y prevenir daños potenciales, la tapa de extremo se puede proporcionar con camisas de refrigeración, es decir, huecos en los que fluye agua con una temperatura inferior a la del electrodo correspondiente. Tales huecos situados en la tapa de extremo del lado posterior del electrodo están aislados del intercambio de materia con el compartimento de electrodo y solo puede tener lugar intercambio de calor. Preferentemente, el agua que se usa para refrigerar ya está disponible en el sistema de purificación de agua, por ejemplo agua de cualquier etapa de purificación intermedia corriente arriba de la RO, o permeato de RO antes de que entre en el compartimento de diluato de EDI.

El módulo de EDI de acuerdo con la presente invención se puede usar en un aparato de EDI para la producción de agua de alta pureza o ultrapura, tal como que tiene una resistencia de al menos 18,2 MΩ·cm a 25 °C.

El módulo de EDI o el aparato de EDI de acuerdo con la presente invención también se puede usar en un sistema de purificación de agua de laboratorio.

En una primera realización del sistema de purificación de agua de laboratorio de acuerdo con la presente invención, el agua después del tratamiento previo y la purificación por ósmosis inversa (RO) se recoge en un tanque.

El módulo de EDI o el aparato de EDI de acuerdo con la presente invención (en lo sucesivo también denominado simplemente módulo de EDI) se sitúa corriente abajo del tanque y se puede operar en dos modos:

- 1) regeneración - recirculación de agua entre el tanque y el módulo de EDI mientras el agua en el tanque se purifica hasta un nivel establecido y los materiales de intercambio iónico del módulo se transfieren en forma básicamente regenerada;
- 2) dispensación - el agua del tanque se bombea a través del módulo de EDI y el agua pura o ultrapura producida se usa a caudal de dispensación.

Preferentemente, el permeato de RO entra en el tanque desde la parte superior, mientras que un aumento del agua/aire de la interfase, por ejemplo usando una bola de pulverización o aireador, intensificará la liberación de CO₂ de agua sobresaturada con CO₂. Tal desgasificación parcial podría facilitar el trabajo del módulo de EDI corriente abajo.

Durante el modo de regeneración, el módulo de EDI se puede operar con caudales relativamente bajos, y una corriente suficientemente alta para regenerar básicamente los materiales de intercambio iónico entre la dispensación posterior. El agua en el tanque se puede purificar hasta una conductividad de aproximadamente 1 μS/cm. La purificación hasta una conductividad inferior es menos razonable debido a que el agua almacenada en el tanque se puede deteriorar a través del contacto con el aire, tal como mediante absorción de CO₂. Una ventaja del uso del material de intercambio iónico poroso o fibroso, como se usa preferentemente de acuerdo con la presente invención, en comparación con las perlas de resina descansa en la mejora de la cinética de intercambio iónico, es decir, la capacidad de purificar agua en una longitud de ruta relativamente corta a una velocidad de flujo relativamente alta. De ese modo, un módulo de EDI compacto puede tratar agua a un caudal alto sin crear una caída de presión elevada. Esta ventaja se usa durante la dispensación, cuando se purifica finalmente el agua purificada previamente del tanque hasta un alto grado, por ejemplo agua ultrapura, y se dispensa directamente para su uso en una aplicación final.

Preferentemente, pero no necesariamente, se conduce una corriente eléctrica a través del módulo de EDI en el modo de dispensación. No obstante, los materiales de intercambio iónico se pueden transformar parcialmente en forma iónica de sal, y a continuación se regeneran de nuevo una vez se detiene la dispensación y el sistema se cambia al modo de regeneración.

Esta realización permite la producción de agua de alta pureza con un módulo de EDI relativamente compacto y sin medios de purificación adicionales corriente abajo.

Un ejemplo de esta realización se ilustra esquemáticamente en la Figura 8. Aquí, una parte del sistema de purificación de agua de laboratorio que utiliza un módulo de EDI de acuerdo con la presente invención se muestra trabajando en dos regímenes: el agua después del tratamiento previo pasa por la etapa de purificación de RO; el

permeato producido se alimenta al tanque; la recirculación del agua desde el tanque a través del módulo de EDI que trabaja en el régimen de regeneración purifica el agua hasta un nivel establecido; en el régimen de producción (dispensación) se detiene la recirculación y se suministra el diluato de EDI producido al punto de uso con un caudal deseado.

5 En una segunda realización del sistema de purificación de agua de laboratorio de acuerdo con la presente invención, el sistema de purificación de agua comprende principalmente el tratamiento previo, RO o NF (nanofiltración) y los módulos de EDI de acuerdo con la presente invención sin ningún tanque de almacenamiento de agua intermedio para el diluato de EDI.

10 El agua producida mediante este sistema se puede suministrar directamente al punto de uso con solo un purificador opcional corriente abajo del módulo de EDI. Este sistema de purificación de agua de laboratorio es ventajoso para los sistemas conocidos en la actualidad, dado que requiere menos componentes.

15 Un ejemplo de esta realización se ilustra esquemáticamente en la Figura 9. Aquí, se muestra una parte del sistema de purificación de agua de laboratorio que utiliza un módulo de EDI de acuerdo con la presente invención en el que las etapas de purificación de RO y EDI se diseñan para suministrar agua al punto de uso con suficiente caudal sin un depósito de almacenamiento intermedio.

