

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 473 599**

51 Int. Cl.:

B01D 63/10 (2006.01)
B01D 61/44 (2006.01)
B01D 65/00 (2006.01)
C02F 1/469 (2006.01)
B01D 35/30 (2006.01)
B01D 69/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.07.2005 E 05775536 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.05.2014 EP 1768768**

54 Título: **Membranas bipolares texturadas para dispositivo electroquímico de intercambio iónico**

30 Prioridad:

26.07.2004 US 900256

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

07.07.2014

73 Titular/es:

**PIONETICS CORPORATION (100.0%)
151 OLD COUNTRY ROAD
SAN CARLOS CA 94070, US**

72 Inventor/es:

**HAWKINS, JOHN;
NYBERG, ERIC;
HOLMES, JAMES CRAWFORD;
KAYSER, GEORGE;
SCHOENSTEIN, PAUL y
JANAH, ASHOK**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 473 599 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

Membranas bipolares texturadas para dispositivo electroquímico de intercambio iónico

Antecedentes

5 Las realizaciones de la presente invención se refieren a una membrana texturada de disociación del agua y a un procedimiento de fabricación de una célula de intercambio iónico.

10 Las células de intercambio iónico se usan para eliminar o sustituir iones en disoluciones, por ejemplo en la producción de agua de gran pureza por desionización, en el tratamiento de aguas residuales y en la sustitución selectiva de iones en disolución. Los materiales de intercambio iónico incluyen materiales de intercambio de cationes y aniones que contienen iones sustituibles o que reaccionan químicamente con iones específicos de una corriente de disolución, para intercambiar cationes o aniones, respectivamente. Una célula convencional típica de intercambio iónico comprende perlas de resina de intercambio iónico que llenan columnas y se hace pasar por la columna una corriente de disolución a ser tratada. Los iones de la disolución son eliminados o sustituidos por el material del intercambio iónico, y de la salida de la columna emergen la disolución producto o desechos. Cuando el material de intercambio iónico se ve abrumado con iones procedentes de la disolución, las perlas son regeneradas con una disolución adecuada. Por ejemplo, el documento WO 02/14224 A1, de Carson et al., da a conocer una célula de electrodiálisis que comprende membranas enrolladas en espiral de intercambio monopolar de aniones y cationes. Las resinas de intercambio de cationes se regeneran comúnmente usando disoluciones ácidas o salmuera (por ejemplo, para descalcificadoras), y lo más común es que las resinas de intercambio de aniones se regeneren con disoluciones o salmueras básicas.

20 El intercambio electroquímico de iones usa una membrana de intercambio iónico de disociación del agua (denominada también membrana bipolar, doble o laminar) colocada entre dos electrodos enfrentados con un separador dieléctrico entre las membranas, según se describe, por ejemplo, en la patente estadounidense, transferida legalmente, nº 5.788.826 (Nyberg). Como ejemplo adicional, el documento US 6.103.078, de Hitchems et al., enseña membranas bipolares que tienen pasos internos para promover el paso del agua. Las membranas de disociación del agua tienen tanto una capa de intercambio de cationes como una capa de intercambio de aniones. Cuando se aplica un campo eléctrico suficientemente intenso a través de la membrana aplicando una tensión a los dos electrodos, el agua se disocia o se “separa” irreversiblemente en los iones componentes H^+ y OH^- en el límite entre las capas de intercambio de cationes y de aniones. Los iones H^+ y OH^- resultantes migran y se difunden por las capas de intercambio iónico en la dirección del electrodo que tiene polaridad opuesta (por ejemplo, H^+ migra al electrodo negativo). Durante la etapa de regeneración, los iones H^+ y OH^- formados en la superficie de contacto de la membrana causan el rechazo de los cationes y los aniones quitados en una etapa previa de desionización, volviendo a formar las formas ácida y básica de los materiales de intercambio de cationes y aniones. La regeneración eléctrica evita así el uso, y los posteriores problemas de eliminación, de productos químicos peligrosos que se usan para regenerar las perlas convencionales de intercambio iónico.

35 Las membranas de intercambio iónico de la técnica anterior son normalmente lisas y planas, y, a menudo, también tienen un grosor uniforme en sección transversal para minimizar las variaciones en las densidades de la corriente entre las membranas en células electroquímicas. Normalmente, también se coloca un separador dieléctrico separado, tal como un material reticular plástico, entre las membranas para mantener las membranas a una distancia mutua uniforme para reducir adicionalmente la variación de la densidad de la corriente y mantener coherentes las velocidades de transporte de masas y las caídas de presión en el espacio entre las membranas. Se mantiene uniforme el grosor de las membranas para proporcionar una separación constante entre las membranas de intercambio iónico para generar densidades uniformes de corriente entre las superficies de las membranas. Pueden usarse diversos procedimientos para mantener un grosor uniforme de la membrana. La membrana también debería ser plana y lisa para facilitar el lavado a contracorriente de las resinas de intercambio iónico en dispositivos de electrodesionización, así como la sustitución periódica de estas resinas. Que las membranas tengan una superficie llana lisa también reduce la caída de presión entre membranas adyacentes. Sin embargo, las membranas convencionales de intercambio iónico generalmente proporcionan velocidades más lentas de intercambio iónico y, en consecuencia, caudales y rendimientos de tratamientos de disoluciones más lentos que los sistemas convencionales de perlas de intercambio iónico. En consecuencia, los sistemas de membranas tienen una utilidad limitada debido a consideraciones de volumen de espacio en contraposición con el rendimiento del tratamiento de disoluciones.

55 Además, las capas de separadores dieléctricos que se usan para separar las membranas en las células electroquímicas tienen que ser suficientemente gruesas para ser autoportantes y estructuralmente sólidas para soportar la manipulación cuando se insertan entre las membranas en la fabricación de una célula. Normalmente, las capas separadoras se fabrican de polímero, tal como polietileno o polipropileno, y pueden tener un patrón regular. Un grosor típico de la capa separadora está entre aproximadamente 0,25 y aproximadamente 1 mm. Las capas separadoras más delgadas de 0,25 mm son difíciles de manipular y pueden dar como resultado el estiramiento de las hebras separadoras, el desgarrar o el arrugamiento, en el montaje de células, y generalmente también son más caras y difíciles de hacer. Un problema adicional en la tentativa de reducir el grosor del separador surge porque es

preciso aumentar la presión de la disolución que pasa por la célula para producir el mismo caudal de disolución. Así, generalmente, en la célula electroquímica se usan capas separadoras relativamente gruesas, lo que aumenta adicionalmente el volumen aparente de la célula y reduce el rendimiento del tratamiento de disoluciones por unidad de volumen de espacio de la célula.

5 La pila de membranas y separadores también es difícil de montar en la célula y de quitar de la misma para su limpieza o su sustitución. Normalmente, en una célula se usan varias membranas y varios espaciadores, y ello es deseable para poder manipular con mayor facilidad la pila de membranas. La pila de membranas también puede perder fácilmente su orientación en la célula durante el montaje de la célula o durante el uso. Además, cuando las membranas están selladas en células electroquímicas estancas, resulta difícil abrir las células para sacar las
10 membranas sin dañar la célula o las membranas. Es deseable una estructura de célula que pueda ser montada o abierta fácilmente.

Así, es deseable contar con una célula electroquímica de intercambio iónico capaz de proporcionar buenas velocidades de intercambio iónico. También es deseable contar con una membrana de disociación del agua y un separador que presenten suficiente resistencia en su manipulación y su uso y que no sean excesivamente gruesos.
15 También es deseable limitar el número de etapas necesarias para la fabricación de tales células, reducir el número de partes para el montaje y reducir los errores de montaje. También es deseable contar con una célula que pueda ser montada o desmontada con facilidad sin dañar ni provocar que las membranas pierdan su orientación.

Sumario

20 Una membrana bipolar texturada de disociación del agua comprende una capa de intercambio de aniones superpuesta a una capa de intercambio de cationes para formar entre las mismas una superficie heterogénea de contacto de disociación del agua y una superficie texturada al descubierto que tiene un patrón de atributos de textura que comprende picos y valles separados entre sí.

La membrana también puede comprender un separador integral en la superficie texturada. El separador integral puede ser, por ejemplo, filamentos sobre la superficie texturada de la membrana o un revestimiento sobre los picos
25 de los atributos de textura. El separador separa las membranas entre sí.

Un cartucho para una célula electroquímica de intercambio iónico comprende varias membranas texturadas superpuestas entre sí, teniendo cada membrana (i) una capa de intercambio de aniones superpuesta a una capa de intercambio de cationes para formar entre las mismas una superficie heterogénea de contacto de disociación del agua y (ii) una superficie texturada al descubierto que tiene un patrón de atributos de textura que comprende picos y
30 valles separados entre sí.

Un procedimiento de fabricación del cartucho comprende formar varias membranas texturadas, formar una pila de membranas desplazadas de membranas texturadas que están desplazadas entre sí, proporcionar un tubo central y enrollar la pila de membranas desplazadas alrededor del tubo central para formar un rollo de cartucho, y unir tapones terminales superior e inferior al rollo de cartucho.

35 Por ejemplo, la pila de membranas desplazadas puede formarse superponiendo unas membranas encima de otras, de modo que los extremos superiores de las membranas estén desplazados entre sí en la misma dirección. Los extremos superiores de las membranas desplazadas están unidos entre sí. Opcionalmente, puede haber un manguito externo enrollado en torno al rollo de cartucho para que se solape consigo mismo.

40 Una versión de un alojamiento de una célula electroquímica que comprende un cartucho que tiene una proyección de tapón terminal con un reborde comprende un recipiente que tiene una pared lateral conectada a una pared inferior, una entrada de la disolución y una salida de la disolución. Se proporciona una tapa desmontable que puede unirse de forma separable a la pared lateral del recipiente. La tapa desmontable comprende una placa que tiene una bocallave que se extiende a través de la misma. La bocallave tiene un primer agujero que tiene una dimensión mayor que la proyección del tapón terminal, y un segundo agujero que se abre al interior del primer agujero y tiene
45 una dimensión menor que el reborde de la proyección del tapón terminal. En otra versión, la tapa desmontable del recipiente comprende una placa con un poste hueco que se proyecta al exterior desde el mismo, estando dimensionado el poste hueco para deslizarse al interior de la proyección del tapón terminal, o sobre la misma, del cartucho de la célula electroquímica.

Una célula electroquímica para eliminar o intercambiar iones de una corriente de disolución comprende el cartucho y el alojamiento con electrodos primero y segundo en torno al cartucho. La célula electroquímica puede formarse colocando el rollo de cartucho en un alojamiento que tiene entradas y salidas de la disolución para que el tubo central tenga conexión de fluido con una salida de disolución del alojamiento. La célula electroquímica puede ser usada en un sistema electroquímico de intercambio iónico que también tenga un suministro de tensión para suministrar una tensión a los electrodos primero y segundo y una bomba para hacer fluir una corriente de disolución
50 a través de la célula.
55

Dibujos

La FIG. 1A es una vista esquemática en perspectiva de una membrana texturada de intercambio iónico de disociación del agua con atributos de textura que son un patrón de picos y depresiones y que tienen una relación de aspecto de aproximadamente 1;

5 la FIG. 1B es una vista esquemática en perspectiva de otra realización de la membrana de intercambio iónico de la FIG. 1A en la que la relación de aspecto es de aproximadamente 0,5;

la FIG. 1C es una vista esquemática en perspectiva de otra realización de la membrana de intercambio iónico de la FIG. 1A en la que el límite entre las capas de intercambio de aniones y cationes sigue el contorno de las superficies texturadas, formando una capa ondulada;

10 la FIG. 1D es una vista esquemática en perspectiva de otra realización de la membrana de intercambio iónico de la FIG. 1A en la que hay canales que atraviesan los picos y los surcos;

la FIG. 1E es una vista esquemática en perspectiva de otra realización de la membrana de intercambio iónico de la FIG. 1A que muestra un revestimiento dieléctrico sobre las crestas;

15 la FIG. 2 es una vista esquemática en perspectiva de otra realización de la membrana de intercambio iónico que tiene atributos de textura que comprenden salientes cónicos que se proyectan desde una superficie llana;

la FIG. 3 es una vista esquemática en perspectiva de otra realización de la membrana de intercambio iónico que tiene atributos de textura que comprenden mesetas que se proyectan desde una superficie llana;

20 la FIG. 4 es una vista esquemática en perspectiva de otra realización de la membrana de intercambio iónico con un separador integral de filamentos pulverizados formado sobre los atributos de textura;

la FIG. 5 es una vista esquemática en perspectiva de un aparato para formar la membrana texturada;

la FIG. 6 es una vista esquemática en corte superior de una célula electroquímica que comprende un cartucho que tiene membranas con separadores integrales que están enrolladas en espiral en torno a un tubo central;

25 la FIG. 7 es un diagrama de flujo que muestra las etapas implicadas en la fabricación de un cartucho que tiene membranas enrolladas en espiral;

la FIG. 8A es un diagrama esquemático en perspectiva que muestra un procedimiento de montaje de una pila de membranas;

30 la FIG. 8B es un diagrama esquemático en perspectiva que muestra líneas de adhesivo sobre la pila montada de membranas desplazadas y el enrollamiento de la pila sobre el tubo central;

la FIG. 8C es un diagrama esquemático despiezado en perspectiva que muestra el montaje de una célula electroquímica que tiene un alojamiento, usando el cartucho con membranas en forma de rollo, tapones terminales y una placa superior;

35 la FIG. 9A es una vista despiezada en perspectiva de una tapa desmontable y un cartucho cuando se está fijando la tapa a una proyección del tapón terminal del cartucho;

la FIG. 9B es una vista en perspectiva de la tapa desmontable y el cartucho de la FIG. 9A una vez que se ha fijado la tapa al cartucho;

la FIG. 9C es una vista esquemática lateral en corte de la tapa desmontable con el cartucho unido de la FIG. 9B fijado a un recipiente;

40 la FIG. 10A es una vista despiezada en perspectiva de otra versión de una tapa desmontable y un cartucho cuando se está fijando la tapa a un tubo central del cartucho;

la FIG. 10B es una vista en perspectiva de la tapa desmontable y el cartucho de la FIG. 10A una vez que se ha fijado la tapa al cartucho;

45 la FIG. 10C es una vista esquemática lateral en corte parcial de la tapa desmontable con el cartucho unido de la FIG. 10B fijado a un recipiente;

la FIG. 10D es una vista esquemática lateral en corte parcial de una acanaladura adentrada en una pared lateral de un recipiente para recibir el pasador de la tapa de la FIG. 10A;

la FIG. 10E es una vista esquemática lateral en corte parcial de una tapa que comprende un poste que se proyecta al interior del tubo central de un cartucho;

50 la FIG. 11 es una vista esquemática en corte de una célula electroquímica que comprende un cartucho que comprende membranas apiladas en una célula de placa y bastidor; y

la FIG. 12 es una vista esquemática de un aparato de control de iones que tiene una célula electroquímica con un cartucho de membranas y capaz de proporcionar una concentración seleccionada de iones en una corriente de disolución.

Descripción

Una célula electroquímica comprende una membrana 10 de intercambio iónico (denominada también membrana bipolar, doble o laminar), una realización ejemplar de la cual se muestra en la FIG. 1A. La membrana de intercambio iónico comprende materiales de intercambio de aniones y cationes que pueden estar en forma de sólidos o geles y que contienen iones que son sustituibles por otros iones o iones que reaccionan químicamente con iones específicos para eliminar los iones de una corriente 20 de disolución. Por ejemplo, materiales adecuados de intercambio de cationes y aniones pueden incluir polímeros orgánicos reticulados o no reticulados o estructuras inorgánicas tales como las zeolitas. Los materiales de intercambio aniónico intercambian aniones sin ningún cambio permanente en su estructura y pueden ser, por ejemplo, grupos básicos. Otros materiales adecuados de intercambio aniónico

pueden incluir grupos funcionales básicos capaces de intercambiar aniones tales como $-NR_3A$, $-NR_2HA$, $-PR_3A$, $-SR_2A$ o C_5H_5NHA (piridina), siendo R un grupo alquilo, arilo u otro, y siendo A un anión (por ejemplo, un ion hidróxido, bicarbonato, cloruro o sulfato). Los materiales de intercambio catiónico intercambian cationes sin ningún cambio permanente en la estructura del material y pueden incluir, por ejemplo, grupos ácidos. Materiales adecuados de intercambio catiónico pueden incluir grupos funcionales ácidos capaces de intercambiar cationes tales como $-COOM$, $-SO_3M$, $-PO_3M_2$ y $-C_6H_4OM$, siendo M un catión (por ejemplo, un ion hidrógeno, sodio, calcio o cobre). Los materiales de intercambio de cationes también incluyen los que comprenden grupos neutrales o ligandos que enlazan cationes mediante enlaces de coordinación en vez de electrostáticos o iónicos (por ejemplo, grupos piridina, fosfina y sulfuro), y grupos que comprenden grupos formadores de complejos o quelantes (por ejemplo, los derivados del ácido aminofosfórico, el ácido aminocarboxílico y el ácido hidroxámico).

