

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 387 414**

51 Int. Cl.:  
**B01D 61/54** (2006.01)  
**B01D 61/48** (2006.01)  
**C02F 1/469** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **07761469 .1**  
96 Fecha de presentación: **27.04.2007**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2029262**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **04.03.2009**

54 Título: **Procedimiento y aparato para cambiar la distribución de corriente en sistemas de electrodeionización**

30 Prioridad:  
**02.06.2006 US 445954**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**21.09.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**21.09.2012**

73 Titular/es:  
**GENERAL ELECTRIC COMPANY**  
**1 River Road**  
**Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:  
**BARBER, John**

74 Agente/Representante:  
**Carpintero López, Mario**

ES 2 387 414 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 y aparato para cambiar la distribución de corriente en sistemas de electrodeionización.

**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere en general a un sistema electrodeionización mejorada, y más particularmente, se refiere a un sistema electrodeionización y a procedimiento en el cual se puede alterar la conductividad de las zonas particulares en el lecho de resina para mejorar el proceso de deionización.

**Antecedentes de la invención**

10 Los sistemas de electrodeionización (EDI) se utilizan para eliminar iones de líquidos, especialmente agua. Estos sistemas requieren un suministro de energía que aplica tensión al módulo EDI para refinar agua para procesos industriales de pureza ultra alta para su uso en las industrias de energía, microelectrónica, alimentación, químicas, farmacéuticas, y otras.

15 En los dispositivos de electrodeionización típicos, la corriente eléctrica fluye a través del lecho de resina de intercambio iónico. El lecho de resina está contenido en cada lado, perpendicular a la corriente que fluye, mediante membranas de intercambio iónico. La corriente pasa a través del lecho a través de la migración de iones a través de la solución y las cuentas de intercambio iónico, con la disociación de agua produciéndose en las interfaces anión-cación, cuenta-cuenta y cuenta-membrana. El potencial eléctrico necesario para pasar esta corriente es dependiente de la movilidad de los iones en la fase de intercambio iónico de las cuentas y la membrana, la movilidad de los iones en la solución que rodean las cuentas y el potencial necesario para la disociación del agua.

20 En un dispositivo de electrodeionización, los iones de impurezas se introducen en un extremo del lecho, perpendicular al flujo de corriente aplicada y el agua pura sale en el otro extremo del lecho de intercambio iónico. Esta situación establece un gradiente para los iones de impurezas desde la entrada hasta la salida del lecho, por ejemplo, con un  $\text{NaHCO}_3$  que alimenta el medio de intercambio iónico en la entrada será predominantemente en forma de  $\text{Na}^+$  y  $\text{HCO}_3^-$ , y disminuirá gradualmente en las concentraciones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{HCO}_3^-$  hacia la salida. En la región de salida, el medio de intercambio iónico es predominantemente en forma de  $\text{H}^+$  y  $\text{OH}^-$  regenerado. En un dispositivo de electrodeionización con cámara de disolución mezclada o en capas que procesa un permeado de ósmosis inversa normal, este gradiente en la especiación, desde la entrada a la salida, resulta en la entrada del dispositivo que es menos conductor que la salida debido a las movilidades relativas de  $\text{Na}^+$  y  $\text{HCO}_3^-$  que son mucho menores que las de  $\text{H}^+$  y  $\text{OH}^-$ . En consecuencia, cuando se aplica un potencial constante a través del dispositivo de EDI, la corriente que fluye a la salida es significativamente mayor que la corriente en la entrada.

30 Hay varios factores que se sabe que influyen en la movilidad de los iones en un lecho de medio de intercambio iónico, tales como: (1) la naturaleza de las especies iónicas, es decir, para los cationes,  $\text{H}^+$  vs.  $\text{Na}^+$  vs.  $\text{Ca}^{2+}$ ; (2) la naturaleza del material de intercambio iónico que incluye la reticulación de porcentaje, la concentración de sitios de intercambio iónico, la distribución de los sitios de intercambio iónico, y la estructura de la superficie de las cuentas; (3) la concentración de las especies iónicas; (4) la cantidad de interfaces de anión-cación cuenta-cuenta; (5) la calidad de las interfaces catión-anión cuenta-cuenta; (6) la composición del solvente que se procesa a través del dispositivo; y (7) la temperatura.