20 En una tercera realización del sistema de purificación de agua de laboratorio de acuerdo con la presente invención, el sistema de purificación de agua de laboratorio contiene un módulo de EDI de acuerdo con la presente invención y comprende una etapa de RO corriente arriba del módulo de EDI, en el que mediante el cambio de la producción a un modo de espera una parte del agua producida por EDI o por RO se desvía al puerto de entrada del RO para llevar a cabo un lavado abundante de RO.

25 Durante el periodo de espera, se produce un intercambio de iones entre el permeato y el lado de desecho de una membrana de RO, lo que conduce a una contaminación del lado del permeato cuando se usa agua corriente o agua con una carga iónica elevada como alimentación. De forma convencional, se requiere cierto tiempo de aclarado (por lo general de algunos segundos a unos pocos minutos) para retirar por aclarado el agua contaminada de ese modo del lado de permeato y a continuación desviar el permeato de una conductividad lo suficientemente baja para la purificación de EDI corriente abajo. Con el fin de evitar este aclarado e iniciar la producción una vez se requiera el sistema de purificación de agua de laboratorio de esta realización aclara el cartucho de RO con agua purificada (permeato de RO o diluato de EDI) al final de cada ciclo de producto antes de la espera. En comparación con la técnica anterior el sistema de purificación de agua de laboratorio de esta realización permite un inicio inmediato de la producción bajo demanda, de un modo tal que en el caso de dimensionar RO y EDI para producir un caudal requerido para dispensación, se puede evitar un tanque de almacenamiento intermedio para el diluato de EDI, lo que reduce el tamaño y el coste del sistema de purificación de agua.

40 Un ejemplo de esta realización se ilustra esquemáticamente en las Figuras 10a y 10b en las que se lava abundantemente agua purificada a través del lado de desecho del cartucho de RO antes del periodo de espera: la Figura 10a muestra un ejemplo ilustrativo del uso de permeato de RO: durante la operación el permeato de RO pasa a la etapa de EDI; antes de ir a la espera se detiene el EDI, mientras que el permeato de RO se desvía para llenar una cisterna flexible, a continuación se detiene la RO (desconexión de bombeo) y el agua a presión de la cisterna flexible se desvía para lavar abundantemente el lado de desecho de alimentación de RO.

45 La Figura 10b muestra un ejemplo ilustrativo del uso de diluato de EDI: el sistema contiene un tanque para almacenar el diluato de EDI y antes de ir a la espera se bombea cierto volumen del tanque a través del cartucho de RO.

50 Además de los elementos que se han descrito anteriormente, se pueden añadir otros elementos a una cadena de purificación de agua, lo que dependerá de la aplicación respectiva. Por ejemplo, la instalación de una lámpara de UV en el permeato de RO corriente arriba del EDI puede mejorar adicionalmente la retirada de contaminantes orgánicos. El agua que se usa para el lavado abundante previo a la espera necesita ser considerablemente más pura que la alimentación de RO. De ese modo, se podría usar el permeato de RO, el diluato de EDI u otras fuentes de agua de calidad similar, lo que incluso podría tener ventajas adicionales para ciertas aplicaciones.

55 El volumen de agua requerido para el lavado abundante se puede recoger durante la etapa de producción de la corriente de desecho de EDI o el aclarado de algunos componentes, por ejemplo los compartimentos del ánodo o los compartimentos del cátodo. Una vez el sistema cambia a espera, esta agua recogida se puede usar para lavar abundantemente a través del lado de desecho de alimentación del RO. Esta realización puede ser ventajosa en ciertas configuraciones. Por ejemplo, el agua del compartimento del ánodo de un EDI está habitualmente acidificada y su uso para lavar abundantemente la RO podría ayudar a disolver la posible incrustación de carbonato de las membranas de RO. La presencia de oxidantes en las corrientes de aclarado de electrodo puede prevenir la aparición de incrustación biológica en el cartucho de RO, etc.

60 Aunque la presente invención se ha descrito con detalle por medio de realizaciones específicas y ejemplos, la invención no se limita a los mismos y son posibles diversas alteraciones o modificaciones.

65 **Lista de signos de referencia:**

- 1: membrana permeable a cationes
- 2: membrana permeable a aniones
- 3: bloque de intercambio catiónico
- 4: bloque de intercambio aniónico
- 5: compartimento de diluato
- 6: compartimento de concentrado
- 7: cátodo
- 8: ánodo
- 9: compartimento del cátodo
- 10: compartimento del ánodo
- 11: alimentación para desionizar
- 12: alimentación de concentrado
- 13: diluato
- 14: concentrado
- 15: marco del compartimento de diluato
- 16: marco del compartimento de concentrado
- 17: extremo final
- 18: membrana bipolar
- 19: resina de intercambio catiónico
- 20: resina de intercambio aniónico