La selección de materiales adecuados de intercambio catiónico y aniónico para la membrana 10 de intercambio iónico depende de la aplicación de la membrana. En una versión, la membrana 10 comprende una capa 12 de intercambio aniónico que hace contacto con una capa 14 de intercambio catiónico para formar una superficie heterogénea 18 de contacto de disociación del agua. La capa 12 de intercambio aniónico contiene material de intercambio de aniones y la capa 14 de intercambio catiónico contiene materiales de intercambio de cationes. Por ejemplo, en la desionización de una corriente de disolución a base de agua, la membrana 10 puede tener una capa 12 de intercambio aniónico que tiene grupos $-NR_3A$, tales como grupos trietil amonio ($-N(C_2H_5)_3$), y una capa 14 de intercambio catiónico que comprende grupos $-SO_3M$ o de ácido carboxílico ($-COOH$). Tal membrana 10 aumenta de volumen en el agua, teniendo una menor resistencia eléctrica y una mayor velocidad de transporte de masas de un amplio intervalo de pH. Se prefieren los materiales de intercambio aniónico que comprenden grupos básicos débiles o ácidos débiles cuando se requiere una regeneración de intercambio iónico particularmente eficiente. Por ejemplo, $-NR_2HA$ reacciona con OH^- en una reacción muy favorable formando $-NR_2$, H_2O y desprendiendo A^- . Como ejemplo adicional, para la eliminación selectiva de iones de calcio o cobre de un líquido que contenga otros iones, por ejemplo el ion sodio, se prefieren grupos de intercambio iónico tales como $-COOM$ o un grupo quelante, tales como el ácido aminocarboxílico. Estos grupos ácidos débiles ofrecen el beneficio adicional de una regeneración particularmente eficiente debido a la reacción intensamente favorable de $-(COO)_nM$ con H^+ que forma $-COOH$ y desprende M^{+n} , siendo M un ion metálico.

Preferentemente, la membrana 10 está texturada para que tenga al menos una superficie 24 al descubierto con atributos 26 de textura que comprenden un patrón de formas tridimensionales repetidas, tales como una matriz de picos 28 y valles 30, realizaciones ejemplares de lo cual se muestran en las FIGURAS 1A a 1E, 2 y 3. Los atributos 26 de textura generalmente tienen dimensiones del orden de micrómetros o mayores, según se explica en lo que sigue, y no están dimensionados en intervalos submicrométricos. En una versión, los atributos 26 de textura pueden tener picos 28 conformados como crestas 36a,b que están separadas entre sí y paralelas a un recorrido de flujo de la corriente 20 de disolución, y valles 30 que comprenden surcos 38a,b que se encuentran entre crestas adyacentes 36, según se muestra en la FIG. 1A.

Las crestas 36a,b y los surcos 38a,b pueden estar en ambas superficies 24a,b o capas 12,14 de la membrana 10. Por ejemplo, en la versión mostrada en la FIG. 1B, las crestas 36a,b y los surcos 38a,b están situados en ambas caras de la membrana 10, de modo que una cresta 36a de una cara (o capa) de la membrana 10 se encuentre generalmente frente a un surco 38a de la otra cara (o capa) de la membrana 10. Esta disposición es mejor para proporcionar una densidad de corriente más uniforme y, por ende, una mejor utilización de la capacidad de intercambio iónico.

En otra versión adicional, según se muestra en la FIG. 1C, toda la membrana 10 se ondula con un surco 38a de la primera superficie 24a siguiendo el contorno de una cresta 36b de la segunda superficie 24b de la membrana 10, y una cresta 36a de la primera superficie 24a, similarmente, sigue el contorno del surco 38b de la segunda superficie 24b de la membrana 10. En esta versión, la membrana ondulada 10 tiene una ondulación obtenida de las filas de crestas 28 que discurren en la dirección de la corriente 20 de disolución por ambas caras opuestas de la membrana 10; es decir, los picos 28a de una cara de la membrana 10 se encuentran frente a los valles 30b de la otra cara de la membrana 10. La membrana ondulada 10 proporciona una distancia uniforme entre las capas 12, 14 de intercambio de aniones y cationes, respectivamente, a diferencia de otros diseños de membranas que pueden proporcionar capas aniónicas y/o catiónicas delgadas y gruesas, según se ilustra en la FIG. 1B. Esto proporciona densidades de corriente y una utilización de la capacidad de intercambio iónico aún más uniformes. También pueden usarse otras disposiciones de las crestas 36a,b y los surcos 38a,b; por ejemplo, con las crestas 36a y los surcos 38a de una superficie 24a asimétricos con respecto a las crestas 36b y los surcos 38b de la otra superficie 24b, de modo que sean generalmente no paralelos o incluso perpendiculares entre sí (no se muestra).

También puede resultar útil dar textura únicamente a una cara de una membrana 10 de disociación del agua, por ejemplo la superficie 24, según se muestra en la FIG. 1D, para aumentar la extracción ya sea de cationes o de aniones. En esta versión, la superficie 24a formada de la capa aniónica 12 tiene las crestas 36 y los surcos 38, mientras que la otra superficie 24b es plana. Esta membrana 10 también tiene crestas paralelas 36 con canales 40 que atraviesan las crestas 36. Los canales 40 están orientados en una dirección diferente de la orientación de las crestas 36 (o los surcos 38) para fomentar la turbulencia y/o aumentar el área superficial. Por ejemplo, los canales 40 pueden estar orientados generalmente perpendiculares a la orientación de las crestas 36 y los surcos 38, para que

definan pasos adicionales que atraviesen la dirección de flujo de la corriente 20 de disolución a través de la membrana 10. Los canales 40 también pueden estar orientados en cualquier dirección angular con respecto a la de las crestas 36 o los surcos 38.

5 Los picos 28 y los valles 30 de los atributos 26 de textura también pueden ser otras estructuras distintas de crestas 36 y surcos 38. Por ejemplo, los picos 28 pueden comprender salientes cónicos 48 que se proyectan hacia fuera desde una zona 49 de superficie, por lo demás, sustancialmente plana que define valles 30 entre los picos 28, según se muestra en la FIG. 2. En esta versión, los salientes cónicos 48 están separados y distribuidos por la superficie de la membrana de forma aleatoria. Los salientes cónicos 48 crean un flujo turbulento complicado de la corriente 20 de disolución por la superficie 24 al descubierto de la membrana 10, lo que aumenta el tiempo de permanencia de la corriente 20 de disolución en la membrana 10. Los salientes cónicos 48 pueden formarse por abrasión, formación de texturas vesiculares, gofrado o cualquier otro medio adecuado. En lugar de una forma cónica, los salientes cónicos 48 también pueden tener otras formas y otras dimensiones.

10 En otra versión adicional, la membrana 10 comprende atributos 26 de textura que comprenden picos 28 conformados como mesetas 50 que se proyectan hacia fuera desde zona 49 de superficie, por lo demás, sustancialmente plana que define los valles 30 entre los picos 28, según se muestra en la FIG. 3. Las mesetas 50 tienen una parte superior cortada y son generalmente cilíndricas con un borde inferior redondeado. Las mesetas 50 pueden formarse, por ejemplo, aplicando una pantalla de malla dotada de un patrón de agujeros redondos en una lámina de membrana recién formada con una prensa, tal como una prensa hidráulica, o haciendo pasar una lámina de membrana por rodillos dotados de un patrón de agujeros en los mismos. Esta versión es particularmente útil cuando la corriente de disolución tiene una gran cantidad de sólidos disueltos que, si no, quedarían atrapados en los agujeros pequeños y los espacios entre otros tipos de atributos 26 de textura.

15 Se cree que los atributos 26 de textura en la superficie 24 al descubierto de la membrana 10 pueden aumentar el transporte de masas de iones entre la membrana 10 y la corriente 20 de disolución, y también pueden servir para separar las membranas entre sí mientras se sigue permitiendo que la disolución fluya entre las membranas a través de los valles de la textura. Al explicar los efectos de la textura de la superficie 24 al descubierto de la membrana 10, es beneficioso distinguir entre el área geométrica, el área superficial y la rugosidad de la superficie. El área geométrica es el área medida con una regla cuando una membrana 10 es colocada plana sobre una superficie planaria. El área superficial se mide en una escala que aumenta el transporte de masas de especies, por ejemplo iones, desde la disolución a la superficie de la membrana. Se proporcionan los atributos 26 de textura para aumentar el área superficial para un área geométrica dada. El tamaño de los atributos 26 de textura que debe considerarse al medir el área superficial se determina por el grosor de la capa estancada de la disolución, que, según se describe en lo que sigue, normalmente es mayor de un micrómetro. La rugosidad de la superficie se refiere a atributos 42 de microtextura, que generalmente son atributos de tamaño submicrométrico que son menores que el grosor de la capa estancada de la disolución y, por ende, no influyen sustancialmente en las velocidades de transporte de masas desde la disolución hasta la membrana 10.

20 Así, a medida que aumentan ciertas dimensiones de los atributos 26 de textura, también aumenta de forma proporcional el área superficial de la superficie 24 al descubierto de la membrana 10. Si las dimensiones de los atributos 26 de textura son mayores que el grosor de la capa estancada, aumentan las velocidades de transporte de masas de entrada y de salida de la membrana 10. El transporte de masas desde una disolución a una membrana 10 u otra superficie es proporcional al área superficial de la capa estancada. En el límite entre una superficie y una disolución agitada o que fluye hay una capa de disolución, la capa estancada, que fluye o es agitada a una velocidad significativamente más lenta que la corriente de disolución en conjunto. El caudal se describe en términos de la velocidad de la disolución, que disminuye a medida que uno se aproxima a la capa estancada desde dentro de la disolución en conjunto, y esta velocidad es cero en la superficie. Dado que la velocidad de la disolución es una función continua sin altibajos desde el borde de la disolución en conjunto hasta la superficie inmóvil, el grosor de la capa estancada puede definirse matemáticamente como la distancia desde la superficie en la que la velocidad de la disolución aumenta hasta el 99% de la velocidad de la disolución en conjunto o de flujo libre:

$$\text{Grosor de la capa estancada, } \delta \cong 5/\sqrt{\text{Re}_x} \quad (2)$$

siendo Re el número de Reynolds de la disolución en el canal, y el flujo viscoso domina cuando Re es pequeño (≤ 2000) y el flujo turbulento domina cuando Re es grande (≥ 2000). Cuando las dimensiones de los atributos 26 de textura son mayores que el grosor δ de la capa estancada, la capa estancada empieza a seguir el contorno de los atributos 26 de la superficie 24 al descubierto de la membrana 10, y, así, el área superficial de la capa estancada aumenta con el área superficial creciente de la membrana. Cuando los atributos 26 de textura tienen dimensiones menores que el grosor δ de la capa estancada, la capa estancada está esencialmente plana en la superficie 24 de la membrana 10, teniendo un área superficial reducida. Así, para un área geométrica dada, resulta un transporte de masas más rápido de entrada y de salida de las capas 12, 14 de intercambio catiónico y aniónico de la membrana 10 al aumentar el área efectiva de la capa estancada por el uso de atributos que tienen dimensiones mayores que el grosor δ de la capa estancada. La membrana texturada 10 tiene entonces un área superficial efectiva para el transporte de masas que incluye la mayor área resultante de la topografía complicada de los atributos 26 de textura.

Para las velocidades normales de disolución de una corriente de disolución que pasa por la superficie 24 de una membrana 10, el grosor δ de la capa estancada es habitualmente de aproximadamente 1 micrómetro o mayor, aumentando el grosor δ de la capa a medida que disminuye el caudal de la corriente de disolución. Así, una dimensión adecuada de los atributos 26 de textura de la membrana 10 debería ser de al menos aproximadamente 1 micrómetro, y más normalmente de al menos aproximadamente 10 micrómetros.

Según se ilustra con las realizaciones ejemplares descritas más arriba, los atributos 26 de textura tienen formas diferentes, dependiendo de su aplicación, que pueden incluir, por ejemplo, picos 28 que están conformados como crestas 36, salientes cónicos 48 o mesetas 50; y valles 30 formados por surcos 38, acanaladuras 46 o zonas 49 de superficie llana. Las dimensiones de estos picos 28 y estos valles 30 puede ser descrita apropiadamente, por ejemplo, por medio de las alturas de los picos o la profundidad de los valles, la distancia d_{pv} (pico a valle) que sería la distancia desde la cumbre 44 de un pico 28 hasta la base 52 de un valle 30, o d_{pp} (pico a pico) que sería la distancia desde un pico 28a hasta un pico adyacente 28b. Con referencia a la FIG. 2, las cumbres 44 de los picos 28 son las porciones de los picos más alejadas de la superficie 18 de contacto de disociación del agua entre las dos capas 12, 14 de intercambio iónico de la membrana 10, y las bases 52 de los valles 30 son aquellas porciones de los valles que están más próximas a la superficie 18 de contacto. Las dimensiones absolutas seleccionadas dependen de la aplicación, dado que las membranas 10 más delgadas con atributos 26 de textura que tienen dimensiones menores proporcionan mayor área superficial en un volumen dado de célula, pero pueden presentar caídas de presión excesivas debido a los pequeños canales disponibles para el flujo de la corriente de disolución entre los atributos 26. En una versión, los atributos 26 de textura comprenden una distancia d_{pv} de al menos aproximadamente 10 micrómetros o, más preferentemente, al menos aproximadamente 100 micrómetros; y la distancia d_{pp} puede ser de al menos aproximadamente 10 micrómetros o, más preferentemente, al menos aproximadamente 100 micrómetros.

Los atributos 26 de textura de las membranas 10 también pueden definirse por una relación de aspecto que depende del equilibrio de las propiedades deseadas para una célula electroquímica. Así:

$$\text{Relación de aspecto de los atributos de textura} = d_{pv} / d_{pp} \quad (1)$$

En la Ecuación 1, d_{pv} (distancia de pico a valle) se refiere a la distancia media desde una cumbre 44x de un pico 28x hasta una base 52x de un valle adyacente 30x; y d_{pp} (distancia de pico a pico) se refiere a las distancias medias entre las cumbres 44x,y de los picos adyacentes 44x,y. Para cualquier tipo dado de atributo 26 de textura, tales como crestas, surcos, acanaladuras, canales o salientes, las relaciones de aspecto pueden estimarse a partir de los valores medios para d_{pv} y d_{pp} . El área superficial de la membrana aumenta a medida que aumenta relación de aspecto del atributo de textura. Una relación adecuada de d_{pv}/d_{pp} es de al menos aproximadamente 0,10, más preferentemente de al menos 0,5, y lo más preferente es que sea de al menos 1,0. Las relaciones de aspecto excesivamente elevadas pueden proporcionar una membrana texturada 10 que se doble o se combe durante el montaje de la célula o presiones elevadas de la disolución y son, así, poco deseables.

Pueden usarse varios procedimientos para fabricar los atributos 26 de textura en la membrana 10 de disociación del agua. El procedimiento seleccionado de fabricación puede depender de la forma, las dimensiones y la separación de los atributos 26 de textura. Por ejemplo, los atributos 26 de textura que comprenden picos 28 que están conformados como crestas 36 paralelas y separadas y valles 30 conformados como surcos 38 entre las crestas 36, según se muestra en la FIG. 1A, pueden formarse haciendo pasar una lámina 60 de membrana lisa sin textura que está montada como un rollo 62 sobre un rodillo 64, por un par de rodillos 68a,b, teniendo al menos un rodillo 68a una superficie impresa 70 de rodillo que está impresa con el patrón deseado de porciones circunferenciales elevadas 72a y depresiones circunferenciales 72b que corresponden a las crestas 36 y los surcos 38, según se muestra en la FIG. 5. Cuando la lámina 60 de membrana lisa pasa por el par de rodillos 68a,b, el patrón impreso en la superficie 70 del rodillo queda gofrado en la superficie de la lámina 60 de membrana lisa que está en contacto con la superficie impresa 70 del rodillo, formando una membrana texturada 10 que tiene un correspondiente patrón de crestas 36 y surcos 38. Otros procedimientos de formación de la membrana 10 incluyen, por ejemplo, formar un patrón de mesetas 50, según se muestra en la FIG. 3, mediante termoformación por compresión del patrón deseado de textura en una lámina 60 de membrana lisa entre planchas o rodillos. El patrón de salientes cónicos 48 puede ser formado desbastando con chorro de arena la lámina 60 de membrana, desgastando la lámina 60 de membrana con un cepillo de púas rígidas o introduciendo poros abiertos en el material de la lámina 60 de membrana usando espumantes. También son adecuados otros procedimientos capaces de formar los atributos 26 de textura en la membrana 10 que tienen dimensiones pico-valle y pico-pico mayores que el grosor de la capa estancada, por ejemplo de aproximadamente 1 micrómetro.

En otra versión, los atributos 42 de microtextura se superponen encima de los atributos 26 de macrotextura; por ejemplo, acanaladuras finas 74 que son creadas por desgaste o arañazos en los picos 28, según se muestra en la FIG. 1D. En la versión mostrada, las acanaladuras finas 74 están formadas como un patrón prensado secundario sobre toda la superficie de los picos 28. Cuando las dimensiones de la microtextura son mayores que el grosor de la capa estancada, esto aumenta las velocidades de transporte de masas. Los atributos 42 de microtextura que comprenden acanaladuras finas 74 que son marcas de abrasión pueden ser formados en la membrana 10, por

ejemplo, desbastando con chorro de arena la membrana 10. El desbastado con chorro de arena puede llevarse a cabo con una secuencia de toberas 75 montadas en un tubo 76, cada una de las cuales dirige chorros 78 de partículas abrasivas a la membrana 10, según se muestra en la FIG. 5. Los chorros 78 de partículas abrasivas pueden ser obligados a salir por aire u otros gases a presión. Partículas abrasivas adecuadas incluyen óxido de aluminio, óxido de silicio o carburo de silicio. Pueden formarse poros u otros atributos de textura fina en la superficie de la membrana 10 que ya está texturada en bruto con picos 28 y valles 30, por ejemplo, añadiendo un material formador de poros a la membrana 10 durante la fabricación de la membrana 10. El material formador de poros puede salir disuelto de la membrana 10 durante la fabricación de la membrana 10, formando los poros en la superficie de la membrana.

