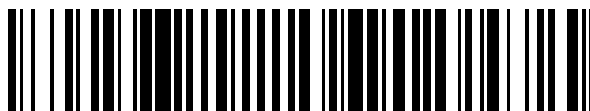


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 402 561**

51 Int. Cl.:

H01M 8/22 (2006.01)

B01D 61/42 (2006.01)

C02F 1/44 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.11.2009 E 09764323 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.02.2013 EP 2359431**

54 Título: **Dispositivo y método para realizar un procedimiento de electrodiálisis o uno de electrodiálisis inversa**

30 Prioridad:

24.11.2008 NL 1036233

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

06.05.2013

73 Titular/es:

**REDSTACK B.V. (100.0%)
Pieter Zeemanstraat 6
8606 JR Sneek , NL**

72 Inventor/es:

**POST, JAN WILLEM;
METZ, SYBRAND;
HOEKSTRA, WATSE y
LEIJSTRA, PETRUS ANTONIUS JOHANNES**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 402 561 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

Dispositivo y método para realizar un procedimiento de electrodiálisis o uno de electrodiálisis inversa.

5 La presente invención se refiere a un dispositivo para realizar un procedimiento de electrodiálisis o uno de electrodiálisis inversa. Estos procedimientos son técnicas basadas en membranas. La electrodiálisis se usa, por ejemplo, para desalinización o recuperación de minerales. La electrodiálisis inversa se usa, por ejemplo, para la generación de energía por mezcla, por ejemplo, de agua de río y agua del mar.

10 Los dispositivos conocidos para realizar un procedimiento de diálisis eléctrica o uno de diálisis eléctrica inversa usan diversas membranas de intercambio iónico. En estos dispositivos se apila una serie de membranas de intercambio de cationes y aniones en un patrón alterno entre un cátodo y un ánodo. Las membranas adyacentes se mantienen a una distancia para formar compartimentos electrolíticos entre las membranas. Para asegurar que se mantiene esta distancia entre las membranas se usan los denominados espaciadores en el dispositivo.

La patente de EE.UU. 2007/0138008 desvela un elemento espaciador para uso en electrodiálisis de celdas cargadas con una porción continua y un tamiz o malla.

15 Los espaciadores contribuyen a la caída de presión por el dispositivo. También, los espaciadores ocupan parte de la superficie de la membrana (eficaz). Una unidad repetitiva o par de celdas consiste en una membrana de intercambio catiónico, un compartimento electrolítico relleno con un espaciador y la disolución de sal concentrada, una membrana de intercambio aniónico y un compartimento electrolítico relleno con un espaciador y la disolución diluida de sal. En el caso de electrodiálisis, un potencial eléctrico es el gradiente de potencial para el transporte de iones a través de las membranas. En el caso de electrodiálisis inversa, el gradiente de salinidad entre diluido y concentrado es el gradiente de potencial para este transporte. En el caso de disoluciones de cloruro de sodio, los iones sodio permean a través de la membrana de intercambio catiónico en la dirección del cátodo y los iones cloruro permean a través de las membranas de intercambio aniónico en la dirección del ánodo. Para mantener la neutralidad eléctrica de la disolución en el compartimento anódico, tienen lugar reacciones de oxidación en la superficie anódica. En el compartimento catódico tiene lugar una reacción de reducción en la superficie catódica. Los dispositivos conocidos experimentan pérdidas internas reduciéndose de ese modo la eficacia del procedimiento.

La presente invención tiene por objeto mejorar la eficacia de una electrodiálisis y/o procedimiento de electrodiálisis inversa, especialmente por disminución de pérdidas internas en estos dispositivos.

Este objeto se consigue con el dispositivo según la invención para realizar un procedimiento de electrodiálisis o uno de electrodiálisis inversa que comprende:

- 30 - una serie de compartimentos anódicos provistos de un ánodo situado en un fluido anódico que comprende reactivos para una reacción de oxidación;
- una serie de compartimentos catódicos, separados de los compartimentos anódicos, provistos de un cátodo situado en un fluido catódico que comprende reactivos para una reacción de reducción;
- 35 - una serie de membranas de intercambio catiónico y membranas de intercambio aniónico, situadas alternativamente entre el cátodo y el ánodo, según lo cual se forman compartimentos electrolíticos entre las membranas de intercambio catiónico y las membranas de intercambio aniónico y
- una serie de capas intermedias situadas entre dos membranas adyacentes en al menos una parte de los compartimentos electrolíticos, en los que cada capa está provista de canales y en los que los canales de las capas intermedias se disponen de manera que un fluido fluya por los compartimentos electrolíticos.