REIVINDICACIONES

1. Un módulo de electrodesionización (EDI) que comprende un cátodo (7) y un ánodo (8) separado del cátodo (7), que tiene entre los mismos al menos dos membranas permeables a iones que comprenden al menos una membrana (2) permeable a aniones y al menos una membrana (1) permeable a cationes y que delimitan uno o más compartimentos (5) de diluato y uno o más compartimentos (6) de concentrado,
 5 en el que al menos un compartimento (5) de diluato contiene al menos dos bloques (3, 4), conteniendo un primer bloque (4) material de intercambio aniónico y conteniendo un segundo bloque (3) material de intercambio catiónico, en el que una superficie de dicho primer bloque (4) es adyacente a una membrana (2) permeable a aniones y una
 10 superficie de dicho segundo bloque (3) es adyacente a una membrana (1) permeable a cationes, y en el que dichos primero y segundo bloques (4, 3) tienen protuberancias y hendiduras complementarias y están dispuestos lado a lado y en contacto directo entre sí formando dichas protuberancias y hendiduras complementarias una interfase entre dichos primero y segundo bloques (4, 3),
 15 en el que dicho al menos un compartimento (5) de diluato está completamente lleno con dichos primero y segundo bloques (4, 3) sin la formación de separaciones o canales, en el que dicha interfase se extiende transversal a la dirección de paso del líquido a través de dicho al menos un compartimento (5) de diluato,
 20 en el que dicha interfase se forma de un modo tal que una línea recta en la dirección de paso del líquido atraviesa la interfase al menos una vez.
2. El módulo de EDI de acuerdo con la reivindicación 1, en el que al menos parte de dicha interfase entre dichos primero y segundo bloques (4, 3) está corrugada en una dirección transversal a la dirección de paso del líquido.
- 25 3. El módulo de EDI de acuerdo con la reivindicación 1, en el que una superficie de dicho primer bloque (4), opuesta a la superficie adyacente a la membrana (2) permeable a aniones, es complementaria a una superficie de dicho segundo bloque (3), opuesta a la superficie adyacente a la membrana (1) permeable a cationes.
- 30 4. El módulo de EDI de acuerdo con la reivindicación 3, en el que al menos parte de las protuberancias y hendiduras complementarias de dichos primero y segundo bloques (4, 3) está corrugada en una dirección transversal a la dirección de paso del líquido.
5. El módulo de EDI de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que al menos parte de dichas protuberancias y hendiduras complementarias de dichos primero y segundo bloques (4, 3) tiene forma de cuña, forma de dientes de sierra o es ondulada.
- 35 6. El módulo de EDI de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que dichos primero y segundo bloques (4, 3) comprenden o están hechos de material poroso o material fibroso, preferentemente tela no tejida.
- 40 7. El módulo de EDI de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la porosidad de dicho primer bloque (4) es similar a la porosidad de dicho segundo bloque (3).
- 45 8. El módulo de EDI de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la capacidad de intercambio aniónico de dicho primer bloque (4) es similar o mayor que la capacidad de intercambio catiónico de dicho segundo bloque (3).
9. El módulo de EDI de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que dicha al menos una membrana (2) permeable a aniones es una membrana de intercambio aniónico y dicha al menos una membrana (1) permeable a cationes es una membrana de intercambio catiónico.
- 50 10. El módulo de EDI de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende al menos un medio de sujeción.
- 55 11. El módulo de EDI de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además uno o más compartimentos (5) de diluato adicionales llenos con perlas de resina de intercambio iónico.
- 60 12. Un aparato de electrodesionización (EDI) para la producción de agua de alta pureza o para la producción de agua ultrapura, que comprende un módulo de EDI como se define en una cualquiera de las reivindicaciones precedentes.
- 65 13. Un sistema de purificación de agua de laboratorio, que comprende un módulo de EDI como se define en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11 o un aparato de EDI como se define en la reivindicación 12.

14. Un método para la purificación de un líquido, en particular agua, que utiliza un módulo de EDI como se define en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, un aparato de EDI como se define en la reivindicación 12 o un sistema de purificación de agua de laboratorio como se define en la reivindicación 13, comprendiendo el método las etapas de
- 5 alimentar el líquido que se purifica a dicho al menos un compartimento (5) de diluato, hacer pasar el líquido que se purifica a través de dicho al menos un compartimento (5) de diluato en la dirección de paso del líquido bajo la aplicación de un campo eléctrico, y recoger el líquido purificado en un puerto de salida de dicho al menos un compartimento (5) de diluato.