En otro aspecto de la invención, un separador integral 80 proporciona separación entre membranas adyacentes 10 para permitir que la corriente 20 de disolución fluya sustancialmente por todas las superficies 24 al descubierto de la membrana 10. El separador integral 80 está unido a la membrana texturada 10 formando un artículo unitario, de modo que la membrana 10 y el separador integral 80 formen una sola estructura. Ventajosamente, al estar unido a la membrana 10, el separador integral 80 no se desplaza de su posición en la membrana 10 durante el proceso de transporte de la membrana 10 como rollos o láminas, ni durante la fabricación de cartuchos o células electroquímicas que usan la membrana 10 de disociación del agua. El separador integral 80 puede adherirse a cualquiera de las dos superficies 24a,b al descubierto de la membrana 10, o a ambas. Este separador integral 80 debería formarse de material no conductor, tal como un material dieléctrico, que mantenga su forma en la disolución que haya de tratarse. El grosor del separador integral 80 puede variar un amplio intervalo que depende de la aplicación particular de eliminación de iones. Por ejemplo, un separador 80 más grueso puede proporcionar una membrana 10 más rígida que puede no ser útil para preparar un diseño de célula enrollada en espiral, pero que presente una caída de presión particularmente baja incluso con caudales elevados. Un separador 80 más delgado permite que se enrollen más capas concéntricas de la membrana 10 de disociación del agua en un volumen dado, proporcionando mayores capacidades de volumen específico. El separador 80 tiene un grosor que es suficientemente elevado para evitar sustancialmente el contacto físico entre membranas adyacentes, que normalmente es de al menos aproximadamente 10 micrómetros. El grosor máximo del separador, por razones prácticas es inferior a aproximadamente 1000 micrómetros. Un grosor del separador mayor de 1000 micrómetros reduce la capacidad de volumen específico con poco beneficio en la reducción de las caídas de presión en la mayoría de aplicaciones. También es importante evitar bloquear los valles 30 definidos por los atributos 26 de textura para permitir que la corriente 20 de disolución fluya sustancialmente sin restricciones por la superficie 24 al descubierto de la membrana 10 y entre los picos 28.

El separador integral 80 puede aplicarse a la membrana 10 de disociación del agua mediante cualquier procedimiento que proporcione una separación de las membranas adyacentes 10. Procedimientos adecuados para aplicar el separador integral 80 a la membrana 10 incluyen la pulverización de un filamento polimérico continuo sobre la superficie texturada 24 de la membrana 10 usando una tobera pulverizadora 86 que está conectada por medio de un tubo 88 de alimentación a un tanque 85 de polímero. Se obliga a pasar al polímero derretido en forma de filamento por un tubo 88 de alimentación con aire caliente a presión procedente de un tanque 90 controlado por una válvula 92 de alimentación. Tras enfriarse, los filamentos pulverizados en caliente forman un separador integral que es una red de filamentos intercalados de forma aleatoria. El tanque 85 de polímero puede contener un precursor polimérico líquido no curado o un polímero fundido termoplástico o termoendurecible. La temperatura del aire, el caudal del aire, la distancia desde la superficie de la membrana y la temperatura de ablandamiento del polímero son seleccionados para formar un grosor deseado del separador integral 80 a la vez que se evita la caída de la capa caliente de polímero/fibra en los valles 30 u otras depresiones de los atributos 26 de textura formados en la superficie 24 al descubierto de la membrana 10, a la vez que se proporciona una buena adherencia del separador integral 80 a la membrana 10. En otro procedimiento, pueden aplicarse filamentos 82 recubiertos con una solución por la que se hace pasar a la membrana texturada 10, a la membrana 10 para formar el separador integral 80. En otro procedimiento adicional, también puede usarse fotograbado de las cumbres 44 de los picos 28 de los atributos 42 de textura para formar el separador integral 80. El separador integral 80 también puede ser fabricado por procedimientos tales, por ejemplo, como los usados para la preparación de tejidos sin tejer. Aunque las membranas texturadas 10 pueden tener una única superficie texturada, para obtener un flujo uniforme de la corriente de disolución por ambas superficies 24a,b de la membrana, puede preferirse emplear membranas texturadas 10 que tengan textura de superficie en ambas superficies para el uso del separador integral 80; si no, un separador 80 que esté colocado plano contra una superficie de membrana puede bloquear el flujo de una corriente de disolución o hacer que la disolución fluya preferentemente más allá de una superficie texturada 24a, e impidiéndole potencialmente que fluya eficientemente por la superficie plana opuesta o adyacente 24b de una membrana 10.

El separador integral 80 entre las membranas 10 proporciona una reducción significativa en el volumen de una célula electroquímica 102. Aunque pueden seguir usándose, las capas separadoras convencionales tienen que ser suficientemente gruesas para ser autoportantes y estructuralmente sólidas para soportar la manipulación cuando se insertan entre las membranas texturadas 10 en la fabricación de una célula 102. Normalmente, las capas separadoras se fabrican de polímero, tal como polietileno o polipropileno, y tienen un grosor entre aproximadamente 0,25 y aproximadamente 1 mm. Las capas separadoras más delgadas de 0,25 mm son difíciles de manipular y pueden dar como resultado el estiramiento de las hebras separadoras, el desgarro o el arrugamiento, en el montaje de células, y generalmente también son más difíciles de hacer. Un problema adicional en la tentativa de reducir el

grosor del separador surge porque es preciso aumentar la presión de la disolución que pasa por la célula para producir el mismo caudal de disolución. Así, convencionalmente, en una célula 102 se usan capas separadoras relativamente gruesas, lo que aumenta adicionalmente el volumen aparente de la célula y reduce el rendimiento del tratamiento de disoluciones por unidad de volumen de espacio de la célula. Sin embargo, pueden seguir usándose
5 capas separadoras convencionales con las membranas texturadas 10 para proporcionar células electroquímicas 102 efectivas, especialmente cuando el espacio y el volumen de la célula no son la inquietud fundamental o, por ejemplo, cuando es preciso que el espacio entre las membranas 10 sea mayor que el proporcionado por los separadores integrales 80.

Las membranas texturadas 10 y los separadores integrales 80 opcionales, o capas separadoras individuales, se montan en un cartucho 100 que facilita la instalación y la extracción de las membranas 10 de una célula electroquímica 102, realizaciones de lo cual se muestran en las FIGURAS 6 y 7. El cartucho 100 puede ser extraído fácilmente de la célula 102, lo que puede ser necesario cuando se obstruye el espacio entre los pares adyacentes de membranas 10 y sus separadores integrales 80, por ejemplo con una costra de carbonato cálcico u otros materiales sólidos. El cartucho 100 también facilita el envío de membranas 10 de sustitución al distribuidor o al usuario final.
10 Además, el cartucho 100 también permite que se fabrique una configuración particular de membranas que promueve el intercambio iónico eficiente.

En una realización, el cartucho 100 comprende varias membranas 10 con separadores integrales 80 que están enrolladas en espiral en torno a un tubo central 106, que es normalmente cilíndrico, según se muestra en la FIG. 6. Las membranas 10 enrolladas en espiral pueden estar rodeadas por un manguito externo 110 y estar selladas por
20 ambos extremos con dos tapones terminales 114a,b. Cuando la membrana 10 no tiene un separador integral 80, se fabrica el cartucho 100 con un manguito separador (no mostrado) entre cada membrana 10, por ejemplo, según se describe en la solicitud de patente estadounidense, transferida legalmente, nº 10/637.186, presentada el 8 de agosto de 2003, titulada "Selectable Ion Concentration with Electrolytic Ion Exchange", que se incorpora al presente documento por referencia en su totalidad. Las superficies del manguito externo 110, el tubo central 106 y los tapones
25 terminales 114a,b dirigen la corriente 20 de disolución por un paso 115 de disolución que atraviesa las superficies 24 al descubierto de la membrana texturada 10 al ir de la entrada 116 a la salida 118 de la célula 102. El cartucho 100 puede ser diseñado para varios patrones de flujo; por ejemplo, un flujo de extremo a extremo (paralelo al tubo central 106) o un flujo del interior al exterior (flujo radial hacia o procedente del tubo central 106).

Cada tapón terminal 114a,b del cartucho 100 puede ser una placa plana montada en cada extremo del tubo central 106. El tubo central 106, el manguito externo 110 y los tapones terminales 114a,b están diseñados para proporcionar un paso 115 de disolución que proporciona el patrón deseado de flujo sustancialmente por toda la superficie de la membrana. Por ejemplo, para que la corriente 20 de disolución fluya radialmente hacia o desde el tubo central 106, tanto por las superficies interior y exterior de cada membrana texturada 10, los tapones terminales 114a,b sellan los extremos de la membrana enrollada en espiral para evitar que la disolución circunvale la superficie
30 de la membrana en su camino desde la entrada hasta la salida. Las membranas texturadas 10 también pueden ser dispuestas en el cartucho 100 para proporcionar un paso 115 de disolución que forme un canal de disolución unitario y contiguo que fluya por delante de ambas capas 12, 14 de intercambio aniónico y catiónico de cada membrana 10. Preferentemente, el canal unitario está conectado mediante una secuencia ininterrumpida que se extiende continuamente desde la entrada 116 hasta la salida 118, y que fluye por delante de cada una de las capas 12, 14 de intercambio aniónico y catiónico, respectivamente, de las membranas 10 de disociación del agua. Así, el perímetro del canal unitario y contiguo comprende al menos una porción de todas las capas 12, 14 de intercambio catiónico y aniónico, de las membranas 10 dentro del cartucho 100.
35

Las membranas 10 pueden enrollarse en espiral con los separadores integrales 80 formados en la superficie interior de una capa 14 de intercambio catiónico, separándola de la capa adyacente 12 de intercambio aniónico, y proporcionando entre las mismas el paso 115 de disolución. En esta realización específica, se enrollan tres membranas 10 en espiral para formar una disposición de flujo paralelo, lo que significa que la disolución puede fluir de la entrada a la salida en tres pasos equivalentes entre capas de la membrana. Para cualquier patrón de flujo, por ejemplo paralelo o radial con respecto al tubo central 106, pueden enrollarse una o más membranas 10 en una disposición paralela para variar la caída de presión en el cartucho 100, seleccionándose el número de membranas 10 que se enrollan en una disposición de flujo paralelo para proporcionar la caída de presión deseado en la célula 102. Aunque en general las membranas 10 están enrolladas muy ceñidas entre sí, las membranas 10 son mostradas, en aras de la claridad de la representación, enrolladas con holgura, con espacios entre ellas. En esta versión, el cartucho enrollado 100 carece de electrodos, que están situados fuera del cartucho en la célula.
45

Un procedimiento de fabricación de cartuchos, ilustrado en el diagrama de flujo de la FIG. 7, reduce el tiempo y la mano de obra requeridos para fabricar un cartucho 100 dotado de membranas 10 enrolladas en espiral. En este procedimiento, el cartucho 100 se fabrica con varias membranas 10; por ejemplo, entre aproximadamente 2 y aproximadamente 100 membranas. En una versión, se enrollan seis membranas texturadas 10a-f en una disposición de flujo paralelo. La disposición de flujo paralelo permite que la corriente 20 de disolución influente que se hace pasar al interior del cartucho 100 fluya simultáneamente a través de varias vías paralelas de flujo, cada una de las cuales se encuentra entre las membranas paralelas 10. Las membranas 10a-f están colocadas unas encima de otras, sobre una superficie de mesa plana, con los extremos superiores 113a-f de las membranas 10 desplazados
50

entre sí, según se muestra en la FIG. 8A. En una versión, los extremos superiores 113a-f de las membranas 10a-f están desplazados una distancia $d_o = 3.14 \cdot d_o/n$, siendo d_o el diámetro exterior del tubo central 106 sobre el que están enrolladas las membranas 10a-f. Desplazar las membranas garantiza que los extremos superiores 113a-f de las membranas 10a-f hacen contacto con el tubo central 106 para proporcionar entradas o embocaduras en los espacios entre las membranas 10a-f para que entre el fluido fluid entre las mismas y fluya por todas las membranas. Si las membranas 10a-f no están desplazadas, el flujo de fluido puede estar restringido a algunas de las membranas 10a-f, reduciendo con ello el rendimiento del cartucho. No es necesario separar uniformemente todas las membranas 10a-f la distancia d_o , pero los extremos superiores 113a-f deberían estar desplazados en la misma dirección, y deberían estar dispuestos de modo que todas las membranas se encuentren dentro de la circunferencia del tubo central 106. Separar uniformemente los extremos superiores 113a-f de las membranas 10a-f mientras se forma el conjunto proporciona un flujo más uniforme de entrada y de salida del cartucho para proporcionar una sustitución más cabal de la disolución en el volumen interior y exterior de la célula.

Acto seguido, se unen entre sí las membranas 10a-f formando una pila 119 ensamblada de membranas desplazadas. Las membranas 10a-f pueden ser unidas, por ejemplo, mediante pinzas, adhesivo, encastrado térmico, remaches, cosido, grapas, unión o soldadura ultrasónica. En un procedimiento preferente de unión, la pila 119 de membranas 10a-f es fijada al tubo central 106 mediante adhesivo, tal como Macromelt Q5353 o Technomelt Q5305, ambos de Henkel. Para aplicaciones de agua potable, el adhesivo debería satisfacer los requisitos de extracción de la FDA 21 CFR 175.105. En una versión preferente, se dispensa el adhesivo con un aplicador de cabezas múltiples para aplicar líneas estrechas o líneas en zigzag de adhesivo que cruzan los extremos superiores 113a-f de las n membranas 10a-f para unir únicamente los extremos de las membranas, según se muestra en la FIG. 8B. Este procedimiento de aplicación de adhesivo garantiza que las membranas 10a-f puedan deslizarse entre sí cuando después se enrollen en torno al tubo reticular central para evitar un bulto cuando se enrolla la pila montada sobre un tubo central 106.

Acto seguido, la superficie superior 123 de la primera membrana 10a de la pila ensamblada 10a-f es colocada sobre el tubo central 106 de modo que los extremos superiores 113a-f estén en proximidad máxima con respecto al tubo. La pila 119 puede unirse al tubo central 106 aplicando una línea de adhesivo en el borde de la superficie superior de la membrana inferior 10a de la pila 119. A continuación, la pila 119 se enrolla en torno al tubo central 106 mientras se aplica presión a las membranas 110 para producir un cartucho enrollado 100. Durante el enrollamiento, puede mantenerse la pila 119 bajo deformación por tracción o compresión aplicando una fuerza compresiva sobre la pila 119 mientras está siendo enrollada alrededor del tubo central 106; por ejemplo apretando la pila 119 con, por ejemplo, uno o más rodillos. Alternativamente, también los extremos inferiores opuestos 117a-f de las membranas 10a-f pueden ser traccionados hacia fuera para mantener las membranas bajo tensión mientras la pila 119 está siendo enrollada alrededor del tubo central 106.

También pueden usarse subconjuntos de membranas 10 que contengan menos del número total n de membranas deseadas en el cartucho para reducir el número de objetos requeridos para montar un cartucho 100. Por ejemplo, pueden apilarse dos o tres pilas de subconjuntos de membranas, y las membranas pueden unirse entre sí según se ha descrito más arriba, comprendiendo cada subconjunto n/x láminas (no mostradas), siendo n el número total de láminas deseadas y siendo x el número de subconjuntos. Las x pilas de subconjuntos pueden ser unidas entonces por separado al tubo central 106, o unidas entre sí antes de la unión al tubo reticular central. Este procedimiento permite nuevamente que las membranas individuales 10 se deslicen entre sí durante el enrollamiento en vez de apiñarse formando un bulto adyacente a la superficie del tubo central durante el procedimiento de enrollamiento. Cualquier bulto de las membranas apiñadas interferiría en el flujo de fluido a través de la célula 102 y también aumenta el diámetro del cartucho terminado 100.

En otra versión, los extremos superior o inferior de las membranas 10 se unen a un manguito externo 100 para proporcionar un montaje más resistente. El manguito externo 110 puede ser una lámina porosa, tal como una red separadora fabricada de un material dieléctrico o permeable hidráulicamente, tal como, por ejemplo, la red Ultraflow 3725 de Delstar, Texas. La red separadora comprende una red de agujeros 133 que permiten que la disolución cale a la pila de membranas en forma de rollo. Por ejemplo, el manguito externo 110 puede tener agujeros que tengan dimensiones, tales como una anchura, una altura o un diámetro, dimensionados desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 10 mm. La unión del manguito 110 proporciona un montaje más resistente si se usan membranas frágiles o más pesadas.