40 Es conocida la capacidad del dispositivo de EDI para eliminar los iones de impurezas y, por lo tanto, que producir agua de alta pureza del producto es significativamente dependiente de la distribución de la corriente de regeneración. Se han hecho intentos para modificar la conductividad de las fases intercambio iónico de aniones y cationes de en un dispositivo de EDI para mejorar el rendimiento de la deionización, tales como los descritos en las patentes US 6,284,124 y 6,514,398 de DiMascio et al. Los dispositivos de DiMascio et al. se caracterizan por un compartimento de vaciado de iones que tiene capas alternas de material de resina de intercambio iónico en el que un material dopante se añade a una de las capas para reducir la diferencia en la conductividad entre las capas alternas.

45 Lo que no se enseña o se sugiere mediante la técnica anterior es un dispositivo de EDI mejorado que comprenda al menos un componente resistivo acoplado a la interfaz de cuenta-membrana cerca de la región de salida del dispositivo para aumentar la resistencia eléctrica de la región de salida respecto a la región de entrada del dispositivo de una manera relativamente sencilla y económica, aumentando así la distribución de la corriente en la región de entrada del dispositivo respecto a la región de salida del dispositivo y mejorar el rendimiento deionización global del dispositivo. También sería deseable disponer de un dispositivo de EDI mejorado que sea fácilmente adaptable a una variedad de aplicaciones diferentes.

55 El dispositivo US-A-5891328 divulga un elemento de marco integral monolítico que tiene una porción de membrana semipermeable e integral con el mismo una porción de marco, teniendo la porción de marco una o más cavidades, con cada cavidad yuxtapuesta a la porción de membrana, teniendo cada cavidad al menos un conducto de entrada de fluido que se comunica con una abertura del colector de entrada y al menos un conducto de salida de fluido que se comunica con una abertura del colector de salida. La membrana de marco integral monolítica puede ser utilizada en un aparato para realizar separación de gas; microfiltración; ultrafiltración; nanofiltración; ósmosis inversa (es

decir, hiperfiltración): diálisis de difusión; diálisis Donnan; electrodiálisis (incluyendo electrodiálisis de celda cargada; es decir, electrodeionización); pervaporación; piezo-diálisis; destilación de membrana, ósmosis; termo ósmosis; y electrólisis con membranas.

5 El documento US-B-6274019 divulga el tratamiento de agua mediante el flujo a través de una serie de cámaras de desalinización llenas con resinas de intercambio iónico en las cuales se eliminan los iones de impurezas en el agua de alimentación. Cada cámara de desalinización consiste en una membrana permeable a los cationes en un lado con una membrana permeable a los aniones en el otro lado. El espacio entre las dos membranas está lleno con las resinas de intercambio iónico y hay cámaras de concentración a cada lado de las membranas. Hay una cámara de cátodos o una cámara de ánodos, cada una situada en cada extremo del conjunto de las cámaras de desalinización y de concentración alternas. Al hacer circular el agua de concentrado mientras que se añade ácido al agua de concentrado para mantener su acidez, se impide la deposición de escala dentro de las cámaras de concentración y la cámara de electrodo, de manera que la capacidad de deionización de todo el conjunto puede mantenerse.

15 El documento US-B-6284124 divulga un aparato de electrodeionización que incluye un compartimiento de vaciado de iones en el que están colocadas las capas alternas de un medio electroactivo. Una de las capas alternas está dopada para proporcionar una distribución de corriente más equilibrada a través del aparato.

### **Sumario de la invención**

La presente invención se ha desarrollado en respuesta al estado actual de la técnica y, en particular, en respuesta a los problemas y las necesidades en la técnica que aún no han sido completamente resueltos por los dispositivos de EDI actualmente disponibles. En consecuencia, la presente invención ha sido desarrollada para proporcionar un aparato de electrodeionización (EDI) mejorado que comprende una cámara de dilución de vaciado de iones para la eliminación de iones de líquidos que pasan a su través, en el que al menos un componente resistivo está acoplado próximo a la región de salida de la cámara en una cualquiera o en ambas de las membranas de aniones y cationes adyacentes a la cámara de vaciado de iones. Las funciones de los componentes resistivos para aumentar la resistencia eléctrica a través de la región de salida de la cámara respecto a la región de entrada de la cámara gracias a la resistencia añadida del propio componente resistivo y/o porque el componente resistivo disminuye efectivamente el área de contacto cuenta-membrana. El componente resistivo puede colocarse en cualquiera de los lados de dilución o concentrado (o, alternativamente, en ambos lados) de la(s) membrana(s). Al aumentar la resistencia eléctrica de la región de salida respecto a la región de entrada de la cámara, la mejora se hace en la distribución de corriente eléctrica entre la región de entrada y la región de salida de la cámara, mejorando así el rendimiento de deionización del dispositivo de EDI. Además, mediante la alteración de la forma, el tamaño, la composición y/o la localización del componente resistivo, la distribución de corriente en la cámara de dilución se puede controlar fácilmente, proporcionando así un dispositivo de EDI que es fácilmente adaptable a una variedad de diferentes aplicaciones y condiciones operativas.