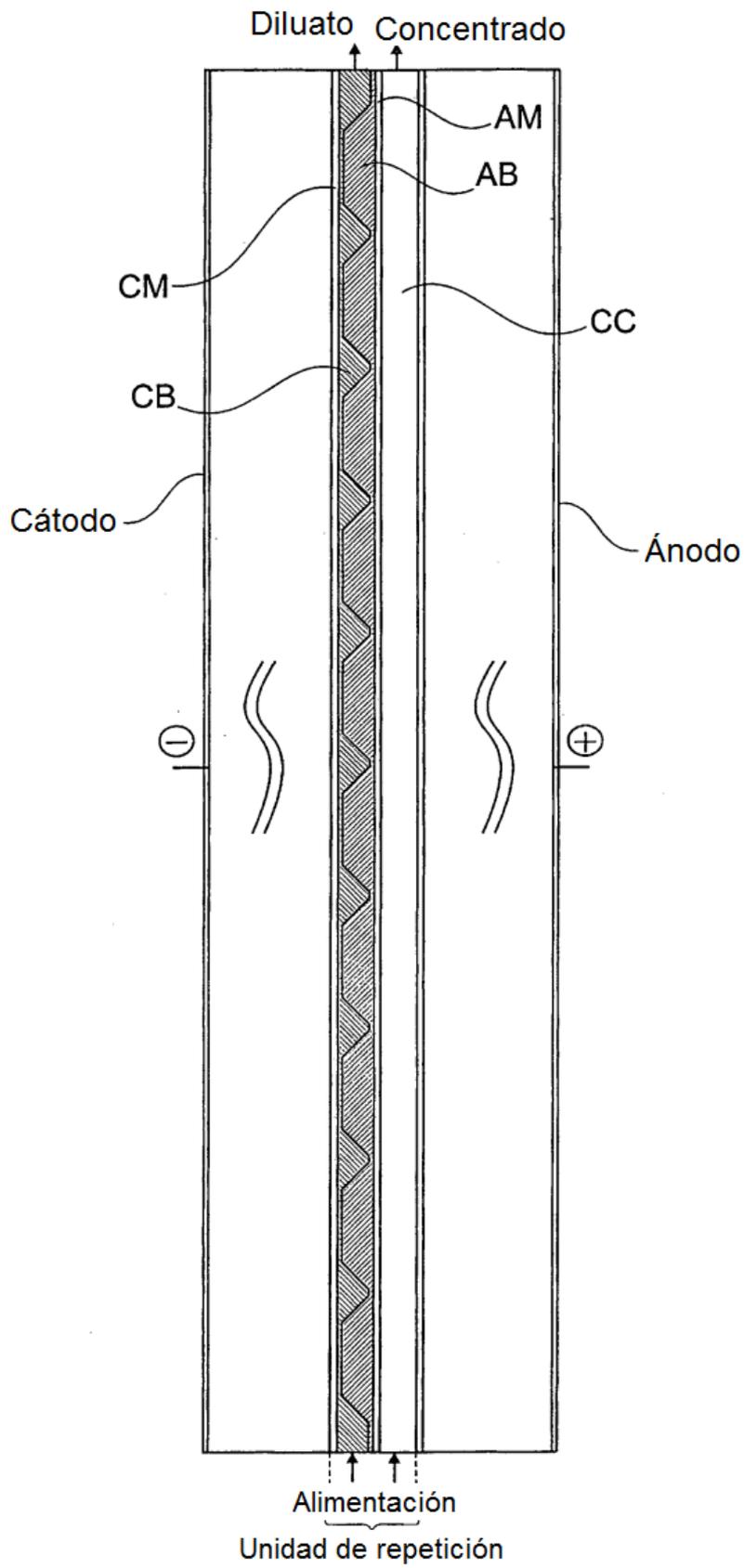


Fig. 1

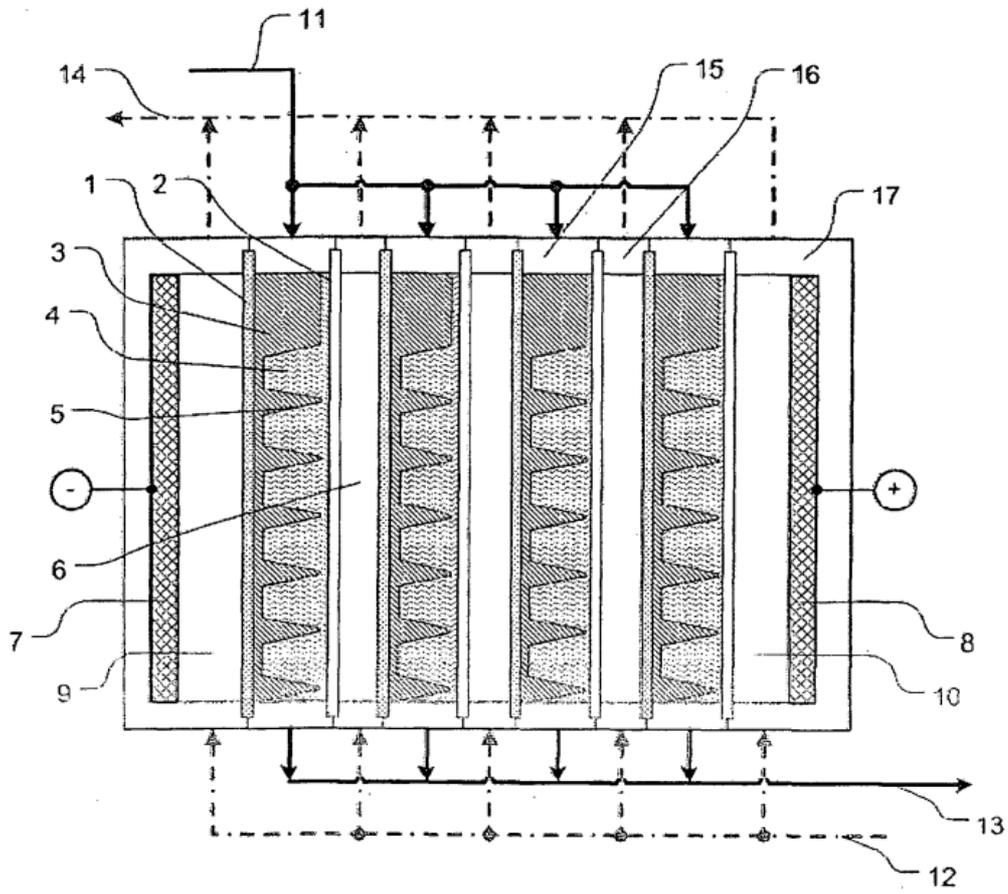


Fig. 2