En una versión, el manguito externo 110 es unido al extremo inferior 135 de una de las membranas superiores 10d, según se muestra, por ejemplo, en la FIG. 8B, que es opuesto al extremo superior 113d que se enrolla primero en el tubo central 106. El manguito 110 sirve de envoltorio de contención para contener las membranas 10 que están enrolladas sobre el tubo central 106 formando el cartucho 100. El manguito 110 se une a la membrana 10d con una línea o con puntos de adhesivo u otros medios. El manguito 110 tiene una longitud que es suficientemente larga para envolver completamente las membranas apiladas enrolladas hasta que se solape sobre sí mismo, formando un tubo de lámina porosa alrededor de las membranas enrolladas en espiral. El manguito 110 puede entonces unirse consigo mismo con adhesivo, una soldadura, una fibra u otro medio para rodear a la pila 119 para formar un rollo 136 de cartucho montado, según se muestra en la FIG. 8C. Tras la fabricación, el rollo 136 de cartucho es cortado a la longitud deseada para que encaje en un alojamiento 129 de una célula electroquímica 102. Acto seguido, se

colocan los tapones terminales superior e inferior 114a,b en los extremos del rollo 136 de cartucho y también son encolados al rollo 136, formando el cartucho ensamblado 100. Cada tapón terminal 114a,b tiene un agujero 133a,b para permitir que entre fluido en el tubo central 106.

5 El cartucho 100 se coloca en un alojamiento 129 de la célula electroquímica 102. El alojamiento 128 es normalmente, pero no necesariamente, un cilindro fabricado de un polímero que sea no conductor, resistente a la hidrólisis en el agua, a los ácidos y a las bases, que tenga buenas propiedades estructurales. Polímeros adecuados para el alojamiento incluyen, por ejemplo, cloruro de polivinilo (PVC), CPVC, polipropileno o NORYL™, General Electric, Nueva York. El alojamiento puede fabricarse mediante moldeo por inyección u otros medios. El alojamiento 129 tiene agujeros pasantes que sirven como entrada 116 de disolución para introducir una corriente 20 de disolución influente en la célula 102 y una salida 118 de disolución para introducir una corriente de disolución efluente. El alojamiento 129 normalmente comprende dos o más secciones; por ejemplo, un recipiente 93 que comprende una pared lateral tubular 94 con una pared inferior 95, y una tapa desmontable 96 que encaja en la pared lateral 94 del recipiente. Se desliza el cartucho 100 al interior del alojamiento 129 para que el tubo central 106 del cartucho 100 se desliza sobre un agujero pasante en el alojamiento 129 para formar la salida 118 de disolución en el alojamiento 129. Normalmente, la salida 118 de disolución está situada en el centro de una superficie inferior 145 del alojamiento, para que el agujero 133b del tapón terminal inferior 114b pueda tener conexión de fluido con la salida 118 de disolución. La salida 118 de disolución puede ser un agujero, según se muestra, o un cilindro corto (no mostrado) que sobresale hacia el exterior para deslizarse en el agujero 133 del tubo central 106. Para sellar el agujero 133 pueden usarse sellos y arandelas de junta tórica. Ventajosamente, el cartucho 100 puede extraerse fácilmente del alojamiento 129 para su limpieza o sustitución. A continuación, se usa una placa superior 147 para tapar el otro extremo del alojamiento 129.

Según se muestra en la FIG. 6, también se colocan entre el cartucho 100 y el alojamiento capas adicionales, tales como el electrodo exterior 124, el soporte del electrodo, etc. Por ejemplo, el electrodo exterior 124 y el electrodo central 128 están en el alojamiento 129 de modo que las capas 14 de intercambio catiónico de las membranas 10 estén orientadas hacia el primer electrodo 124, y las capas 12 de intercambio aniónico de las membranas 10 estén orientadas hacia el segundo electrodo 128. Los electrodos 124, 128 se fabrican de materiales eléctricamente conductores, tales como los metales, que sean preferentemente resistentes a la corrosión en los entornos químicos de pH elevado creados durante la polarización positiva y negativa de los electrodos durante la operación de la célula 102. Pueden fabricarse electrodos adecuados 124, 128 de materiales resistentes a la corrosión, tales como titanio y niobio, y pueden tener un revestimiento exterior de un metal noble, tal como el platino. La forma de los electrodos 124, 128 depende del diseño de la célula electroquímica 102 y la conductividad de la corriente 20 de disolución que fluye por la célula 102. Los electrodos adecuados 124, 128 comprenden un alambre dispuesto para proporcionar una tensión uniforme en el cartucho. Sin embargo, los electrodos 124, 128 también pueden tener otras formas, tales como cilíndrica, de plato, en espiral, de disco o incluso formas cónicas. En esta versión, el tubo central 106 también sirve de electrodo interno 124.

En una versión, según se muestra en las FIGURAS 9A y 9B, el alojamiento comprende una tapa desmontable 96 que se desliza sobre el cartucho 100 y lo sujeta durante el montaje de la célula 102. La tapa desmontable 96 comprende una placa 97 con una superficie lateral 98 dotada de una rosca externa macho 99 para atornillarse en una roca receptora hembra 136 en el alojamiento 129 de la célula 102, y un asa 137 que ayuda a un operario a atornillar y desatornillar la tapa 96. La tapa desmontable 96 comprende, además, una bocallave 140 que se extiende a través de la placa 97 para recibir una proyección 143 del tapón terminal (que es una porción saliente del tapón terminal superior 114a) que se proyecta fuera de la parte superior de la tapa 96. El tapón superior del cartucho comprende una junta tórica en su periferia que forma el sello con el alojamiento cuando está insertada completamente. La tapa 96 mantiene el cartucho en su sitio cuando está bajo presión. La proyección 143 del tapón terminal comprende, además, un reborde 148, que se proyecta hacia fuera desde el extremo distal de la proyección. La bocallave 140 comprende un primer agujero 146 que tiene una dimensión mayor que el reborde 148 de la proyección 143 del tapón terminal, de modo que la proyección 143, con su reborde 148, pueda deslizarse a través del agujero 146. Cuando la proyección 143 del tapón terminal es circular, el primer agujero 146 tiene un diámetro mayor que el diámetro de la proyección 143 del tapón terminal en, por ejemplo, aproximadamente un 5% o más. El primer agujero 146 se abre a un segundo agujero 149, que puede estar conformado como una abertura alargada que termina en un contorno semicircular que tiene una dimensión de tamaño menor que la dimensión del reborde 148 para encajar de forma ajustada en torno al perímetro circular de la proyección 143. Para montar la célula 102, un operario inserta, por deslizamiento, el primer agujero mayor 146 de la bocallave 140 de la tapa desmontable 96 sobre el reborde 148 de la proyección 143 del tapón terminal, según se muestra en la FIG. 9A. A continuación, se desliza hacia delante la tapa 96 para que la proyección 143 del tapón terminal pase al interior del segundo agujero mejor 149 de la bocallave, según se muestra en la FIG. 9B. Ahora puede atornillarse la tapa 96 a la pared lateral 94 del recipiente 93, con el cartucho 100 firmemente fijado a la tapa 96, porque el reborde 148 sujeta el cartucho 100 a la tapa 94. En la FIG. 9C se muestra una versión completada de la tapa 96 con el cartucho unido 100 que está atornillado en un recipiente.

60 En otra versión adicional, según se muestra en las FIGURAS 10A y 10B, la tapa desmontable 96 también comprende una placa 97 con una superficie lateral 98 que tiene al menos un par de pasadores 152 que se prolongan hacia el exterior que se deslizan al interior de una acanaladura adentrada 154 en la pared lateral 94 del recipiente 93

para quedar inmovilizada en su sitio. Sin embargo, en esta versión, un poste hueco corto 156 se proyecta hacia fuera de la placa 97. En una versión, el poste hueco 156 se proyecta hacia abajo desde la superficie inferior 91 de la placa 97 y está dimensionado para que se deslice sobre la proyección 143 del tapón terminal en la dirección de la flecha, según se muestra en la FIG. 10A; y, en esta versión, el poste 156 tiene un diámetro interno dimensionado para encajar de forma ajustada sobre el diámetro externo de la proyección 143, estando dimensionado el diámetro interno del poste 156 aproximadamente un 2% o así mayor que el diámetro externo de la proyección 143. En otra versión, el poste hueco 156 se proyecta hacia arriba desde la parte superior de la placa 97, según se muestra en la FIG. 10C. En otra versión adicional, el poste hueco 156 está dimensionado para deslizarse al interior de la proyección 143 del tapón terminal, según se muestra en la FIG. 10E, y, en esta versión, el poste hueco 156 tiene una dimensión tal que un diámetro externo que sea menor que el diámetro interno de la proyección 143 del tapón terminal encaje de forma ajustada en la proyección. Se usa el encaje ajustado para sujetar el cartucho 100 a la tapa 96 mientras la tapa 96 queda inmovilizada en su sitio en la pared lateral 94 del recipiente 93 y es girada para que los pasadores 152 se acoplen en la acanaladura adentrada 154 formando un cierre hermético. La acanaladura 154 también puede tener una porción inclinada 101 con un canal descendente 105 de bloqueo, según se muestra en la FIG. 10D, de modo que la tapa 96 pueda ser empujada hacia abajo y girada al interior del canal descendente 105 de bloqueo para inmovilizar la tapa 96 en el recipiente 93. Además, puede situarse una primera acanaladura adentrada 158 en torno a la base del poste hueco 156 para sujetar el sello 160 de junta tórica que encaja en una correspondiente segunda acanaladura 162 en la superficie superior del tubo central 106 para formar una junta más estanca al agua para el poste hueco 156, según se muestra en la FIG. 10A. El sello es proporcionado por una junta tórica en la periferia del tapón terminal 114a.

La célula 102 también puede tener otras realizaciones, tales como, por ejemplo, una configuración de placa y bastidor, según se muestra en la FIG. 11. En esta realización, la célula electroquímica 102 comprende un cartucho 100 que tiene varias membranas texturadas 10a-g que tienen forma rectangular, que están apiladas unas encima de otras y unidas a las paredes laterales 122 de la célula formando una disposición interdigital. Las membranas 10a-g están separadas por juntas 104 y separadores 108 entre pares de membranas adyacentes. Hay aberturas 121 troqueladas en un extremo de cada membrana 10a-g inmediatamente dentro del contorno de la junta 104, y las membranas 10 a-g están situadas de tal modo que las aberturas estén situadas en extremos alternos de la pila, formando un paso 115 de disolución unitario y continuo a través del cartucho 100. Las juntas 104 son flexibles para evitar fugas de la disolución a través de las paredes laterales 122 del cartucho 100, y están fabricadas de un material eléctricamente aislante para evitar cortocircuitos o divergencia del canal de corriente eléctrica a través de las paredes laterales 122. Esto obliga al canal de corriente eléctrica, o al campo eléctrico entre los electrodos 124, 128 a dirigirse de forma sustancialmente perpendicular a través del plano de las membranas 10a-g para proporcionar una eliminación o una sustitución más eficiente de iones. Los separadores 108 pueden ser separadores integrales (no mostrados) o separadores individuales 108 (según se muestra) tales como una red separada de un material dieléctrico, tal como plástico. Los separadores 108 separan las membranas 10a-g para proporcionar un flujo de disolución más uniforme y crear turbulencia en el paso 115 de la corriente de disolución para proporcionar velocidades de transporte mayores. Se sitúan dos electrodos 124, 128 que comprenden, por ejemplo, placas de titanio recubiertas de un catalizador de metal noble, en ambos extremos de las membranas apiladas 10a-g. Se colocan placas rígidas 125, 126, fabricadas de plástico, sobre los electrodos 124, 128. Los electrodos 124, 128, las membranas 10 a-g y las juntas 104 se comprimen usando tornillos metálicos 127a,b que atraviesan los bordes de las placas rígidas 125, 126 que se proyectan más allá del borde de la pila de membranas/juntas/electrodos. Los tornillos 127a,b se aprietan con las tuercas 131a-d por los extremos de los tornillos. Se efectúan conexiones eléctricas con los terminales 132a,b de los electrodos. Esta realización resulta ventajosa cuando se requiere una densidad de corriente uniforme en todas las membranas 10a-g. Este diseño de célula con separadores integrales también permite velocidades mayores de eliminación o sustitución de iones, debido a la mayor área de superficie total de las membranas 10a-g en contacto con la corriente 20 de disolución, mientras que, al mismo tiempo, se permite el tratamiento de mayores volúmenes de disolución debido a la mayor capacidad de intercambio iónico.

La FIG. 12 presenta una realización de un aparato 20 de control de iones para proporcionar una concentración seleccionada de iones en una corriente de producto usando una célula electroquímica que aloja un cartucho. Puede usarse una bomba 130 para bombear la corriente de disolución a través de la célula 102, tal como una bomba peristáltica, o la presión del agua del suministro urbano de agua en combinación con el dispositivo de control del flujo. Una fuente 134 de alimentación alimenta a los electrodos primero y segundo 124, 128. La fuente 134 de alimentación puede ser capaz de mantener los electrodos primero y segundo 124, 128 con una tensión única, o con varios niveles de tensión durante una etapa de intercambio iónico. La fuente 134 de alimentación puede ser una fuente de tensión continua variable o una fuente de tensión con control de fase, según se describe en la solicitud de patente anteriormente mencionada nº 10/637.186. En una versión, la fuente 134 de alimentación comprende una fuente de tensión variable que proporciona una tensión de corriente continua (cc) modulada en el tiempo o pulsante que tiene una única polaridad que permanece ya sea positiva o negativa durante una etapa de eliminación de iones o durante una etapa de rechazo de iones. En cambio, una tensión no de cc, tal como una tensión de alimentación de corriente alterna (ca) tiene una tensión de ca promediada en el tiempo que sería de aproximadamente cero. Emplear una sola polaridad en el curso de las etapas ya sea de eliminación de iones (desionización) o de rechazo de iones (regeneración) en la operación de la célula electrolítica 102 de intercambio iónico permite que los iones de la disolución 20 que está siendo tratada viajen en una sola dirección, acercándose o alejándose de los electrodos 124,

128, proporcionando con ello un transporte neto de masas de iones ya sea de entrada o salida de las membranas 10 de disociación del agua. La magnitud de la tensión media de cc se obtiene integrando matemáticamente la tensión en un periodo de tiempo y dividiendo la integral por el periodo de tiempo. La polaridad de la integración dice si se está en el modo de eliminación o de rechazo de iones, y la magnitud de este cálculo es proporcional de la energía eléctrica puesta a disposición de la eliminación o el rechazo de iones.

También puede colocarse un sensor 144 de iones de salida en la corriente de disolución exterior a la salida 118 (según se muestra) o interior al alojamiento 129 para determinar la concentración iónica de la solución tratada. El sensor 144 de iones puede medir, por ejemplo, la concentración, las especies o la relación de concentraciones de iones en la solución tratada. En una versión, el sensor 144 de iones es un sensor de conductividad, que es útil para determinar y controlar la concentración del total de sólidos disueltos (TDS) en la disolución efluente tratada 20. Alternativamente, el sensor 144 de iones puede ser un sensor específico a una especie iónica particular, por ejemplo al nitrato, el arsénico o el plomo. El sensor específico a un ion puede ser, por ejemplo, un ISE (electrodo selectivo de iones). Generalmente, se prefiere colocar el sensor 144 de iones tan corriente arriba como sea posible para obtener la medición lo antes posible. En esta realización, cuanto antes pueda determinarse la medición del sensor de iones, más precisamente puede controlarse la concentración iónica de la solución tratada.

Un controlador 138 puede operar la fuente 134 de alimentación en respuesta a una señal de concentración iónica recibida del sensor 144 de iones a través de un bucle cerrado 142 de información de retorno de control. El controlador 138 es cualquier dispositivo capaz de recibir, procesar y remitir la señal del sensor de iones a la fuente 134 de alimentación para regular el nivel de tensión, tal como, por ejemplo, un ordenador de uso general dotado de una CPU, memoria, dispositivos de entrada y pantalla, o incluso un controlador de soporte físico con circuitería adecuada. En una versión, el controlador envía una señal de control a la fuente 134 de alimentación para controlar la salida de tensión a los electrodos 124, 128. El controlador 138 comprende circuitería electrónica y código de programa para recibir, evaluar y enviar señales. Por ejemplo, el controlador puede comprender (i) un chip programable de circuitos integrados o una unidad central de proceso (CPU), (ii) memoria de acceso aleatorio y memoria almacenada, (iii) dispositivos periféricos de entrada y salida, tales como teclados y pantallas, y (iv) placas de interfaz de soporte físico que comprenden placas digitales de entrada y salida y placas de comunicaciones. El controlador también puede comprender instrucciones de código de programa almacenadas en la memoria que son capaces de controlar y monitorizar la célula electroquímica 102, el sensor 144 de iones, y la fuente 134 de alimentación. El código de programa puede estar escrito en cualquier lenguaje convencional de programación de ordenadores. Se introduce el código adecuado de programa en ficheros únicos o múltiples usando un editor convencional de texto y se almacena o se implementa en la memoria. Si el texto de código introducido está en un lenguaje de alto nivel, el código se compila, y el código resultante de compilador es enlazado a continuación con un código objeto de rutinas de librerías precompiladas. Para ejecutar el código objeto compilado enlazado, el usuario invoca el código objeto, haciendo que la CPU lea y ejecute el código para llevar a cabo las tareas identificadas en el programa. Una célula electroquímica 102 que tenga las membranas texturadas 10, y el separador integral opcional 80 superpuesto a la membrana 10, proporciona mejor control de la composición iónica de la corriente de disolución tratada, en comparación con las células electroquímicas convencionales, y la concentración iónica de la corriente de disolución tratada puede ser mejorada adicionalmente mediante el sistema de control de bucle cerrado.