La presente invención también se ha desarrollado para proporcionar un procedimiento para mejorar el equilibrio de la corriente en toda la cámara de vaciado de iones que comprende proporcionar membranas selectivas de iones (por ejemplo, membranas de aniones y cationes) en lados opuestos de la cámara de vaciado de iones entre los extremos de entrada y de salida de la cámara y, a continuación, acoplado al menos un componente resistivo a una o ambas de las membranas selectivas de iones próximas a la región de salida (en uno o ambos lados de dilución o concentración) para aumentar la resistencia eléctrica de la región de salida respecto a la región de entrada. En funcionamiento, los líquidos se pasan a través de la cámara de vaciado de iones desde la región de entrada hacia la región de salida, y un campo eléctrico se aplica a través de la cámara transversal a la dirección del flujo de los líquidos. Al menos un componente resistivo está acoplado a una o ambas de las membranas selectivas de iones próximas a la región de salida de la cámara, que resulta en que el porcentaje de corriente eléctrica que fluye a través de la región de salida se reduce, mientras que el porcentaje de la corriente eléctrica que fluye a través de la región de entrada se incrementa, mejorando así el rendimiento total de vaciado de iones del aparato de EDI.

La referencia a lo largo de esta memoria descriptiva a características, ventajas, o lenguaje similar no implica que todas las características y ventajas que pueden realizarse con la presente invención deben estar o están cualquier otra realización única de la invención. Más bien, el lenguaje que se refiere a las características y ventajas se entiende que una característica específica, ventaja, o característica descrita en relación con una realización está incluida en al menos una realización de la presente invención. Por lo tanto, la discusión de las características y las ventajas, y un lenguaje similar, a través de esta memoria puede referirse a la misma realización, pero no necesariamente.

Además, las características, ventajas y características descritas de la invención se pueden combinar de cualquier manera adecuada en una o más realizaciones. El experto en la técnica pertinente reconocerá que la invención puede ser practicada sin una o más de las características o ventajas específicas de una realización particular. En otros casos, las características y las ventajas adicionales pueden reconocerse en ciertas realizaciones que pueden no estar presentes en todas las realizaciones de la invención.

Estas características y ventajas de la presente invención se harán más evidentes a partir de la siguiente descripción y reivindicaciones adjuntas, o pueden aprenderse por la práctica de la invención tal como se establece a

continuación.

### **Breve descripción de los dibujos**

5 Para que las ventajas de la invención puedan entenderse fácilmente, una descripción más particular de la invención brevemente descrita anteriormente se realizará con referencia a realizaciones específicas que se ilustran en los dibujos adjuntos. Entendiendo que estos dibujos representan solamente realizaciones típicas de la invención y, por lo tanto, no deben considerarse que sean limitativas de su alcance, la invención se describirá y explicará con especificidad adicional y detalle mediante el uso de los dibujos adjuntos, en los cuales:

10 La figura 1a es una vista esquemática en sección transversal a través de una cámara de vaciado de iones de acuerdo con una realización de ejemplo de la presente invención, que ilustra una configuración de un componente resistivo acoplado al lado del concentrado de la membrana permeable selectiva de cationes;

La figura 1b es una vista esquemática en sección transversal a través de una cámara de vaciado de iones de acuerdo con una realización de ejemplo de la presente invención, que ilustra otra configuración de un componente resistivo acoplado al lado de dilución de la membrana permeable selectiva de cationes;

15 La figura 1c es una vista esquemática en sección transversal a través de una cámara de vaciado de iones de acuerdo con una realización de ejemplo de la presente invención, que ilustra otra configuración de un componente resistivo acoplado al lado del concentrado de la membrana permeable selectiva de aniones;

La figura 1d es una vista esquemática en sección transversal a través de una cámara de vaciado de iones de acuerdo con una realización de ejemplo de la presente invención, que ilustra otra configuración de un componente resistivo acoplado al lado de dilución de la membrana permeable selectiva de aniones;

20 La figura 2a es una vista esquemática en sección transversal a través de una cámara de vaciado de iones de un dispositivo de electrodeionización (EDI) convencional, que ilustra el porcentaje de distribución de corriente eléctrica en zonas seleccionadas de la cámara; y

25 La figura 2b es una vista esquemática en sección transversal a través de una cámara de vaciado de iones de un dispositivo de electrodeionización (EDI) configurado de acuerdo con una realización de ejemplo de la presente invención, que ilustra el porcentaje distribución de corriente mejorado en zonas seleccionadas de la cámara en comparación con la configuración de la figura 2a.