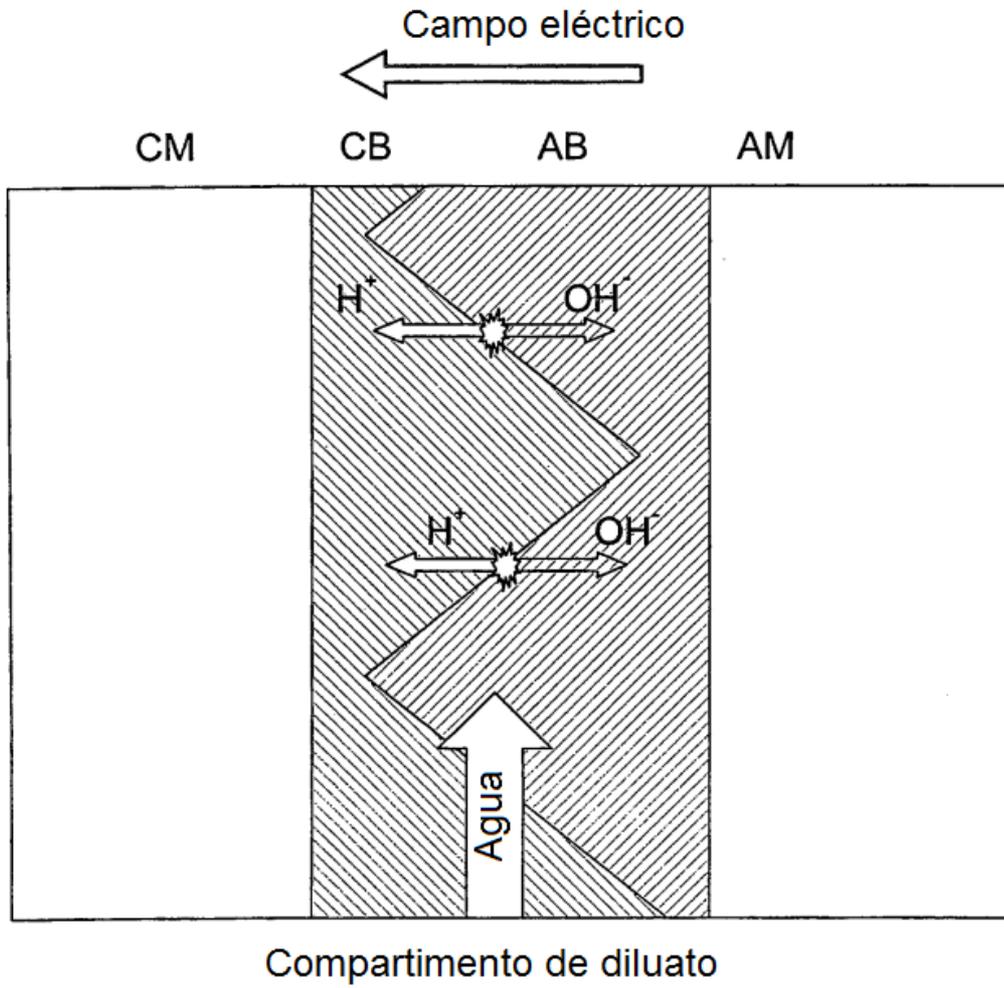


Fig. 3

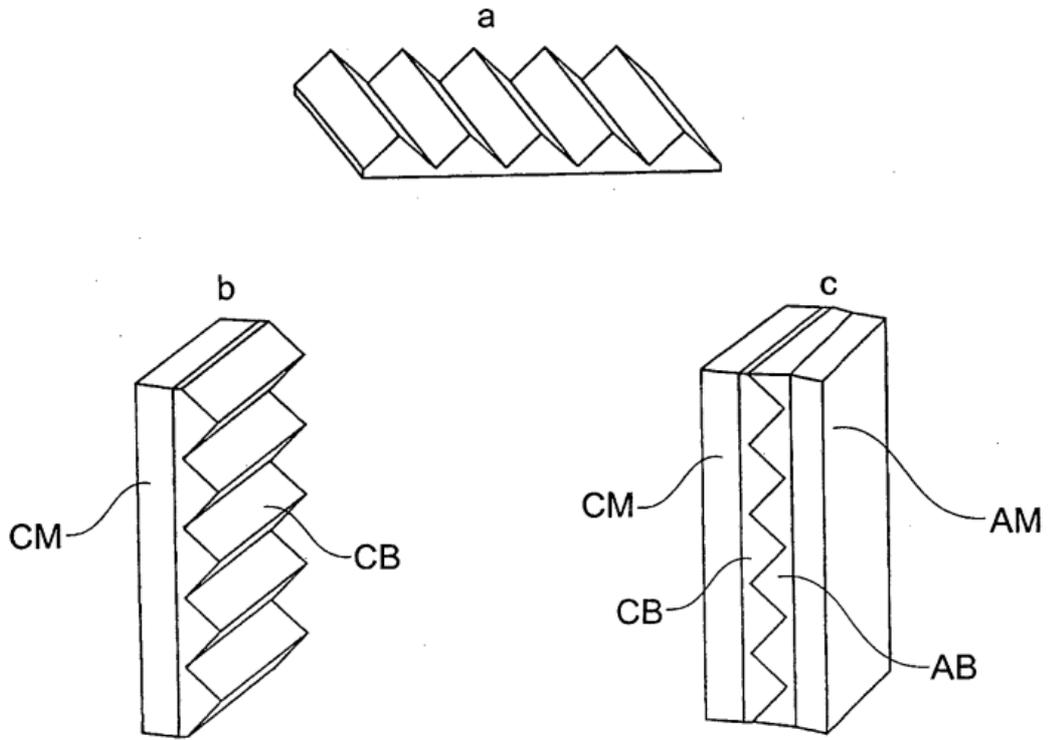


Fig. 4

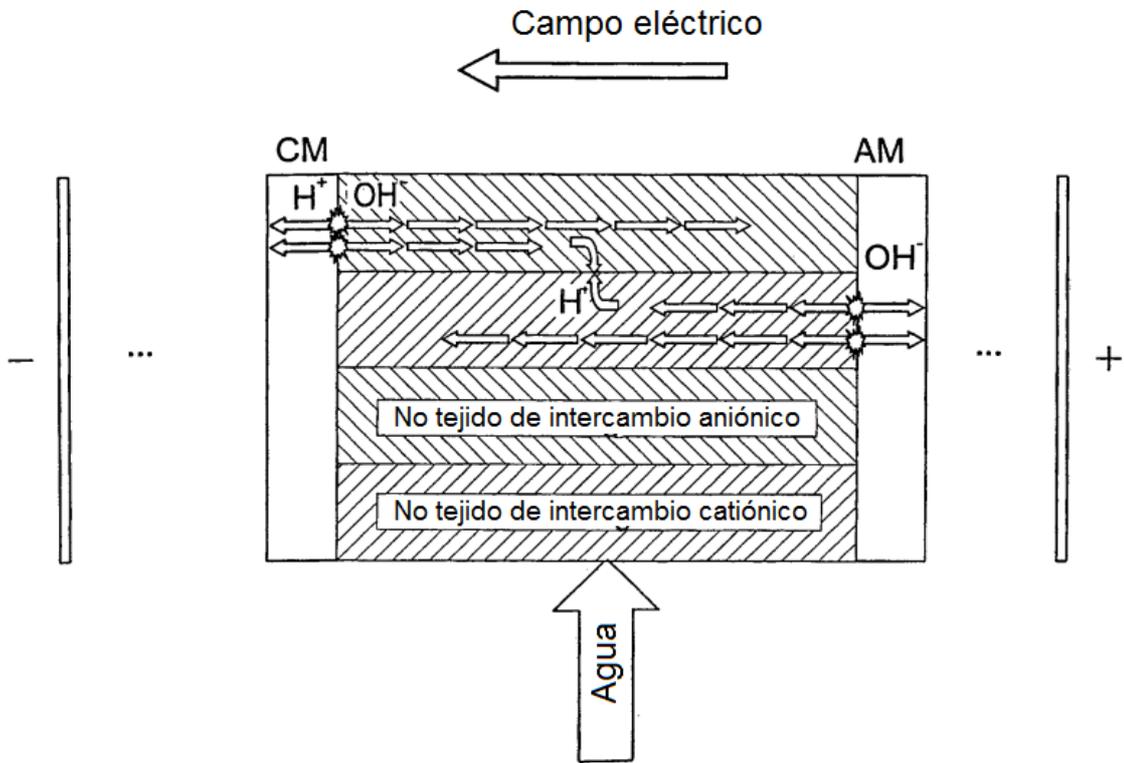