40 Proporcionando una serie de capas intermedias entre dos membranas adyacentes en un compartimento electrolítico no se requieren espaciadores separados. El número de capas intermedias en un compartimento electrolítico puede ser una o más. Cada capa está provista de canales para permitir que fluya el fluido por el compartimento electrolítico. Al menos una parte de los compartimentos electrolíticos está provista de una serie de capas intermedias.

45 En una realización todos los compartimentos están provistos de dichas capas. En una realización alternativa, los compartimentos electrolíticos están provistos de manera alterna de una o más capas intermedias. Preferiblemente, los compartimentos para la disolución de sal están provistos de una serie de capas con canales. También preferiblemente, las capas intermedias están conectadas a las membranas en los límites del compartimento. Esta conexión se puede conseguir por pegado, por ejemplo. La conexión forma una unidad relativamente rígida de una membrana de intercambio catiónico y aniónico adyacente con el compartimento electrolítico relleno con la capa o las capas. Esto permite que estén abiertos los compartimentos para las disoluciones diluidas de sal, es decir, sin espaciador o capas intermedias en estos compartimentos. Las unidades rígidas evitarán que las membranas se pongan en contacto entre sí. Preferiblemente, los compartimentos electrolíticos para las concentraciones diluidas de sal se hacen más pequeños. Esto reduce la resistencia óhmica. La anchura de este compartimento abierto se puede reducir ya que la anchura ya no está limitada por los espesores de un espaciador. (En la práctica la anchura mínima

del compartimento es dos veces el espesor de las fibras del espaciador). La anchura de los compartimentos con la disolución concentrada de sal se puede aumentar sin cambiar las dimensiones totales del dispositivo según la invención. Esto permite una estructura más abierta para la capa intermedia sin aumentar significativamente la resistencia óhmica ya que la conductividad es relativamente alta debido a la concentración de sal.

5 Aunque se prefiere el uso de capas intermedias con canales cuando se tiene alternativamente un compartimento electrolítico abierto y un compartimento electrolítico relleno con al menos una capa intermedia, también es posible usar un espaciador conocido de un material conocido usado para espaciadores en un modo alternativo. Esto limitaría el número de espaciadores usados en el dispositivo y tendría los efectos beneficiosos descritos anteriormente. Estos efectos incluyen la posibilidad de una estructura relativamente abierta para el espaciador en el compartimento con la disolución de sal y una anchura mínima del otro tipo de compartimento electrolítico.

Las pérdidas internas en electrodiálisis y electrodiálisis inversa se deben (parcialmente) a transporte iónico, especialmente en los compartimentos rellenos del diluido ya que este fluido presenta una conductividad relativamente baja.

15 En la invención se reconoce que los espaciadores del tamiz son también un contribuyente principal a las pérdidas internas de estas operaciones. Esto se puede ilustrar por las siguientes ecuaciones que describen la resistencia

$$R = A \cdot \sum_N r \quad [1]$$

$$r = \frac{r_{mic}}{(1-\beta)} + \frac{h}{\varepsilon^2 \cdot \kappa_c} + \frac{r_{mia}}{(1-\beta)} + \frac{h}{\varepsilon^2 \cdot \kappa_d} \quad [2]$$

eléctrica óhmica interna de una pila de membranas.

en las que A es la corriente que pasa por el área de una única membrana (m²) y r la resistencia específica del área de un solo par de celdas (Ωm²).

La resistencia específica del área de un solo par de celdas consiste en cuatro términos:

- 20
- la resistencia específica del área de una membrana de intercambio catiónico r_{mic} (Ωm²),
 - el del compartimento relleno con un espaciador y una disolución concentrada de sal,
 - el de la membrana de intercambio aniónico r_{mia} (Ωm²),
 - y el del compartimento relleno con un espaciador y una disolución diluida de sal,

25 en las que β es la porción de área de la membrana que se enmascara mediante el espaciador (-) referido como el factor de ensombrecimiento, h es el compartimento o anchura del espaciador (m), ε la porosidad (-) del espaciador (la porosidad es al cuadrado para reflejar el transporte tortuoso de los iones), κ la conductancia de las disoluciones (S/m). A partir de las geometrías disponibles del espaciador los valores indicativos para ε^2 están en el intervalo de aproximadamente 0,4-0,6 y para β en el intervalo de aproximadamente 0,1-0,5.

30 Las ecuaciones anteriores se presentan como una indicación de la relevancia de los espaciadores en los procedimientos existentes de electrodiálisis y electrodiálisis inversa sobre las pérdidas internas. Para este análisis se concluye que un espaciador es un aislante no deseado en estos procedimientos. Este soporta tanto espaciadores de tamiz como los denominados espaciadores de rutas tortuosas. Estos espaciadores de ruta presentan desventajas adicionales, ya que son un tipo de junta con una parte de enrollamiento larga desde la entrada a la salida en que la velocidad del fluido en los canales debería ser relativamente alta para obtener un flujo turbulento. También considerando la longitud y la presencia de numerosas curvas en los canales la resistencia del flujo será relativamente alta. Esto da como resultado una caída de presión relativamente alta por la pila de membranas para asegurar una cierta rigidez o resistencia. También se requiere que las membranas tengan un espesor relativamente alto para poder extenderse sobre la parte. Esto conduce a una resistencia eléctrica relativamente alta por la pila con una caída de voltaje alta como resultado.