### **Descripción**

30 A los efectos de facilitar la comprensión de los principios de la invención, se hará ahora referencia a las realizaciones de ejemplo ilustradas en los dibujos, y un lenguaje específico se utilizará para describir la misma. No obstante, se comprenderá que no se pretende con ello ninguna limitación del alcance de la invención. Cualesquiera alteraciones y modificaciones adicionales de las características de la invención se ilustran aquí, y cualesquiera aplicaciones adicionales de los principios de la invención tal como aquí se ilustran, que se le podrían ocurrir a un experto en la técnica pertinente y que tienen posesión de esta descripción, se consideran dentro del alcance de la invención.

35 Referencia en toda esta memoria a "una realización" o un lenguaje similar significa que una característica o estructura particular descrita en relación con la realización está incluida en al menos una realización de la presente invención. Por lo tanto, las apariciones de la frase "una realización" o un lenguaje similar en toda esta memoria pueden referirse a la misma realización, pero no necesariamente.

40 La presente invención describe un dispositivo de electrodeionización (EDI) mejorado que comprende medios mediante los cuales la conductividad de cualquier zona particular dentro del lecho de resina de la cámara de deionización puede alterarse para mejorar el proceso de deionización global.

45 Se ha encontrado que la distribución de corriente a través de la cámara de deionización impacta en la profundidad de penetración de los iones de impurezas en el lecho de resina, dando lugar a que exista una distribución óptima de corriente a través del lecho de resina que minimiza esta profundidad de penetración para un diseño de dispositivo de EDI dado, en una corriente global elegida.

50 La presente invención proporciona así un dispositivo y un procedimiento de electrodeionización (EDI) mejorados en los cuales la conductividad de cualquier zona particular en un lecho de resina puede alterarse para mejorar el proceso de deionización. En una realización de ejemplo, la presente invención proporciona una distribución de corriente eléctrica más uniforme a través del lecho de resina mediante la adición de un componente resistivo entre la membrana y las cuentas en cualquiera de las cámaras de dilución o concentración. El material elegido para el componente resistivo en las realizaciones de ejemplo fue un material de malla de polímero, aunque se entiende que muchos otros materiales podrían ser utilizados para proporcionar una capa de partículas sustancialmente no conductoras adyacente a la interfaz cuenta-membrana próxima a la región de salida de la cámara de vaciado de iones para lograr resultados iguales o similares. Por ejemplo, se contempla que una capa de cuentas de resina

resistivas u otro material de resina se podrían proporcionar adyacentes a la interfaz de cuenta-membrana próxima a la región de salida para aumentar la resistencia de la región de salida. También se entiende que el componente resistivo podría configurarse como un espaciador adaptado para disminuir eficazmente el área de contacto cuenta-membrana próxima a la región de salida, aumentando así la resistencia de la región de salida respecto a la región de entrada. Además de las realizaciones de ejemplo aquí descritas, los expertos en la técnica apreciarán que el componente resistivo puede adoptar muchas formas y composiciones diferentes, mientras funcione para aumentar la resistencia de la región de salida de la cámara respecto a la región de entrada cuando se coloca adyacente a la interfaz cuenta-membrana en la proximidad de la región de salida. La presente invención también se caracteriza en que la resistencia de zonas particulares dentro del lecho puede controlarse por la forma y el tamaño del componente resistivo, por ejemplo, cambiando la apertura de la malla, el espesor de la malla, y la fracción de la cámara que contiene la malla y el número de piezas de malla/par de celda.

Los conceptos de la presente invención pueden entenderse mejor mediante el reconocimiento de que la conductividad de una zona particular en el lecho de intercambio iónico pueden verse afectada por al menos algunas de las siguientes maneras: (1) la adición de un componente resistivo entre la membrana y las cuentas en cualquiera de las cámaras de dilución o concentración (en las realizaciones de ejemplo aquí descritas, el material elegido para la componente resistivo era una malla de polímero); (2) la adición de un componente resistivo en el lecho de intercambio iónico, entre las interfaces cuenta-cuenta en la cámara de dilución o concentración (esto se ha demostrado utilizando un polímero fundido que dio un revestimiento parcial de la cuenta); (3) el aumento o la reducción de la presión de contacto de las cuentas en el lecho de resina (esto se logra más fácilmente mediante la variación de la masa del material de intercambio iónico por unidad de volumen en una zona particular del lecho); y (4) el aumento o la reducción del número de puntos de contacto de intercambio iónico catión/anión (esto se puede conseguir con la utilización de patrones de cuentas de intercambio iónico o mediante ajustes de la relación de intercambio iónico catión/anión).