Fig. 5
Técnica anterior

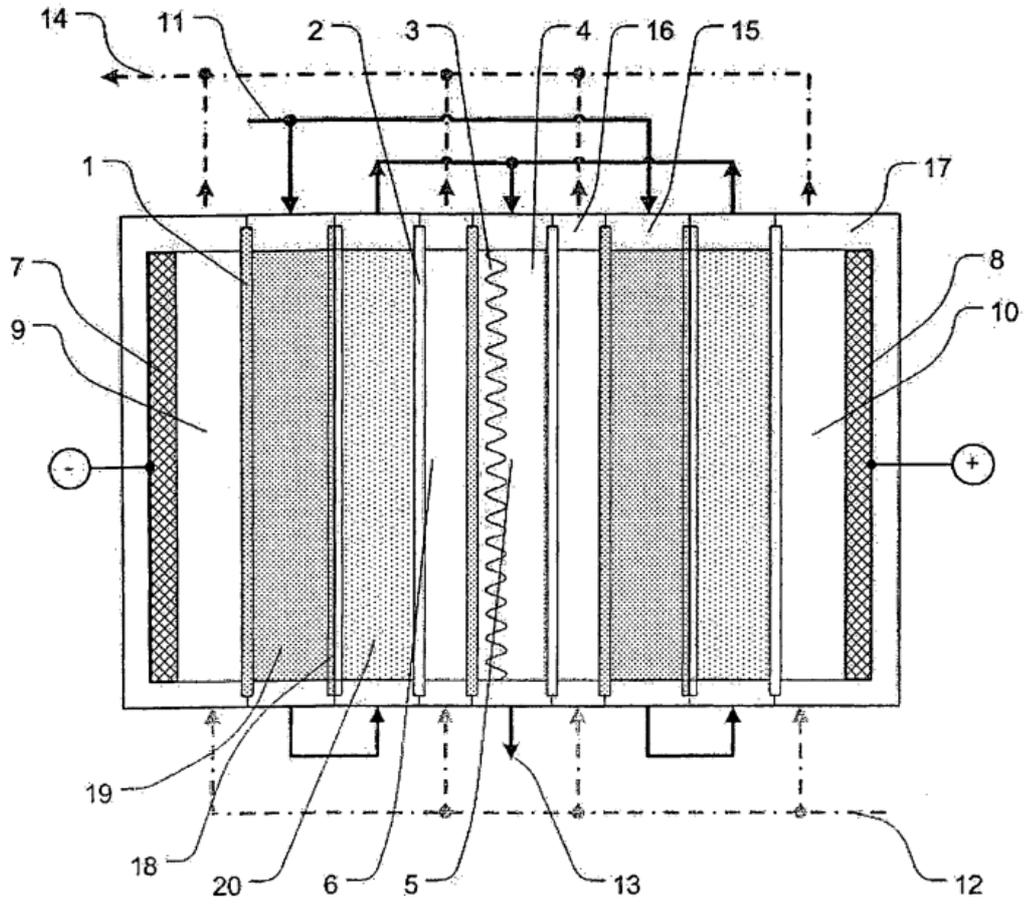


Fig. 6

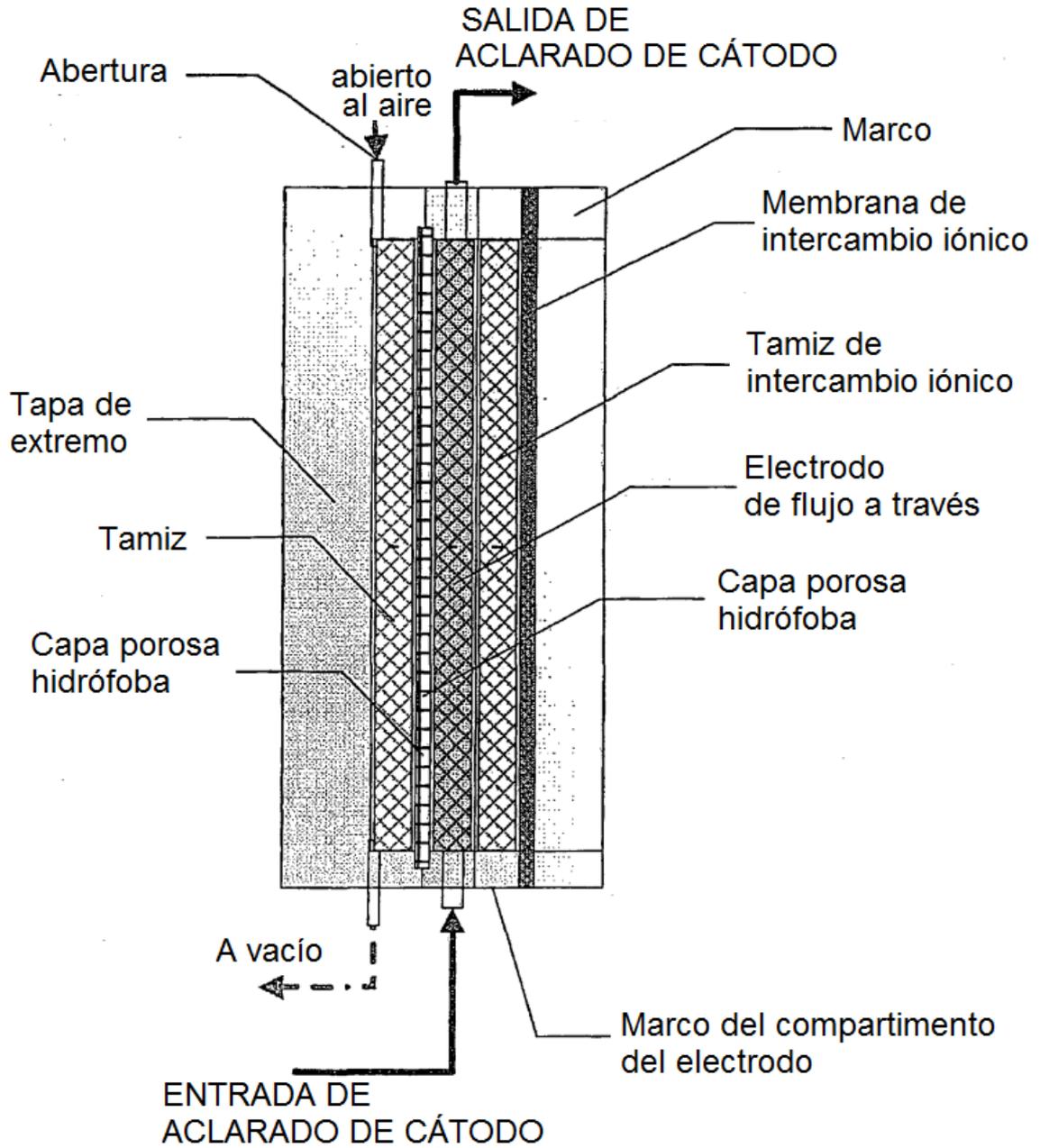