Un procedimiento de comparación de los resultados de intercambio iónico procedentes de una célula convencional que tenga membranas no texturadas con los resultados obtenidos de una célula 102 que tenga membranas texturadas 10 es la ecuación de la ley de potencia proporcionada como Ecuación (3). En esta ecuación, L es la fracción de iones que queda en disolución tras pasar por N segmentos de la membrana texturada 10, cada uno de los cuales tiene un área geométrica A. Así, si el segmento A de membrana deja un 50% de iones en disolución, entonces dos segmentos secuenciales A de membrana dejarán $A^2 = 0,5^2 = 0,25$ o un 25% de iones en disolución (para una reducción del TDS del 75%). La clave es medir el valor de A partir de un experimento en condiciones bien definidas y coherentes de regeneración y desionización (incluyendo el volumen del agua desionizada).

$$L = A^N \quad (3)$$

La Ecuación (3) permite la normalización de resultados para células 102 cada una de las cuales tiene áreas totales diferentes de membrana y/o membranas diferentes. Por ejemplo, suponiendo que una primera célula tiene un área total de membrana de $0,070 \text{ m}^2$, para usar la Ecuación 3, hay que definir primero un área A, que será aplicada sistemáticamente para todos los cálculos y las comparaciones; por ejemplo, sea $A = 0,1 \text{ m}^2$ (puede ser cualquier valor). Para una célula según este ejemplo, $N = 0,70$ (la célula real es de $0,070 \text{ m}^2$, de modo que contiene 0,7 unidades del área A de membrana definida). El experimento de eliminación y sustitución de iones es completa bajo condiciones especificadas, incluyendo el volumen de la disolución desionizada, que para este ejemplo es 1 litro. El experimento mide L, la fracción de iones que queda en la disolución tratada. Suponiendo que $L = 0,6$ (queda un 60% de iones en disolución) para esta célula, $N = 0,70$, entonces se calcula $A = 0,482$. Ahora pueden determinarse los litros de agua del experimento que pueden ser tratados hasta cualquier nivel de reducción de TDS; para este ejemplo, digamos una reducción del 90% por 1 m^2 de esta membrana (sirviendo como factores de normalización la reducción del 90% de TDS y el metro cuadrado). Sean $L = 0,1$, $A = 0,482$, y se calcula $N = 3,16$. Así, el área geométrica de la membrana para tratar 1 litro de agua hasta una reducción del 90% de TDS es $0,316 \text{ m}^2$; y los litros de agua que pueden reducirse con una reducción del 90% de TDS en las condiciones especificadas es de 3,16

litros/m². Pueden compararse entonces diversas membranas, texturadas y no texturadas, mediante el volumen de agua que puede ser tratada hasta una reducción del 90% de TDS, por ejemplo, por 1 m² de membrana.

Ejemplos

5 Los ejemplos siguientes demuestran la efectividad del aparato 120 de control de iones, de la célula electroquímica 102, y de las membranas 10 fabricados según la presente invención. en estos ejemplos, las membranas 10 fueron fabricadas por procedimientos diferentes y su rendimiento de intercambio iónico en células electroquímicas fue evaluado para realizar comparaciones.

Ejemplos 1 y 2

10 Estos ejemplos se llevaron a cabo para comparar el rendimiento de una primera célula electroquímica convencional que tenía membranas no texturadas con el rendimiento de una segunda célula electroquímica 102 fabricada con membranas texturadas 10. En ambos tipos de células, las membranas se fabricaron laminando conjuntamente un par de capas de intercambio catiónico y aniónico. La capa de intercambio catiónico estaba fabricada de una mezcla al 72% en peso de polvo de resina de intercambio iónico de ácido fuerte con el nombre comercial CG8-PWD, disponible en Resintech, mezclado con un aglutinante de polietileno, tal como el SLX 9090 de Exxon. La capa 12 de intercambio aniónico estaba fabricada de una mezcla al 65% en peso de polvo de resina de intercambio iónico de base fuerte, con el nombre comercial SBG1P-PWD, también disponible en Resintech, y el mismo aglutinante de polietileno. Cada uno de los materiales de intercambio aniónico y catiónico fue mezclado por separado en una mezcladora Banbury. A continuación, cada una de las composiciones mezcladas fue prensada por separado formando bloques, hinchada en agua, luego cortada en trozos de 7 por 14 cm. Se colocaron unos encima de otros 20 pares de bloques de intercambio aniónico y catiónico para formar una lámina de membrana.

En el Ejemplo 1, se construyó una primera célula electroquímica convencional, similar a la mostrada en la FIG. 7, usando una construcción de placa y bastidor. Siete láminas de membrana sin textura (planas) hinchadas en agua, cada una de aproximadamente 2 mm de grosor, proporcionaron un área geométrica total de aproximadamente 0,0702 m². Se troquelaron agujeros en un extremo de cada lámina de membrana en las esquinas inmediatamente dentro del contorno de la junta, y las láminas de membrana se apilaron unas encima de otras, con los agujeros colocados en extremos alternos de la pila para construir una célula de placa y bastidor. Las láminas de membrana se separaron mediante juntas de caucho (de 1 mm de grosor) con una red dieléctrica (también de 1 mm de grosor) para evitar que las membranas hicieran contacto entre sí.

30 Se colocaron dos electrodos, cada uno de los cuales comprendía una lámina contigua de titanio recubierta con un catalizador patentado de metal noble, denominado electrodo DSA, disponible en Electrode Corporation, en los dos extremos de la pila. Se colocó esta pila entre dos placas rígidas de plástico con una dimensión de 17 cm por 10 cm y un grosor de 2,5 cm. Las placas, las membranas y las juntas fueron comprimidas usando tornillos metálicos que atravesaban los bordes de las placas. Se efectuaron conexiones eléctricas entre los electrodos y arandelas montadas en el exterior de las placas de plástico usando resortes metálicos.

35 Se usó una fuente de alimentación para suministrar una corriente a los electrodos de la primera célula que estuvo limitada a no más de 240 mA con una tensión de 120 V. A continuación, se regeneró la célula con agua que tenía una conductividad de 60 μ S/cm a 20 ml/minuto durante un total de 30 minutos. Se desionizó en la célula una corriente de disolución en agua que comprendía 380 ml de disolución de NaCl de 750 ppm (que tenía una conductividad de 1550 μ S/cm) con un caudal de 50 ml/minuto. Se midió el total de sólidos disueltos (TDS) eliminado de la solución tratada en la primera célula como el 89%. Usando la técnica de normalización de la ley de potencia para calcular el volumen de agua, cada metro cuadrado de membrana puede tratar en estas condiciones de flujo y potencia para proporcionar una reducción del 90%, obteniéndose un área geométrica de membrana de 4,7 litros/m² para este volumen de desionización con las condiciones especificadas de regeneración y desionización usando una membrana no texturada.

45 En el Ejemplo 2, se fabricó una segunda célula electroquímica 102 con membranas texturadas 10 fabricadas gofrando las láminas de membrana planas y secas de disociación del agua usadas para el Ejemplo 1. Se prensaron pares de bloques de intercambio catiónico y aniónico entre dos placas texturadas rígidas de metal en una prensa caliente para formar atributos 26 de textura conformados como crestas 36 y surcos 38 paralelos separados entre sí por ambas caras de la membrana 10, y discurriendo paralelos a la dirección que la corriente de disolución llevaría por la membrana. Los atributos 26 de textura tenían dimensiones d_{pv} (pico a valle) de aproximadamente 0,08 cm y dimensiones d_{pp} (pico a pico) de 0,15 cm. Estas membranas texturadas 10 fueron hinchadas en agua y cortadas en siete bloques de 7 cm por 14 cm, proporcionando un área geométrica total de aproximadamente 0,0702 m². Se proporcionaron una construcción y una operación de la célula como en el Ejemplo 1. Esta segunda célula 102 proporcionó una reducción de TDS del 95% para los mismos 0,38 litros de 750 ppm de NaCl desionizados en la célula; esto equivale a una membrana de 6,8 litros/m² para una reducción del 90% de TDS cuando se usan estas membranas texturadas.

Así, la segunda célula 102 del Ejemplo 2 que tenía membranas texturadas proporcionó una mejora del 45% en el rendimiento de las membranas en comparación con la primera célula del Ejemplo 1, que tenía membranas no

texturadas. Esto representó una mejora significativa e inesperada en el rendimiento de las membranas para la misma área geométrica de las membranas y las mismas condiciones de proceso.

Ejemplos 3 y 4

5 En estos ejemplos, se comparó el rendimiento de una célula que tenía membranas no texturadas enrolladas en espiral con el de una célula 102 que tenía membranas texturadas 10 enrolladas en espiral. En ambas células, las membranas 10 se fabricaron de una capa 14 de intercambio catiónico fabricada de una mezcla al 60% en peso de polvo de resina de intercambio iónico de ácido fuerte (CG8-PWD; de Resintech) y un 40% en peso de polietileno (SLX-9090; de Exxon), y de una capa 12 de intercambio aniónico fabricada al 65% en peso de polvo de resina de intercambio aniónico (SBG1P-PWD; Resintech) y un 34% en peso de polietileno. Los polvos de resinas de intercambio iónico son <150 μm y comprenden <2% de agua. Cada uno de los materiales de intercambio aniónico y catiónico fue mezclado en una mezcladora Banbury cuidando de no degradar térmicamente las resinas de intercambio iónico. Se formaron láminas de membrana por extrusión laminar usando una hilera de extrusión de 25,4 cm de anchura. La capa de intercambio catiónico fue extrudida en primer lugar formando una lámina de 0,025 cm de grosor, y la capa de intercambio aniónico fue extrudida encima de ella para producir una membrana de disociación del agua. Se empleó una segunda etapa de calandrado usando el conjunto de rodillos de extrusión para adelgazar la lámina hasta un grosor de 0,028 cm y, tras hincharse en el agua, la lámina de membrana plana de disociación del agua era de un grosor aproximado de 0,038 cm.

20 En el Ejemplo 3, se formó un cartucho para una tercera célula enrollando en espiral en torno a un tubo central seis trozos de membrana, cada uno de 100 cm de longitud y 15 cm de anchura, y con seis separadores plásticos de red con un grosor de 0,0254 cm (red 4122; Delstar) entre los mismos. Las 12 capas fueron enrolladas colocándolas sobre una superficie plana unas encima de otras con un patrón alterno, estando separada cada membrana por una red separadora, y desplazados los extremos de las membranas por 1 cm. Se usó un tubo reticular rígido de plástico de 15 cm de longitud (RN 2540; Internet, Inc.) como tubo central alrededor del cual se enrollaron las membranas y los separadores. Tras enrollar las 12 capas de membranas y separadores en torno al tubo central, el conjunto enrollado fue contenido con un tubo reticular mayor preparado a partir de una red plana (XN 1678, Internet, Inc.). Este conjunto enrollado fue cortado a una longitud de 13,0 cm, y los dos tapones terminales fueron fijados con adhesivo termoplástico. Uno de los tapones terminales comprendía una junta tórica para proporcionar un paso estanco para que el agua fluyera dentro y fuera del cartucho. El cartucho final con tapones terminales tenía una altura de 13,8 cm y un diámetro de 8,9 cm, y comprendía 0,78 m^2 de membrana de disociación del agua.

30 Se caracterizó un cartucho según el Ejemplo 3 colocándolo en un alojamiento cilíndrico que comprendía unos electrodos interno y externo, un tubo central ascendente como un orificio del alojamiento y un segundo orificio cerca de la parte superior de la pared exterior del alojamiento. El cartucho fue regenerado en primer lugar durante 20 minutos con un flujo de agua en la dirección de dentro a fuera (la conductividad del agua aportada fue de 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$), la potencia estuvo limitada a una corriente máxima de 0,5 amperios a 250 voltios y el caudal fue de 0,1 litros/min, produciendo un volumen de desecho de 2 litros (conductividad media de 1750 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Para la desionización se invirtieron la polaridad de los electrodos y la dirección del flujo y se bombeó a la célula agua de alimentación (950 $\mu\text{S}/\text{cm}$) a 0,60 litros/minuto, produciendo 6,4 litros que presentaban una reducción del 67% de TDS. Usando la técnica de normalización de la ley de potencia para calcular el volumen de agua, cada metro cuadrado de membrana puede tratar en estas condiciones de flujo y potencia para proporcionar un 90%R (una reducción de TDS), obteniéndose un área geométrica de membrana de 4,9 litros/ m^2 para este volumen de desionización para esta membrana no texturada.

45 En el Ejemplo 4, se fabricó un cartucho para una cuarta célula 102 con membranas texturadas 10 que tenían atributos 26 de textura conformados como crestas 36 y surcos 38 paralelos separados entre sí, con dimensiones d_{pv} (pico a valle) de aproximadamente 0,020 cm y dimensiones d_{pp} (pico a pico) de 0,030 cm. Se preparó la membrana texturada 10 con la misma lámina de membrana plana de dos capas de 0,028 de grosor usada en la célula anterior, haciendo pasar esta lámina de membrana entre dos rodillos de metal que tenían el patrón deseado de textura, según se muestra en la FIG. 5. En la etapa texturizante, se hizo pasar a la lámina de membrana por un precalentador corto para ablandar la membrana 10, luego entre los propios rodillos texturados, que también fueron calentados hasta una temperatura suficientemente elevada (aproximadamente 100 $^{\circ}\text{C}$) para aplicar el patrón de la textura en la lámina de membrana. La lámina de la membrana texturada fue hinchada posteriormente en el agua para proporcionar una membrana texturada 10 para su enrollamiento en espiral dentro de un cartucho.

55 El cartucho del Ejemplo 4 fue construido exactamente como en el Ejemplo 3, y fue caracterizado en la misma célula con condiciones idénticas. Así, el área superficial geométrica de la membrana siguió siendo 0,78 m^2 . La conductividad del volumen de agua de regeneración fue de 2450 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El volumen de desionización de 6,4 litros presentó una reducción del 90% de TDS. Usando la técnica de normalización de la ley de potencia, esto equivale a 7,4 litros/ m^2 para obtener una reducción del 90% de TDS para este volumen de desionización usando esta membrana texturada.

Así, se logró una mejora del 51% en el rendimiento de la membrana 10 para la célula enrollada en espiral del Ejemplo 4, que tenía membranas texturadas, en comparación con la célula enrollada en espiral del Ejemplo 3, que estaba fabricada con una membrana no texturada que tenía la misma área geométrica.

Ejemplos 5 y 6

5 Estos ejemplos demuestran el excelente rendimiento de un cartucho que comprende membranas texturadas 10 que tienen separadores integrales 80, en comparación con un cartucho que tenga membranas texturadas 10 que estén separadas por capas separadoras individuales. En el Ejemplo 5, se preparó un cartucho 100 con membranas texturadas 10 que comprendían aproximadamente un 50% en peso de resina de intercambio catión de ácido débil (HP333, de Rohm and Haas) y resina de intercambio aniónico de base fuerte (SIR100, de Resintech). Se construyeron seis manguitos de membranas, teniendo cada manguito aproximadamente 85 cm de longitud y 0,064 cm de grosor, y seis separadores de red de 0,0254 cm de grosor fueron enrollados y recortados a una longitud total de 13,8 cm, que luego fueron dotados de tapones terminales. Así, el área geométrica de la superficie total de la membrana fue de 0,70 m² y el diámetro fue de 8,9 cm. El cartucho fue caracterizado en una célula electroquímica según se ha descrito en los Ejemplos 3 and 4, proporcionando una reducción del 90% de TDS de 6,4 litros of a corriente de disolución de agua con una conductividad inicial de 950 µS/cm. La caída de presión para proporcionar un caudal de 0,60 litros/minuto fue de 41,37 kPa.

En el Ejemplo 6, antes de hinchar las membranas texturadas 10 con agua, se formó un separador 80 sobre las membranas 10 pulverizando filamentos 82 con un conjunto de pistola de pulverización termoplástica sobre la capa 14 de intercambio catiónico de la membrana 10. Los filamentos 82 se fabricaron con un sistema de aplicación Pro-Flex disponible en Hot Melt Technologies, Míchigan. Los filamentos 82 fueron de aproximadamente 50 micrómetros de diámetro y fueron pulverizados siguiendo un patrón aleatorio. Las condiciones del proceso de pulverización dieron como resultado un separador integral 80 que descansaba encima de los atributos 26 de textura de la membrana 10, según se muestra en la FIG. 4. Cada separador integral 80 tenía un grosor medio de aproximadamente 0.0175 cm. Se enrollaron sobre sí mismos ocho manguitos de membrana, cada uno de 75 cm de longitud, sin el uso de separadores individuales, la membrana enrollada fue recortada a 13,8 cm, y se aplicaron los tapones terminales. El área total de la membrana en el cartucho fue de 0,83 m² y el diámetro fue de 8,9 cm (un área de membrana un 19% mayor en el mismo volumen que para el Ejemplo 5). Este cartucho fue caracterizado en el Ejemplo 5, proporcionando una reducción del 84% de TDS de 6,4 litros del agua del experimento. La caída de presión para proporcionar un caudal de 0,60 litros/minuto fue de 62,05 kPa.