De acuerdo con una realización de ejemplo de la presente invención, una malla de polímero se ha colocado en la superficie de las membranas. Esta malla restringe el área de contacto cuenta-membrana en la interfaz cuenta-membrana (aumentando así la resistencia eléctrica), y se puede colocar en el lado de dilución o de concentración de la membrana. Por consiguiente, aumenta la resistencia en la cámara, y la resistencia de las zonas particulares dentro del lecho se puede controlar mediante la forma, el tamaño y la composición de la malla, incluyendo pero no limitado a la apertura de la malla, el espesor de la malla, la fracción de la cámara que contiene la malla y el número de piezas de malla/par de celdas. Tal como se ilustra en más detalle en el Ejemplo 1 a continuación, la colocación de la malla de polímero cerca de la región de salida de la membrana catiónica (el lado de concentración o de dilución) cambia efectivamente un porcentaje fraccional de la corriente eléctrica que fluye a través de la cámara de deionización hacia la región de entrada de la cámara, mejorando así el rendimiento global de deionización.

Volviendo ahora a las figuras 1a-1d que ilustran realizaciones de ejemplo de la presente invención, se muestra un módulo 10 de electrodeionización (EDI) de flujo a través que incluye una cámara de dilución 20 de vaciado de iones situada entre las cámaras de concentración 21. Para facilitar la ilustración, se muestra una sola cámara de dilución 20 rodeada por un par de cámaras de concentración 21. Sin embargo, se entiende que la presente invención también puede ponerse en práctica con un dispositivo de EDI que comprende uno o más módulos de pares de celdas alternas de dilución/concentración dispuestas entre el ánodo 14 y el cátodo 12 de una manera conocida en la técnica sin apartarse del alcance más amplio de la presente invención.

Refiriéndonos de nuevo a las figuras 1a-1d, las membranas selectivas de cationes 22 y las membranas selectivas de aniones 24 están colocadas en lados opuestos periféricos de la cámara de dilución 20. A su vez, un ánodo 14 y un cátodo 12 están dispuestos en los extremos opuestos del módulo 10 para suministrar una tensión transversalmente a través de por lo menos una de las cámaras de dilución y de concentración 20, 21. Típicamente, las cámaras 20, 21 pueden estar llenas de cuentas de resina electroactivas (no mostradas) para facilitar el intercambio iónico de una manera conocida en la técnica. Los fluidos se dirige hacia la entrada (es decir, la parte inferior de la figura) de la cámara de dilución 20 en la dirección indicada por las flechas de dirección de flujo de dilución. A su vez, el fluido purificado sale por la salida (es decir, la parte superior de la figura) de la cámara de dilución 20.

Las figuras 1a-1d ilustran realizaciones de ejemplo de la presente invención, en las cuales un componente resistivo 32 está dispuesto próximo a la región de salida de la cámara de dilución 20. Para los propósitos de las realizaciones de ejemplo aquí descritas, el componente resistivo 32 elegido para la experimentación era una malla de polímero que tiene una longitud L predeterminada y un espesor W de estructura de superficie. Preferiblemente, la longitud L del componente resistivo 32 comprende aproximadamente un 50 por ciento de la longitud total de la longitud de la cámara, aunque se entiende que las longitudes fraccionarias mayores o menores del 50 por ciento pueden ser utilizadas sin apartarse del alcance más amplio de la presente invención, siempre que el componente resistivo esté dispuesto en proximidad a la región de salida de la cámara, independientemente de si la porción del componente resistivo también cubre una porción de la región de entrada. Además, también se contempla que varios espesores y/o estructuras de superficie (es decir, la densidad de la malla, la apertura) para el componente resistivo 32 se puedan usar en conjunción con piezas de longitudes variables situadas en diversos lugares adyacentes a la interfaz cuenta-membrana próxima a la región de salida para lograr los resultados deseados. Además, tal como se ha descrito anteriormente, se entiende que componentes de tipo resistivo sin malla 32, tales como láminas de película o cualquier otro material adecuado adaptado para proporcionar una capa de partículas sustancialmente no

conductoras también puede ser utilizado de acuerdo con la presente invención, y que varias piezas de diferentes longitudes pueden colocarse estratégicamente en varios lugares en una o ambas de las membranas selectivas de iones 22, 24 (en cualquiera de los lados de dilución o concentración de las membranas) para alterar la conductividad de las zonas predeterminadas dentro de la cámara de dilución 20 sin apartarse del amplio alcance de la presente invención.