Fig. 7

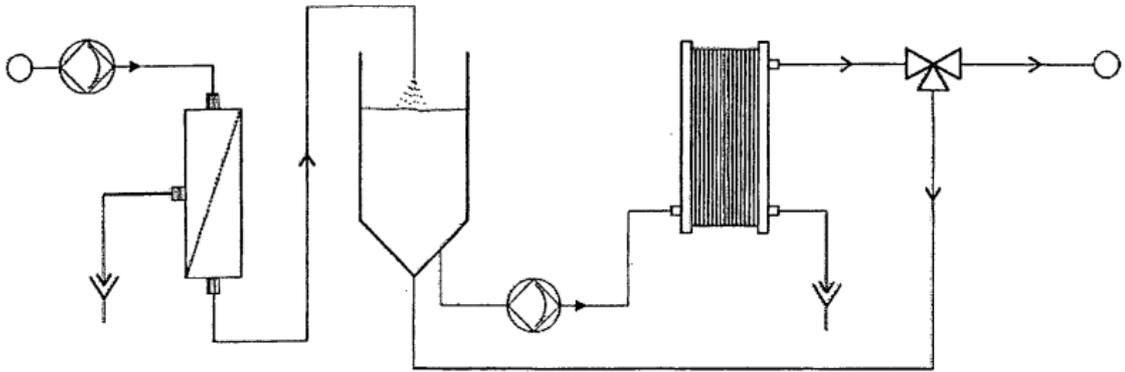


Fig. 8

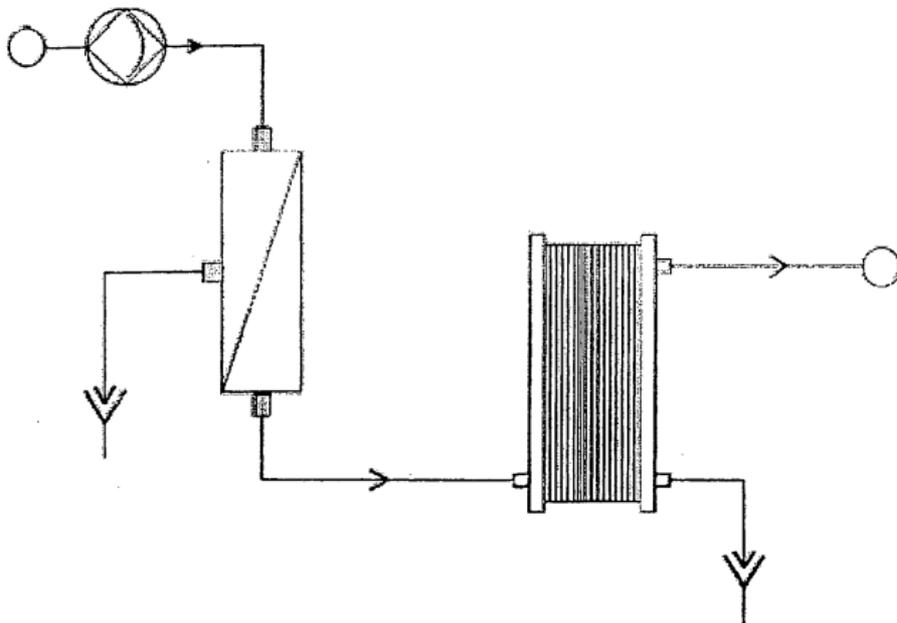