30 Estos resultados indican que el separador integral 80 proporciona una reducción de TDS casi idéntica a la del separador individual entre las membranas texturadas 10, a la vez que reduce el volumen del cartucho en aproximadamente un 7%. Además, se descubrió que el separador integral 80 tenía una excelente adherencia a las membranas 10, facilitando con ello el montaje de las membranas y las capas separadoras en la configuración de un cartucho.

35 La célula electroquímica de la presente invención proporciona varias ventajas. Las membranas 10 de superficie texturada con el separador integral 80 mantienen un hueco pequeño, uniforme y homogéneo entre las membranas 10, a la vez que reducen el volumen total ocupado por la célula electroquímica 102. Además, las distancias de los espacios coherentes y pequeños entre las membranas texturadas 10 con separadores integrales 80 reducen la variación de la densidad de corriente y proporcionan velocidades de transporte de masas y caídas de presión coherentes en el espacio entre las membranas 10. Las membranas texturadas 10 también proporcionan buenas velocidades de intercambio iónico y altas velocidades y rendimientos de flujo de tratamiento de disoluciones. Además, los atributos 26 de textura de la membrana 10 mejoran significativamente el rendimiento de la membrana, proporcionando beneficios inesperados para las membranas 10 y las células electroquímicas 102.

45 Se ha descrito la presente invención con detalle considerable con referencia a versiones ejemplares de la misma. sin embargo, también son posibles otras versiones, según resultaría evidente a una persona con un dominio normal de la técnica. Por ejemplo, también pueden usarse otras disposiciones de membranas en un cartucho, o de electrodos en la célula electroquímica, dependiendo de la concentración iónica de la corriente de disolución, del volumen de disolución que haya de tratarse o del tratamiento de intercambio iónico deseado. Además, se proporcionan términos relativos tales como primero, segundo, exterior, interior, únicamente para ilustrar la invención y son intercambiables entre sí; por ejemplo, el primer electrodo puede ser el segundo electrodo.

50

REIVINDICACIONES

1. Una membrana bipolar texturada (10) de disociación del agua que comprende:
 - (a) una capa (12) de intercambio de aniones superpuesta a una capa (14) de intercambio de cationes para formar una membrana laminar y para formar entre las mismas una superficie heterogénea (18) de contacto de disociación del agua; y
 - (b) una superficie texturada al descubierto que tiene un patrón de atributos (26) de textura que comprende picos (28) y valles (30) separados entre sí.

2. Una membrana (10) según la reivindicación 1 en la que o bien:
 - (i) los picos (28) son crestas (36a,b) y los valles (30) comprenden surcos (38a,b) entre crestas adyacentes (36a,b), siendo las crestas (36a,b) y los surcos (38a,b) generalmente paralelos a la dirección que la disolución recorre a través de la membrana (10) durante el uso de la membrana (10); o
 - (ii) los picos (28) comprenden salientes cónicos (48) o mesetas (50), y los picos (28) se proyectan hacia fuera desde una zona de superficie sustancialmente plana que define los valles (30).

3. Una membrana (10) según las reivindicaciones 1 o 2 **caracterizada porque** los atributos (26) de textura comprenden al menos una de entre:
 - (i) una dimensión mayor que el grosor de una capa estancada formada en la superficie de la membrana (10) por una disolución que recorre la superficie de la membrana (10);
 - (ii) una dimensión de al menos aproximadamente 2 micrómetros;
 - (iii) una distancia d_{pp} entre picos de al menos aproximadamente 10 micrómetros;
 - (iv) una distancia d_{pv} entre pico y valle de al menos aproximadamente 10 micrómetros;
 - (v) una relación de aspecto d_{pv}/d_{pp} de al menos aproximadamente 0,1; o
 - (vi) una relación de aspecto d_{pv}/d_{pp} de más de aproximadamente 0,1.

4. Una membrana (10) según las reivindicaciones 1 o 2 que, además, comprende canales (40) que atraviesan los picos (28).

5. Una membrana (10) según las reivindicaciones 1 o 2 en la que la capa de intercambio de aniones comprende grupos $-NR_3A$ y la capa de intercambio de cationes comprende grupos $-SO_3M$, siendo A el anión y M el catión.

6. Una membrana (10) según las reivindicaciones 1 o 2 que, además, comprende un separador integral (80) unido a la superficie texturada, estando **caracterizado** el separador integral (80) **por** al menos uno de entre:
 - (i) filamentos sobre la superficie texturada (24);
 - (ii) un revestimiento sobre los picos (28) de los atributos (26) de textura;
 - (iii) un grosor inferior a aproximadamente 1000 micrómetros; o
 - (iv) un grosor inferior a aproximadamente 500 micrómetros.

7. Un cartucho (100) para una célula electroquímica (102) de intercambio iónico, comprendiendo el cartucho (100):

una pluralidad de membranas texturadas (10) superpuestas entre sí, siendo cada membrana (10) una membrana (10) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6.

8. Un cartucho (100) según la reivindicación 7 **caracterizado porque** los atributos (26) de textura comprenden al menos una de entre:
 - (i) una dimensión mayor que el grosor de una capa estancada formada en la superficie de la membrana (10) por una disolución que recorre la superficie de la membrana (10);
 - (ii) una dimensión de al menos aproximadamente 2 micrómetros;
 - (iii) una distancia d_{pp} entre picos de al menos aproximadamente 10 micrómetros;
 - (iv) una distancia d_{pv} entre pico y valle de al menos aproximadamente 10 micrómetros;
 - (v) una relación de aspecto d_{pv}/d_{pp} de al menos aproximadamente 0,1; o
 - (vi) una relación de aspecto d_{pv}/d_{pp} de más de aproximadamente 0,1.

9. Un cartucho (100) según la reivindicación 7 que comprende un separador integral (80) sobre las membranas texturadas (10), estando **caracterizado** el separador integral (80) **por** al menos uno de entre:
 - (i) filamentos sobre la superficie texturada (24);
 - (ii) un revestimiento sobre los picos (28) de los atributos (26) de textura;
 - (iii) un grosor inferior a aproximadamente 1000 micrómetros; o
 - (iv) un grosor inferior a aproximadamente 500 micrómetros.

10. Un cartucho (100) según la reivindicación 7 en el que las membranas texturadas (10) están enrolladas en espiral en torno a un tubo central (106) y están cerradas por tapones terminales (114a,b).
11. Un cartucho (100) según la reivindicación 10 en el que al menos un tapón terminal tiene un agujero (133a,b) a través del cual puede pasar un electrodo (124, 128).
- 5 12. Un cartucho (100) según la reivindicación 10 en el que las membranas texturadas (10) enrolladas en espiral están desplazadas entre sí.
13. Un cartucho (100) según la reivindicación 12 en el que las membranas texturadas (10) enrolladas en espiral están desplazadas entre sí una distancia $d_o = 3,14 \cdot d_c / n$, siendo d_c el diámetro exterior del tubo central (106) sobre el que están enrolladas las membranas (10), y denotando n el número de membranas (10) a usar en el cartucho (100).
- 10 14. Un cartucho (100) según la reivindicación 12 en el que los extremos superiores (113) de las membranas desplazadas (10) están unidos entre sí.
15. Un cartucho (100) según la reivindicación 10 en el que ambos tapones terminales (114a,b) tienen juntas tóricas (160).
- 15 16. Una célula electroquímica (102) para eliminar o intercambiar iones de una corriente (20) de disolución, comprendiendo la célula electroquímica (102) un cartucho (100) según la reivindicación 7 y comprendiendo, además, un alojamiento (129) que comprende electrodos primero y segundo (124, 128) en torno al cartucho (100).
- 20 17. Un sistema electroquímico de intercambio iónico que comprende la célula electroquímica (102) de la reivindicación 15 y, además, comprende:
- (a) una fuente (134) de alimentación para suministrar una tensión a los electrodos primero y segundo (124, 128); y
- (b) una bomba (130) para hacer fluir una corriente (20) de disolución a través de la célula electroquímica (102).
- 25 18. Un procedimiento de fabricación de un cartucho (100) para una célula electroquímica (102) de intercambio iónico, comprendiendo el procedimiento:
- (a) formar una pluralidad de membranas texturadas (10), teniendo cada membrana (10) (i) materiales aniónicos y catiónicos de intercambio de iones superpuestos entre sí para formar una membrana laminar y para formar entre las mismas una superficie heterogénea (18) de contacto de disociación del agua y (ii) una superficie texturada al descubierto que tiene un patrón de atributos (26) de textura que comprende picos (28) y valles (30) separados entre sí;
- 30 (b) formar una pila (119) de membranas desplazadas de membranas texturadas (10) que están desplazadas entre sí;
- (c) proporcionar un tubo central (106) y enrollar la pila (119) de membranas desplazadas alrededor del tubo central (106) para formar un rollo (72) de cartucho (100); y
- 35 (d) unir los tapones terminales superior e inferior (114a,b) al rollo de cartucho (100).
19. Un procedimiento según la reivindicación 18 que comprende la formación de membranas texturadas (10) con atributos (26) de textura que tienen al menos una de:
- (i) una dimensión mayor que el grosor de una capa estancada formada en la superficie de la membrana (10) por una disolución que recorre la superficie de la membrana (10);
- 40 (ii) una dimensión de al menos aproximadamente 2 micrómetros;
- (iii) una distancia d_{pp} entre picos de al menos aproximadamente 10 micrómetros;
- (iv) una distancia d_{pv} entre pico y valle de al menos aproximadamente 10 micrómetros;
- (v) una relación de aspecto d_{pv}/d_{pp} de al menos aproximadamente 0,1; o
- (vi) una relación de aspecto d_{pv}/d_{pp} de más de aproximadamente 0,1.
- 45 20. Un procedimiento según la reivindicación 18 en el que (b) comprende poner unas membranas (10) encima de otras de modo que los extremos superiores (113) de las membranas (10) estén desplazados entre sí en la misma dirección.
21. Un procedimiento según la reivindicación 20 que comprende desplazar los extremos superiores (113) de las membranas (10) una distancia $d_o = 3,14 \cdot d_c / n$, siendo d_c el diámetro exterior del tubo central (106) sobre el que están enrolladas las membranas (10), y denotando n el número de membranas (10) a usar en el cartucho (100).
- 50 22. Un procedimiento según la reivindicación 18 en el que (b) comprende formar una o más pilas de subconjuntos de membranas (10).

23. Un procedimiento según la reivindicación 18 que comprende unir entre sí los extremos superiores (113) de las membranas desplazadas (10) mediante pinzas, adhesivo, encastrado térmico, remaches, cosido, grapas, unión o soldadura ultrasónica.
- 5 24. Un procedimiento según la reivindicación 18 en el que (c) comprende colocar la superficie inferior (91) de la pila (119) de membranas desplazadas sobre el tubo central (106) y enrollar la pila alrededor del tubo central (106) mientras se mantiene una tensión en la pila traccionando la pila de membranas (10) o aplicando una fuerza radial.
25. Un procedimiento según la reivindicación 18 en el que (c) comprende, además, sujetar un manguito externo (110) sobre el rollo de cartucho (100).
- 10 26. Un procedimiento según la reivindicación 25 que comprende sujetar el manguito externo (110) a las membranas (10) antes del enrollamiento, y unir el manguito externo (110) consigo mismo con adhesivo, con una soldadura o con una fibra.
27. Un procedimiento de fabricación de un cartucho (100) para una célula electroquímica (102) de intercambio iónico según una cualquiera de las reivindicaciones 18 a 26, comprendiendo el procedimiento:
- 15 (b) formar la pila (119) de membranas desplazadas de membranas texturadas (10) poniendo unas membranas (10) encima de otras de modo que los extremos superiores (113) de las membranas (10) estén desplazados entre sí en la misma dirección, y uniendo entre sí los extremos superiores (113) de las membranas desplazadas (10); comprendiendo el procedimiento, además, enrollar un manguito externo (110) alrededor del rollo de cartucho (100) para que se solape sobre sí mismo.
- 20 28. Un procedimiento de formación de una célula electroquímica (102), comprendiendo el procedimiento:
- (a) proporcionar un alojamiento (129) que tiene entradas (116) y salidas (118) de la disolución;
- (b) colocar un rollo de cartucho (100) formado según el procedimiento de la reivindicación 18 dentro del alojamiento (129) de la célula electroquímica (102), de modo que el tubo central (106) tenga conexión de fluido con la salida (118) del alojamiento (129).