En una realización ilustrada en la figura 1a, el componente resistivo 32 está colocado en la mitad de salida de la membrana catiónica 22 en el lado de concentración de la membrana 22. Alternativamente, el componente resistivo 32 se puede colocar en el lado de dilución de la membrana catiónica 22 tal como se muestra en la figura 1b. En otras realizaciones de ejemplo ilustradas en las figuras 1c y 1d, el componente resistivo 32 se muestra colocado en la mitad de salida de la membrana aniónica 24 en el lado de concentración (figura 1c) o en el lado de dilución (figura 1d). También se entiende que varias combinaciones y permutaciones de las realizaciones ilustradas de ejemplo se pueden emplear sin apartarse del alcance más amplio y del espíritu de la presente invención.

Además, en cualquiera de las realizaciones aquí descritas, la presente invención puede llevarse a cabo mediante la adición de un componente resistivo en el lecho de intercambio iónico próximo a la región de salida entre las interfaces cuenta-cuenta en cualquiera de las cámaras de dilución o concentración. Esto ha sido demostrado utilizando un polímero fundido que dio un revestimiento de las cuentas parcial, con resultados son que la interfaz cuenta-cuenta entre las cuentas disminuye, aumentando así la resistencia eléctrica entre las cuentas, y concomitantemente aumentando la resistencia eléctrica de la región de salida respecto a la región de entrada. Además de las cuentas de intercambio de iones, también se contempla que la presente invención pudiera practicarse mediante la colocación de un componente resistivo entre otros tipos de partículas de medios de intercambio de iones tales como fibra de intercambio de iones o partículas de película próximas a la región de salida para aumentar la resistencia eléctrica de la región de salida respecto a la región de entrada. Además, en cualquiera de las realizaciones aquí descritas, la conductividad del lecho de intercambio iónico se puede alterar mediante la variación de la masa del material de intercambio iónico por unidad de volumen en una zona particular del lecho para aumentar o reducir la presión de contacto de las cuentas y/o partículas.

En funcionamiento, un líquido que debe purificarse se alimenta en la región de entrada de la cámara de dilución 20 en la dirección indicada por las flechas de dirección de flujo de dilución. A su vez, el agua purificada luego sale de la región de salida de la cámara 20. Un campo eléctrico se aplica a través del ánodo 14 y del cátodo 12 en los extremos opuestos del módulo 10, en el que la corriente eléctrica pasa perpendicularmente a la dirección de flujo de fluido en una manera conocida en la técnica, de tal manera que los componentes catiónicos y aniónicos disueltos migran desde las cuentas de resina de intercambio iónico u otra fibra de intercambio iónico o partículas de película (no mostradas) en la dirección de sus electrodos 12, 14 correspondientes. Los componentes catiónicos migran a través de la membrana permeable de cationes en el cátodo 22 adyacente hacia cámara de concentración de iones 21. El proceso para los componentes aniónicos es similar, pero se produce en la dirección opuesta, en la que los componentes aniónicos migran a través de la membrana permeable de aniones 24 en el ánodo hacia la cámara de concentración de iones 21. De esta manera, los componentes iónicos se vacían del fluido que fluye a través de la cámara de dilución 20, formando de este modo una corriente de fluido de alta pureza que sale en la región de salida de la cámara de dilución 20.

El siguiente ejemplo también ilustra la amplia aplicabilidad de la presente invención, y no debe considerarse como limitativo del alcance de la invención.

### Ejemplo 1

Una solución acuosa que contiene  $\text{NaHCO}_3$  con una concentración de aniones intercambiables totales (TEA) de 20 ppm como  $\text{CaCO}_3$  que también contiene 250 ppb de  $\text{SiO}_2$  se suministró a través de un módulo de EDI convencional tal como se muestra en la figura 2A. En este Ejemplo 1, el fluido que sale de la cámara de dilución 20 se encontró que incluía aproximadamente 15-18 ppb de  $\text{SiO}_2$  restante. La distribución de la corriente en las zonas 1-4, según lo determinado por toda la cámara de dilución 20 se muestra en la figura 2A, en la que la distribución de la corriente fue la siguiente: Zona 1 = 11%; Zona 2 = 18%; Zona 3 = 30%; y Zona 4 = 41%. Por consiguiente, es evidente que aproximadamente el 71% de la corriente se encuentra próxima a la mitad de salida de la cámara de dilución (es decir, las Zonas 3 y 4) en comparación con aproximadamente el 29% que está situado próximo a la mitad de entrada de la cámara de dilución (es decir, las Zonas 1 y 2). Este desequilibrio de la distribución de corriente hacia la región de salida de la cámara de dilución indica que un alto porcentaje de la longitud de flujo a través de la cámara de dilución se dedica a la eliminación de las especies muy ionizadas, mientras que la porción de la longitud de flujo alrededor de la región de salida que está siendo utilizada para eliminar las especies débilmente ionizadas, es decir,  $\text{SiO}_2$ .