Fig. 9

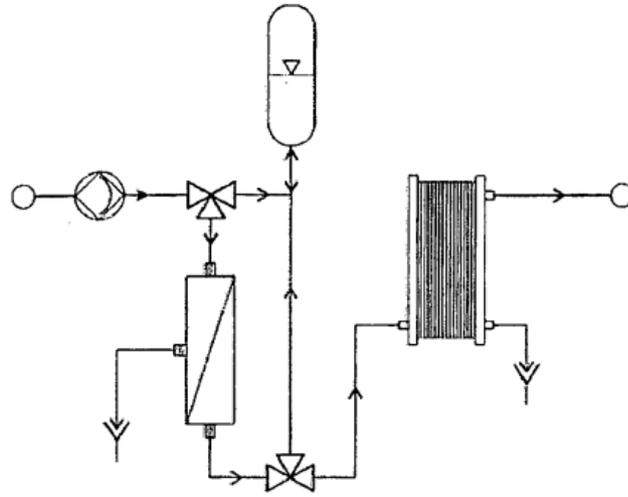


Fig. 10a

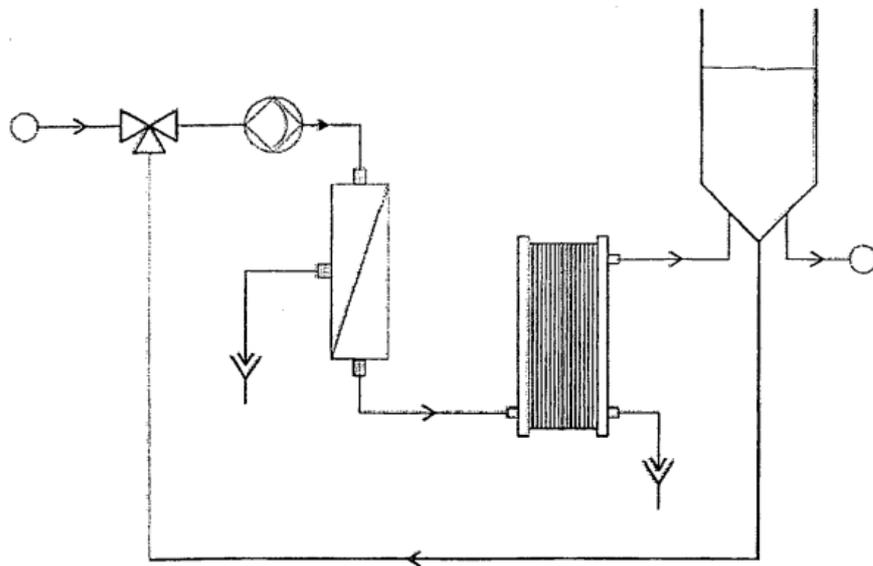


Fig. 10b