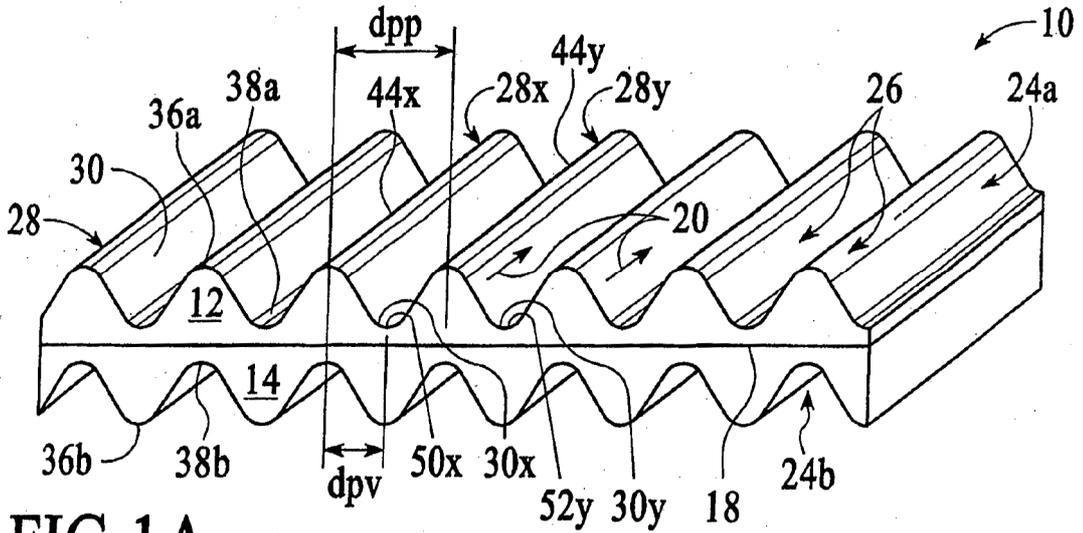


FIG. 1A

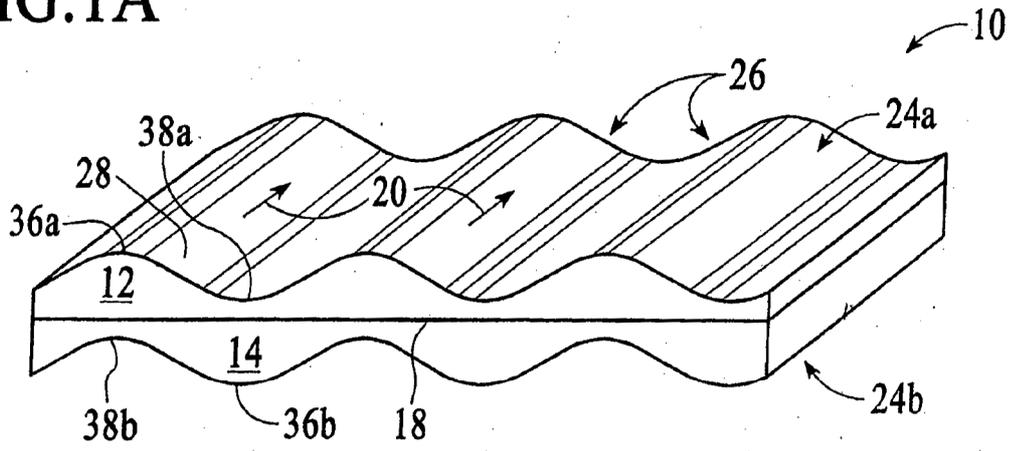


FIG. 1B

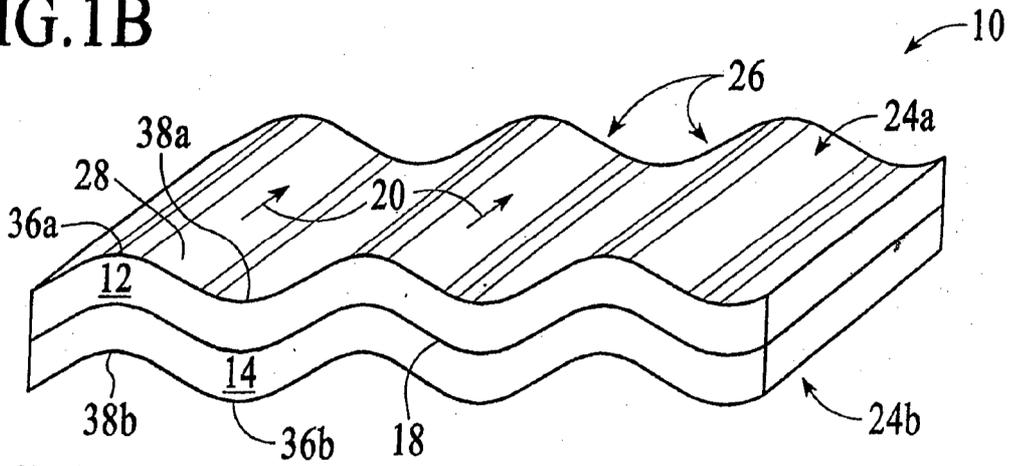


FIG. 1C

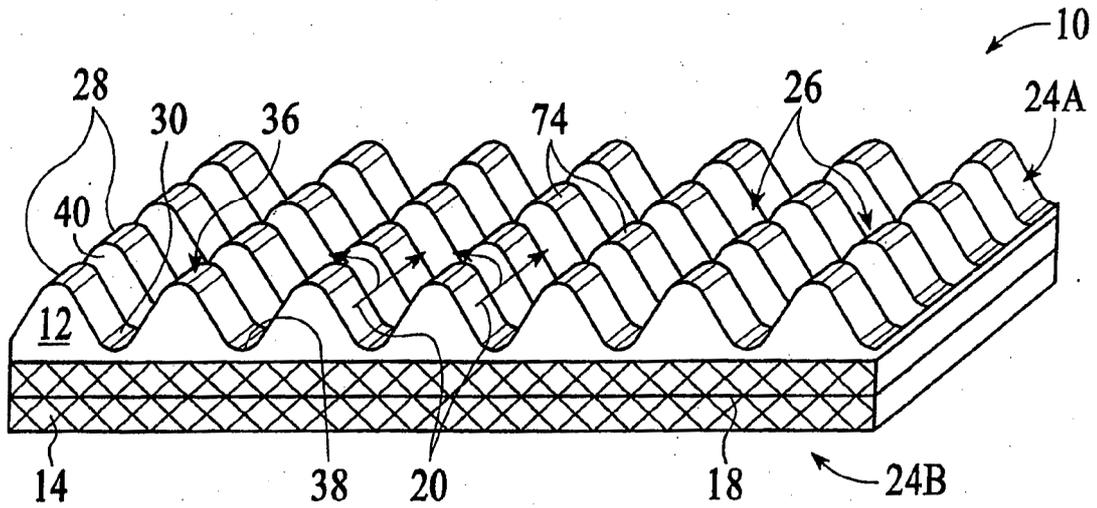


FIG. 1D

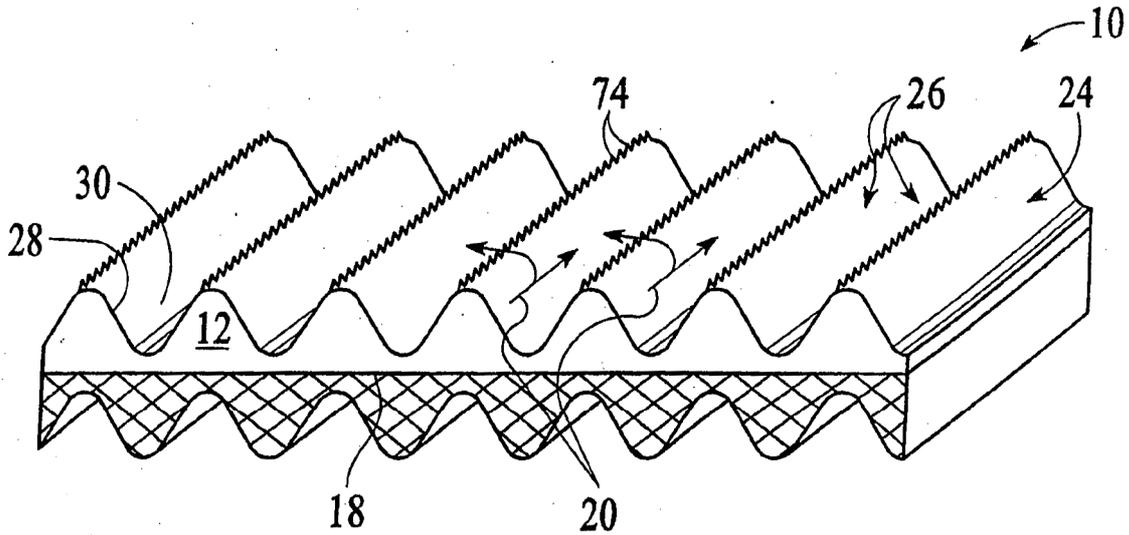


FIG. 1E

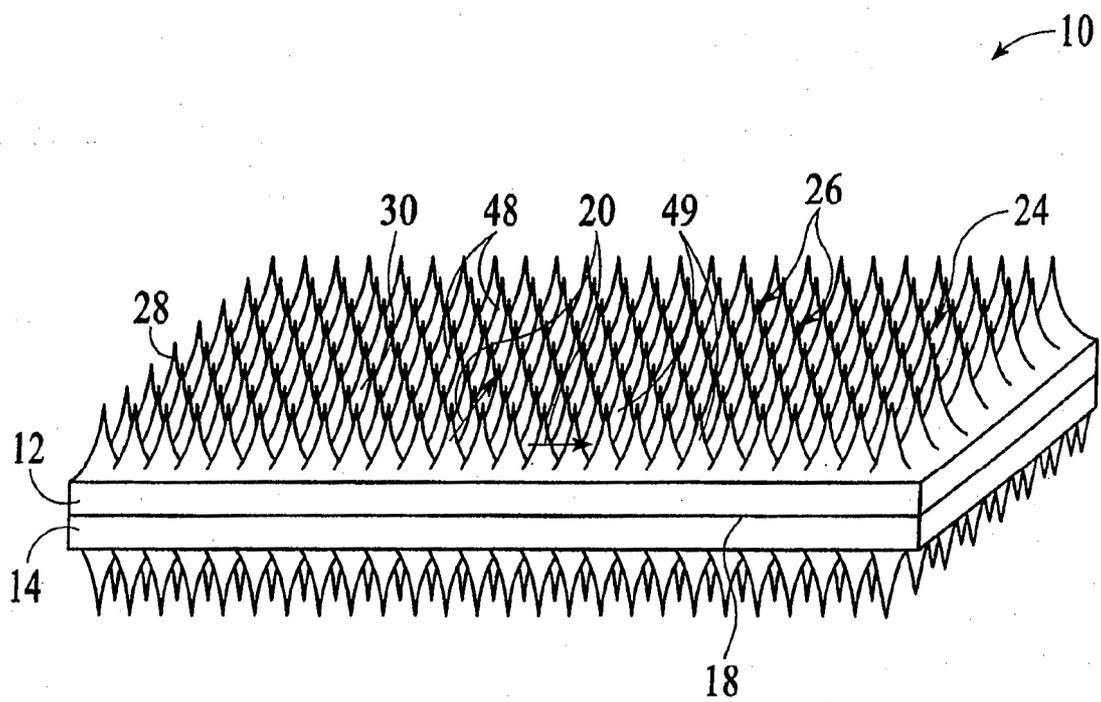


FIG.2

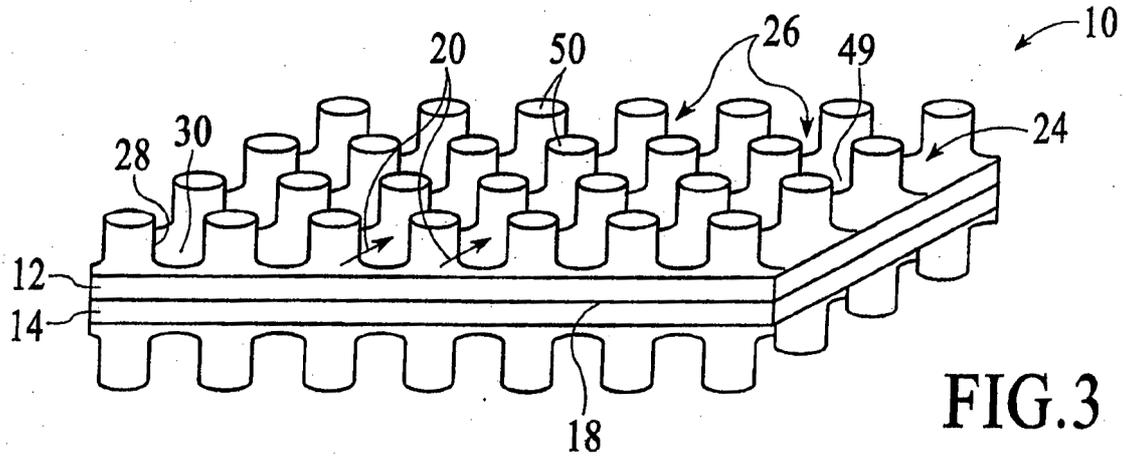


FIG. 3

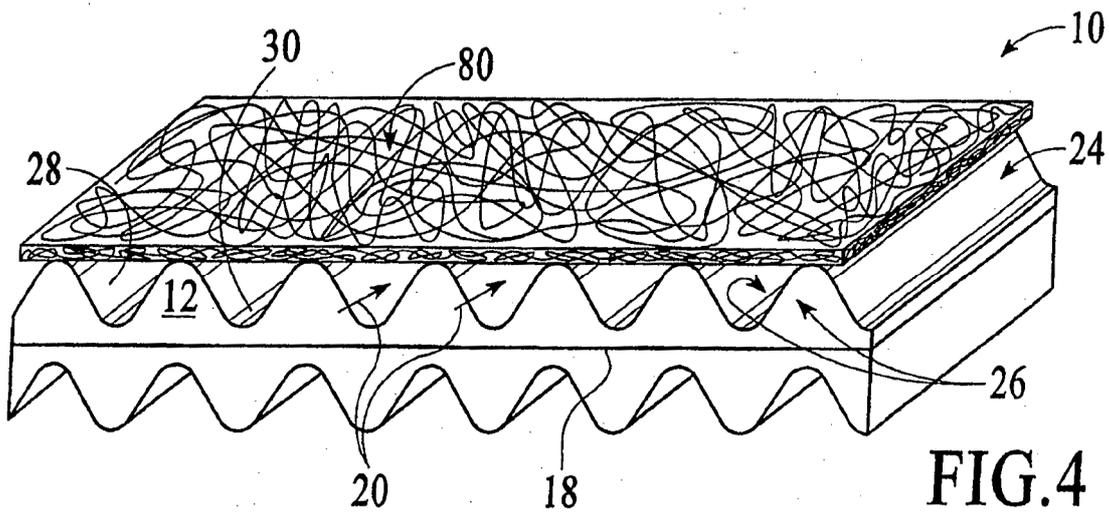


FIG. 4

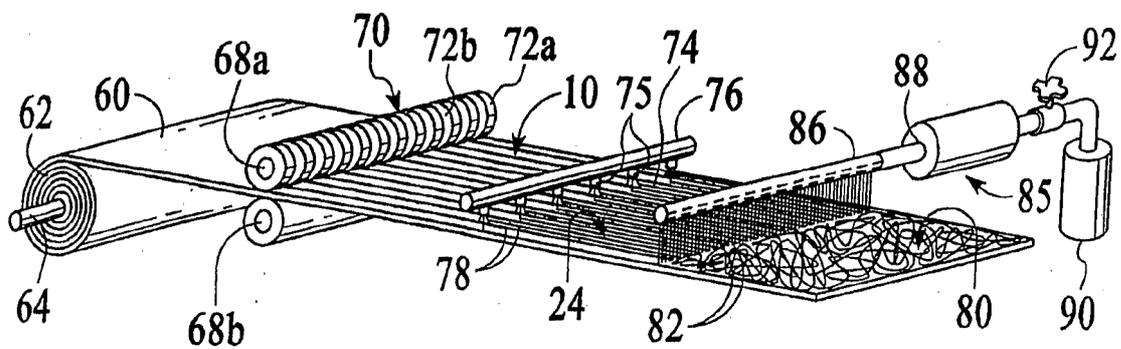


FIG. 5

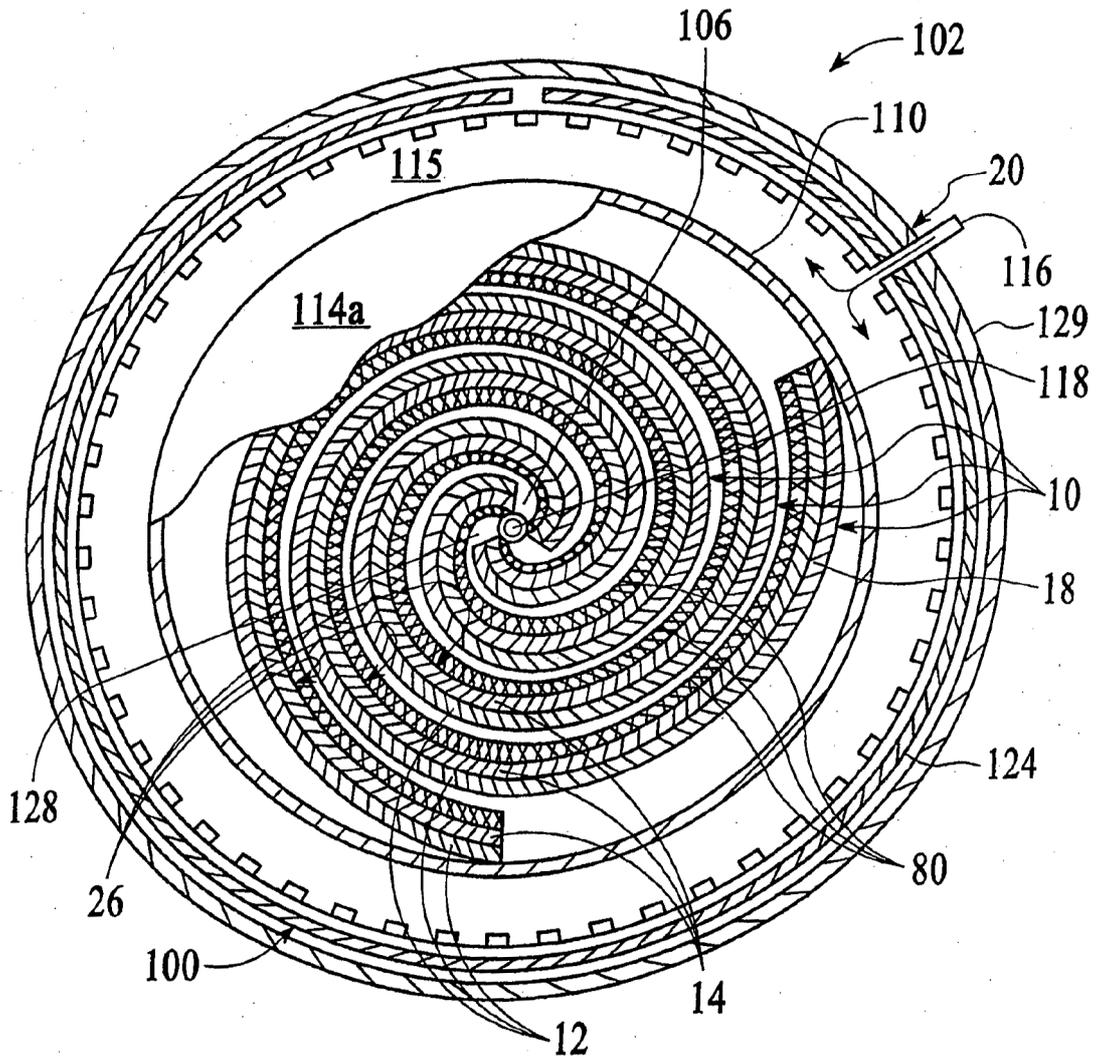


FIG.6

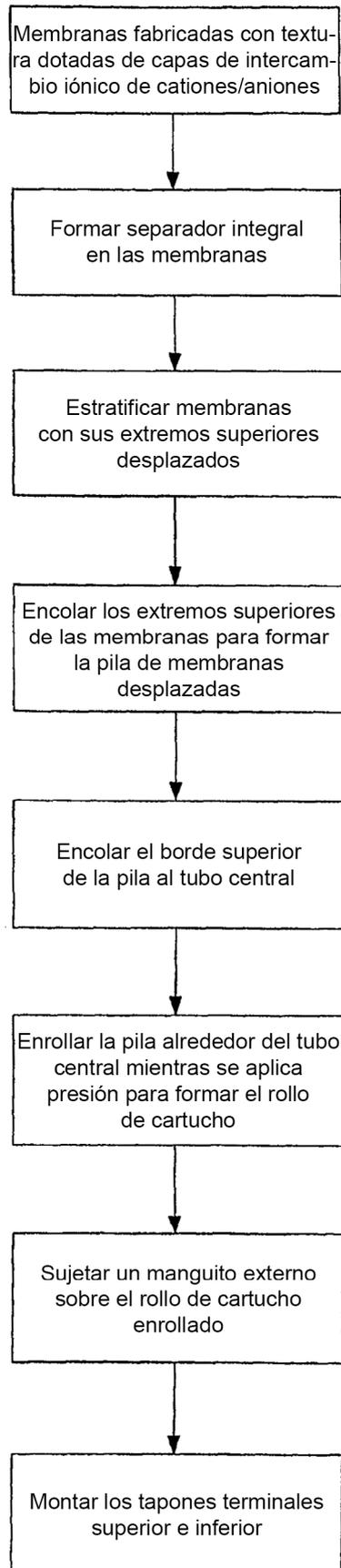


FIG. 7

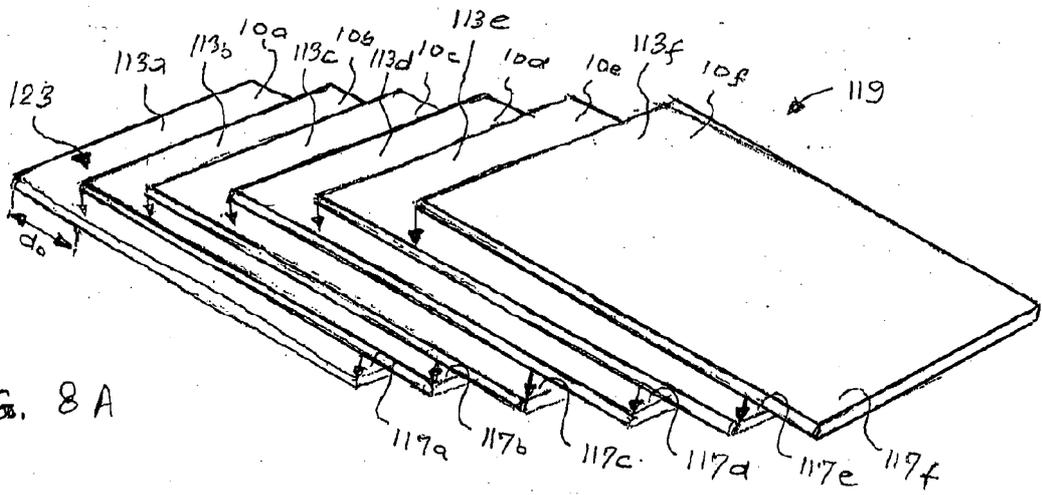