En comparación, el módulo de EDI configurado de acuerdo con la presente invención que incluye el componente resistivo 32 colocado cerca de la región de salida de la cámara 20 se muestra que tiene la distribución de la corriente efectivamente alterada a lo largo de las zonas 1-4 de la cámara de dilución tal como se muestra en la figura 2B. Aquí, es evidente que la distribución de corriente es más equilibrada a lo largo de toda la cámara, en la que la distribución de la corriente fue la siguiente: Zona 1 = 17%; Zona 2 = 33%, Zona 3 = 24%; y Zona 4 = 26%. Por consiguiente, es evidente que la distribución de la corriente es más equilibrada entre las regiones de entrada y de

5 salida de la cámara de dilución 20, en la que aproximadamente el 50% de la corriente se distribuye en las Zonas 1 y 2 (es decir, la región de entrada) y aproximadamente el 50% se distribuye en las Zonas 3 y 4 (es decir, la región de salida). Debido a la distribución mejorada de la corriente, el fluido que sale del lado de salida de la cámara de dilución 20 se encontró que comprende una cantidad reducida de aproximadamente 5-6 ppb de SiO<sub>2</sub> restante. Por lo tanto, el dispositivo de EDI configurado con un componente resistivo 32 de acuerdo con la presente invención mejoró efectivamente la distribución de corriente en toda la cámara de dilución 20, con lo que resulta que el contenido de SiO<sub>2</sub> del fluido que sale del dispositivo se redujo desde aproximadamente 15-18 ppb a aproximadamente 5-6 ppb. Estos resultados muestran que el componente resistivo de malla 32 configurado de acuerdo con la presente invención ha sido utilizado con éxito para cambiar la corriente hacia la región de entrada (Zonas 1 y 2), mejorando así el rendimiento de deionización global.

10 Tal como se muestra en las figuras 2a y 2b, la eficacia del dispositivo de EDI, que ha sido configurado de acuerdo con la presente invención con un componente resistivo 32 (tal como se muestra en la figura 2b) se evaluó respecto a un dispositivo de EDI convencional que no comprende un componente resistivo (tal como se muestra en la figura 2a). Para los propósitos de este Ejemplo 1, el componente resistivo 32 se colocó en el lado de dilución de la membrana catiónica 22 en la mitad de salida de la cámara, aunque se entiende que el componente resistivo 32 podría colocarse en cualquier lado de la membrana de cationes o aniones próxima a la mitad de salida de la cámara para lograr los mismos resultados o similares. El componente resistivo 32 era una malla de polímero que tiene una longitud que cubre aproximadamente el 50 por ciento de la longitud total de la cámara de dilución 20, aunque longitudes fraccionarias mayores o menores del 50 por ciento también podrían utilizarse sin apartarse del alcance más amplio de la invención. Tal como puede verse a partir de los porcentajes de distribución de la corriente en las Zonas 1-4 de la cámara de dilución 20 de la figura 2b, es evidente que el componente resistivo 32 aumenta efectivamente la resistencia de la región de salida de la cámara 20, restringiendo el área de contacto cuenta-membrana en la interfaz cámara de dilución 20/membrana de cationes 22. En consecuencia, tal como se evidencia a partir de una comparación de los porcentajes de distribución de corriente en las Zonas 1-4 de la figura 2a y la figura 2b, la distribución porcentual de corriente en la mitad de entrada (es decir, las Zonas 1, 2) de la cámara ha incrementado, mientras que la distribución porcentual de corriente en la mitad de salida (es decir, las Zonas 3, 4) ha disminuido debido a la mayor resistencia en la mitad de salida atribuible al componente resistivo 32. En consecuencia, un mayor porcentaje de la corriente en la región de entrada mejora el rendimiento global de deionización tal como se muestra para los resultados del Ejemplo 1, en el que el contenido de SiO<sub>2</sub> del fluido que sale del dispositivo se redujo desde aproximadamente 15-18 ppb a aproximadamente 5-6 ppb.