FIG. 8A

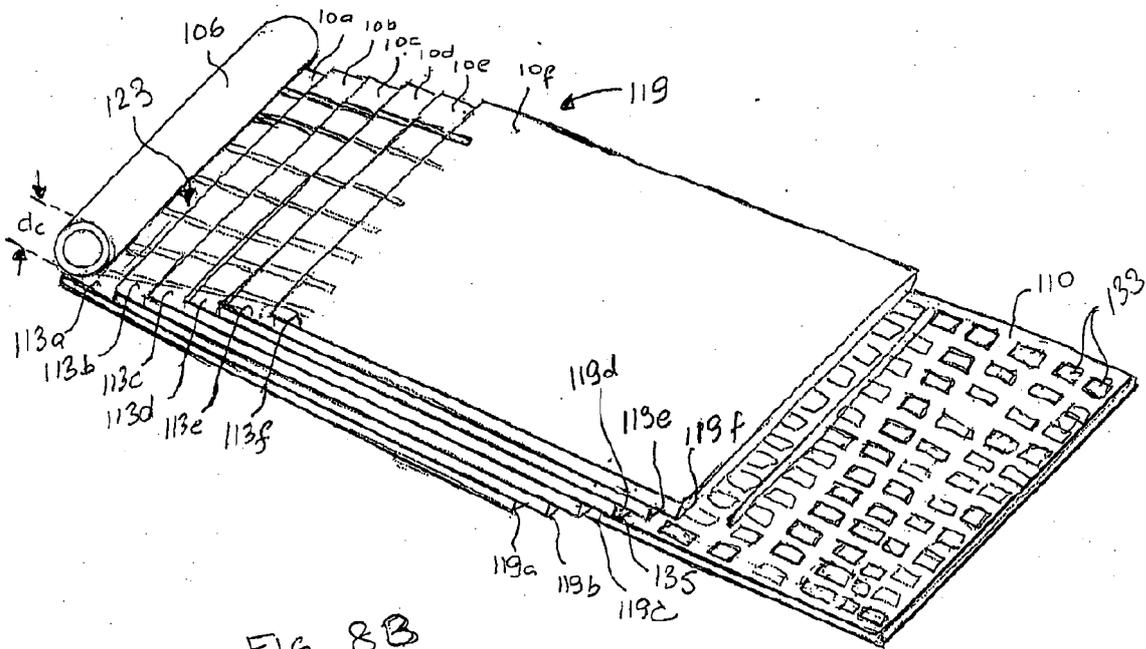


FIG. 8B

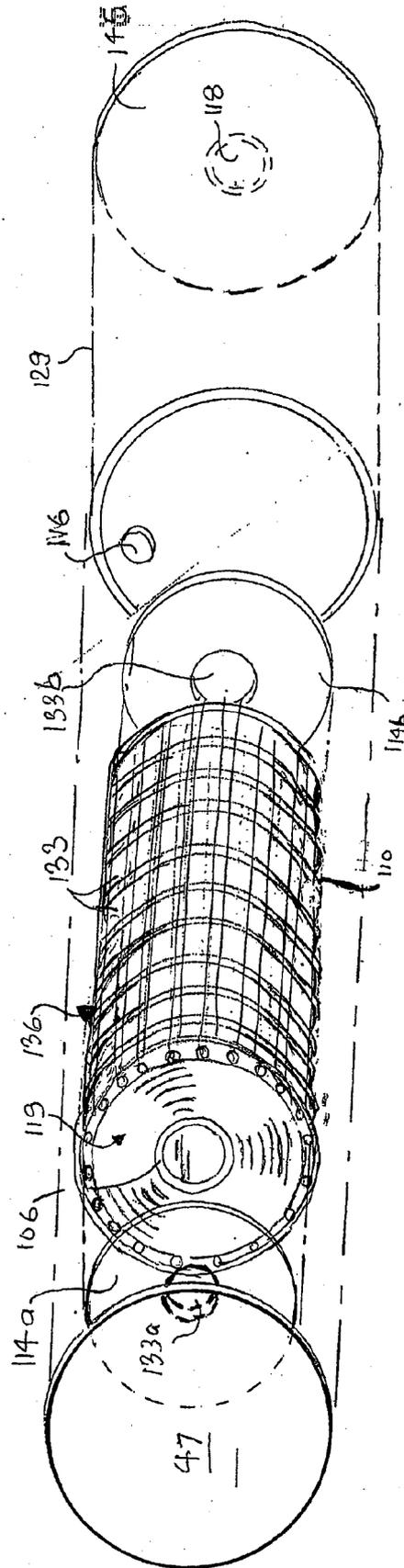


FIG. 8C

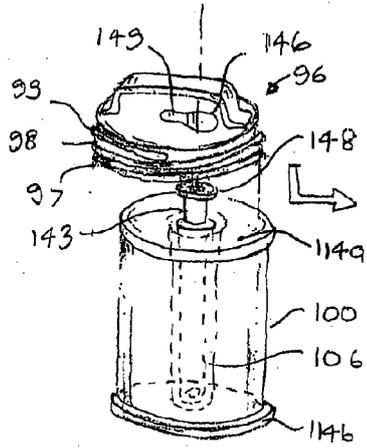


FIG. 9A

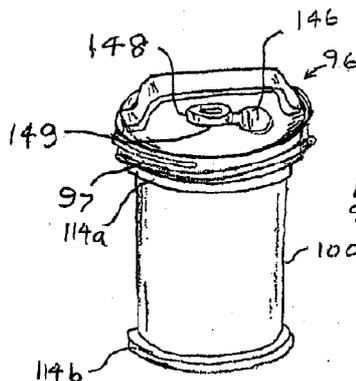


FIG. 9B

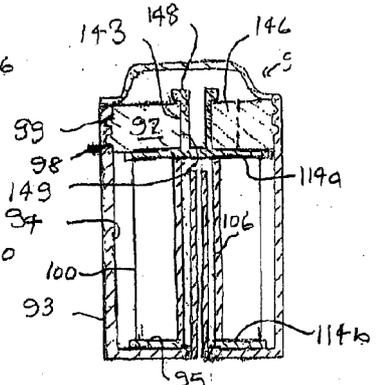


FIG. 9C

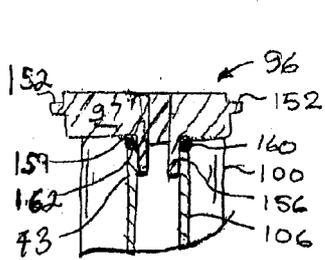


FIG. 10E

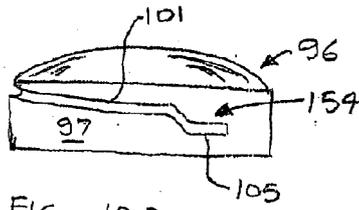


FIG. 10D

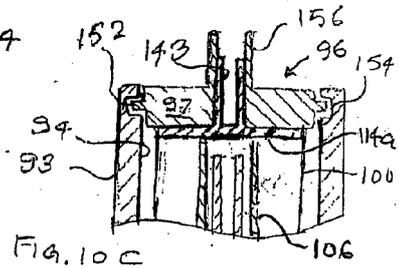
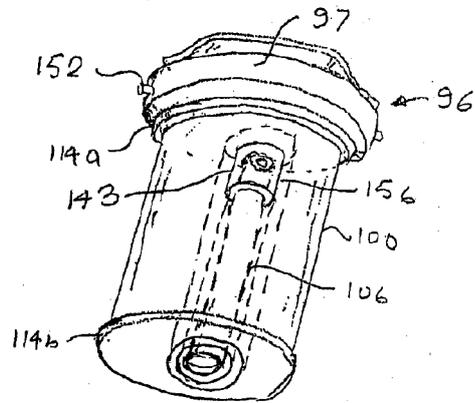
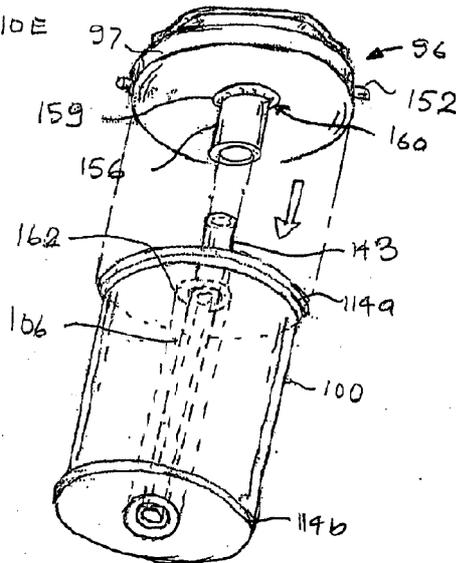


FIG. 10C



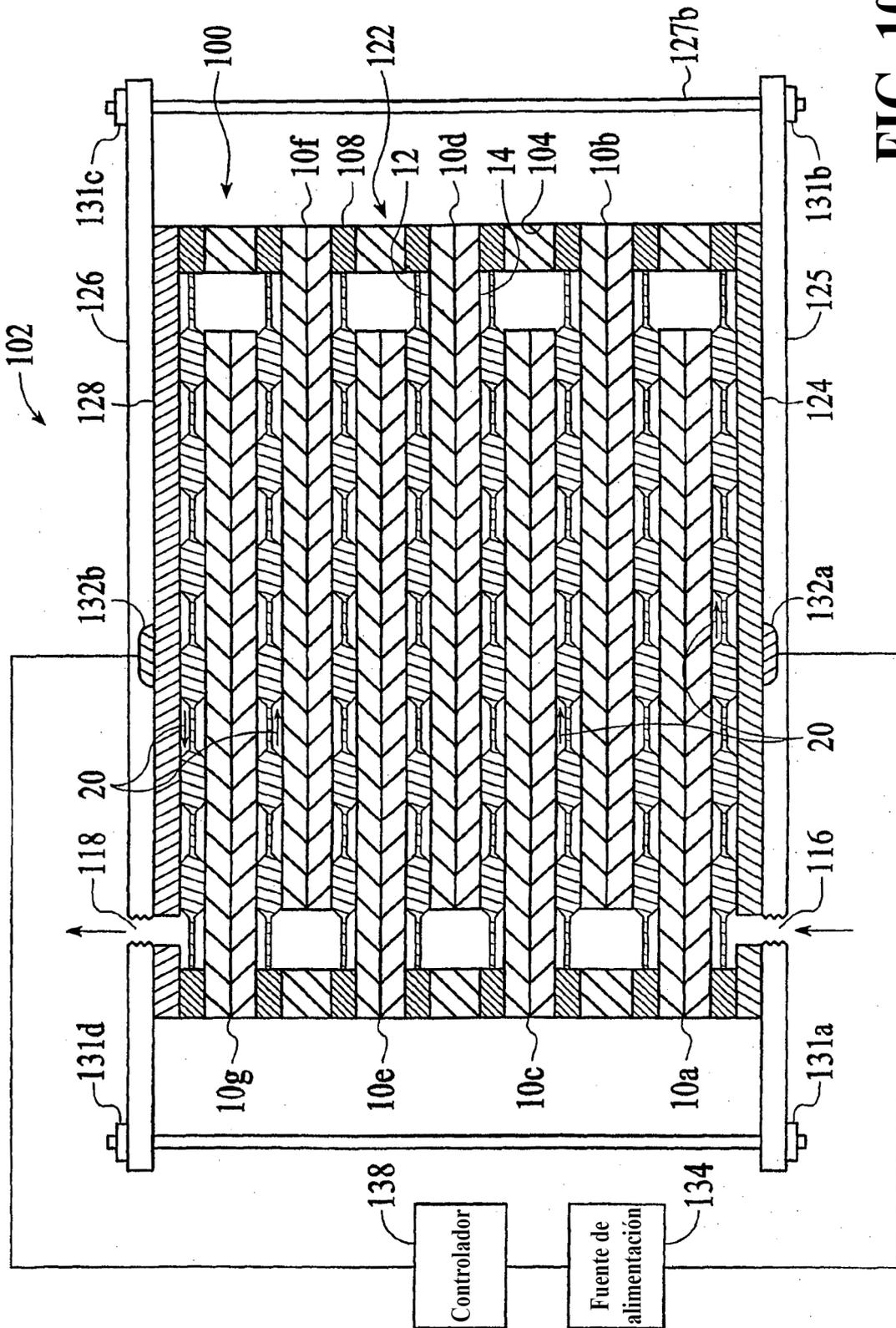


FIG. 10

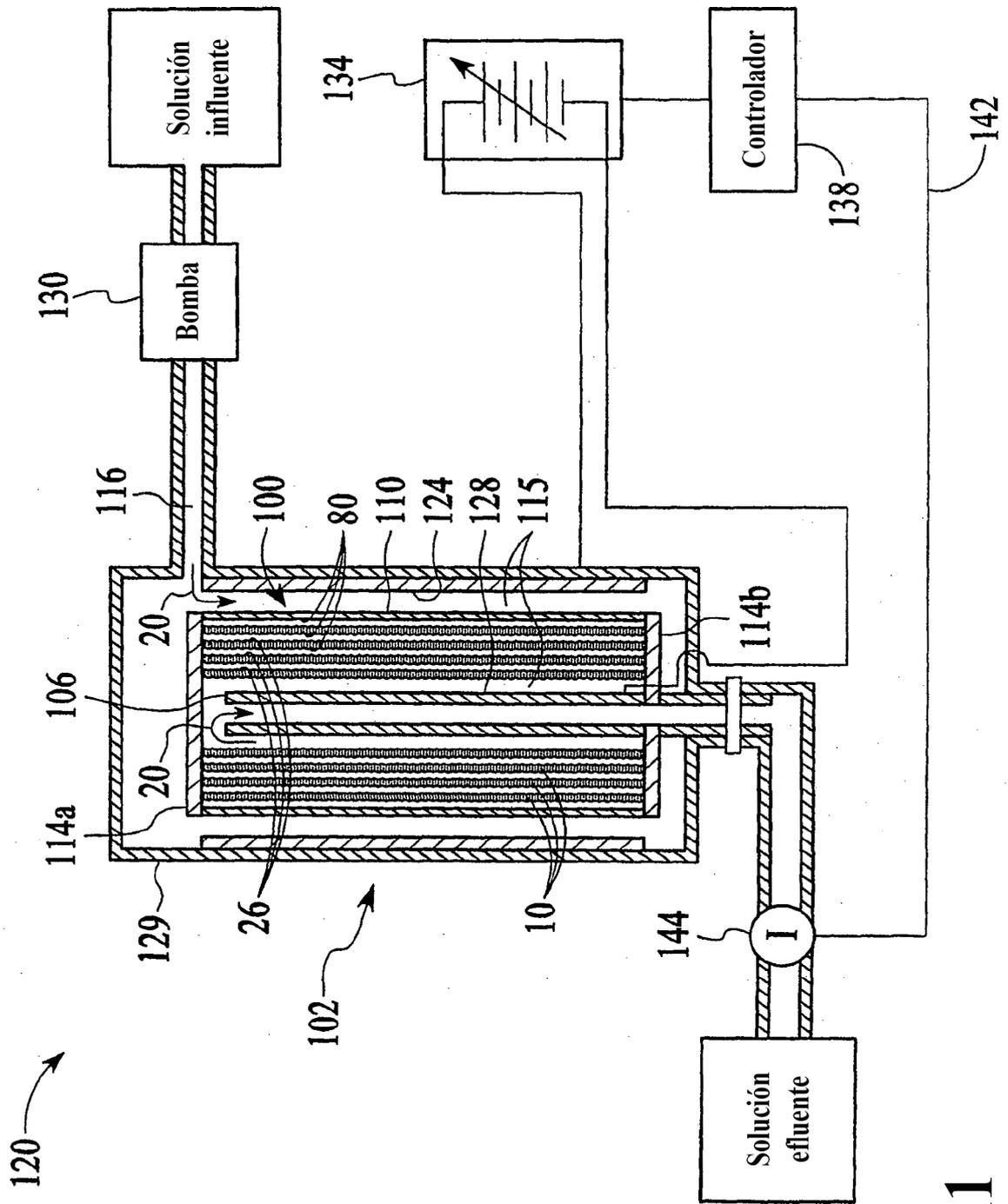


FIG. 11