Aunque la descripción se ha ilustrado y descrito en las realizaciones de ejemplo típicas, no se pretende estar limitado a los detalles mostrados, ya que varias modificaciones y sustituciones se pueden hacer dentro del alcance de la descripción tal como se define mediante las siguientes reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Dispositivo de electrodeionización (10) para la eliminación de iones de líquidos que pasan a su través, que comprende:
- 5 al menos una cámara de dilución (20) que tiene una región de entrada y una región de salida dispuestas entre membranas permeables (22, 24) selectivas de iones y que contienen material de intercambio iónico;
- al menos una cámara de concentración (21) colocada adyacente a por lo menos una de dichas membranas permeables selectivas de iones;
- 10 al menos un componente resistivo (32) acoplado a dicha al menos una membrana permeable selectiva de iones próxima a dicha región de salida para aumentar la resistencia eléctrica de dicha región de salida con relación a dicha región de entrada, para aumentar así la distribución de corriente en dicha región de entrada.
2. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que una de dichas membranas permeables selectivas de iones es una membrana aniónica (24) y la otra de dicha membrana permeable selectiva de iones es una membrana catiónica (22).
3. Dispositivo según la reivindicación 2, en el que dicho al menos un componente resistivo (32) comprende un material de malla de polímero.
- 15 4. Dispositivo según la reivindicación 2, en el que dicho al menos un componente resistivo (32) comprende un material de resina de cuentas.
5. Dispositivo según la reivindicación 2, en el que dicho al menos un componente resistivo (32) está acoplado entre dicha membrana de aniones y dicha de cámara de dilución (20).
- 20 6. Dispositivo según la reivindicación 2, en el que dicho al menos un componente resistivo (32) está acoplado entre dicha membrana aniónica y dicha cámara de concentración (21).
7. Dispositivo según la reivindicación 2, en el que dicho al menos un componente resistivo (32) está acoplado entre dicha membrana catiónica y dicha cámara de dilución (20).
8. Dispositivo según la reivindicación 2, en el que dicho al menos un componente resistivo (32) está acoplado entre dicha membrana catiónica y dicha cámara de concentración (21).
- 25 9. Procedimiento para la eliminación de iones de líquidos en un dispositivo de electrodeionización, que comprende:
- proporcionar al menos una cámara de dilución (20) que tiene una región de entrada y una región de salida dispuestas entre membranas permeables selectivas de iones (22, 24) y que contienen material de intercambio iónico;
- 30 proporcionar al menos una cámara de concentración (21) situada adyacente a por lo menos una de dichas membranas permeables selectivas de iones (22, 24);
- acoplar al menos un componente resistivo (32) a dicho al menos una membrana permeable selectiva de iones próxima a dicha región de salida para aumentar la resistencia eléctrica de dicha región de salida respecto a dicha región de entrada;
- 35 pasar los líquidos a través de dicha cámara de dilución (20) desde dicha región de entrada a dicha región de salida; y
- aplicar un campo eléctrico a través de dicha cámara de dilución (20) transversal a una dirección de flujo de dichos líquidos, en el que dicho al menos un componente resistivo (32) aumenta una distribución de corriente eléctrica que fluye a través de dicha región de entrada con relación a dicha región de salida, para aumentar así la distribución de corriente en dicha región de entrada.
- 40 10. Procedimiento según la reivindicación 9, en el que dicho componente resistivo (32) comprende un material de malla de polímero, también comprendiendo dicho procedimiento la etapa de controlar la magnitud de dicho aumento en la resistencia eléctrica variando la apertura de dicha malla, variando el espesor de dicha malla, variando la longitud de dicha malla, variando la posición de dicha malla, variando la cantidad de dichas mallas, o mediante combinaciones de los mismos.
- 45 11. Procedimiento según la reivindicación 9, en el que dicho componente resistivo (32) comprende un material de resina de cuentas.
12. Procedimiento según la reivindicación 9, en el que una de dichas membranas permeables selectivas de iones (24) es una membrana aniónica y dicha otra membrana permeable selectiva de iones es una membrana catiónica (22).
- 50

13. Procedimiento según la reivindicación 12, en el que dicho al menos un componente resistivo (32) está acoplado entre dicha membrana aniónica (24) y dicha cámara de dilución (20) o entre dicha membrana aniónica (32) y dicha cámara de concentración (21).

5 14. Procedimiento según la reivindicación 12, en el que dicho al menos un componente resistivo (32) está acoplado entre dicha membrana catiónica (22) y dicha cámara de dilución (20) o entre dicha membrana catiónica (22) y dicha cámara de concentración (21).