40 Una ventaja más de usar capas intermedias cuando se compara con los espaciadores de tamiz, por ejemplo, que con frecuencia están formados por estructuras de tejido con una distancia determinada de urdimbre y trama, es que las dimensiones de los canales se pueden elegir dependiendo de los requerimientos específicos del procedimiento. Preferiblemente, los canales de una capa intermedia se extienden sustancialmente en una dirección. Extendiéndose los canales en una dirección el número de curvas en la capa intermedia en un compartimento electrolítico se reduce de manera significativa. Esta reducción minimiza la resistencia al flujo en este compartimento. Esto mejora la eficacia total del procedimiento.

45

Preferiblemente, los canales de al menos dos capas intermedias adyacentes en un compartimento electrolítico se disponen en diferentes direcciones de manera que el fluido puede fluir a través de al menos dos capas. Incluso más preferiblemente, los canales de al menos las dos capas intermedias adyacentes se extienden en la dirección en sentido longitudinal con un ángulo de aproximadamente 90. Como ejemplo, esto significa que en caso de que se proporcione una capa intermedia con canales en una dirección horizontal, una capa intermedia adyacente presenta canales en una dirección vertical. Para que un fluido fluya desde la entrada a la salida del compartimento electrolítico este fluido fluye abiertamente durante un periodo corto de tiempo por un canal horizontal de una capa intermedia y después durante un periodo de tiempo corto en un canal vertical de una capa intermedia adyacente. A continuación, el fluido vuelve a un canal horizontal diferente de la primera capa intermedia. Preferiblemente, no se proporcionan atajos entre canales en una capa intermedia. Aunque es posible, según la invención, proporcionar diferentes capas de canales en una capa intermedia es, por razones de fabricación por ejemplo, más eficaz proporcionar diferentes capas intermedias en un compartimento electrolítico. Teniendo canales en diferentes capas intermedias que estén orientadas en una dirección diferente la resistencia de la pila aumenta ya que se cruzan las tiras o las paredes de los canales horizontales y verticales. Cuando se compara con los espaciadores de ruta, el espesor de las membranas se puede reducir al tiempo que aún se obtienen eficacias del procedimiento similares. Esto da como resultado una reducción en las dimensiones totales del procedimiento. También, para un determinado volumen de celdas y membranas, se puede usar un número creciente de membranas, consiguiéndose de ese modo una capacidad aumentada para el procedimiento. Las obstrucciones en la ruta del flujo en la forma de paredes laterales de los canales distribuirán el flujo del fluido similar a una pila con espaciadores de tamiz. De ahí, incluso sin atajos entre canales en una capa intermedia, es posible presentar un número limitado de colectores como entradas y salidas para el flujo de fluido por un compartimento electrolítico. Además, la obstrucción por las paredes de los canales o tiras aumenta las velocidades de flujo en la dirección perpendicular a las membranas. Esto da como resultado una disminución en los efectos de polarización de la concentración.

En una realización preferida según la presente invención, los canales se disponen en las capas intermedias de manera que se consiga una distribución uniforme del fluido por el compartimento electrolítico.

Mediante la proporción de canales en diferentes capas intermedias, se puede elegir la configuración de estos canales por la capa de manera que se pueda conseguir una distribución uniforme del fluido por el compartimento completo. Por ejemplo, el número de canales o la anchura de los canales en el lado del compartimento electrolítico se puede aumentar en tamaño para asegurar que una cierta cantidad de fluido fluirá por estas partes del compartimento electrolítico. Además, el área de los cruces de las paredes laterales de los canales en el centro del compartimento electrolítico se puede aumentar para mejorar el soporte para las membranas. Esto puede contribuir a reducir el espesor de las membranas al tiempo que se mantiene una cierta rigidez o resistencia para la pila entera.

Preferiblemente, las capas intermedias comprenden juntas de silicio que se extienden sobre sustancialmente la superficie total de las membranas. Los canales están provistos de estas juntas de silicio de manera que es posible optimizar la configuración de los canales a la vista de la eficacia total del procedimiento. Preferiblemente, se proporcionan las capas intermedias con un espesor de aproximadamente 50-500 μm y más preferiblemente de aproximadamente 100-300 μm . El número de capas intermedias depende del espesor de las capas intermedias y los parámetros de diseño totales del dispositivo. Por la proporción de un dispositivo según la invención la capa intermedia se proporciona preferiblemente con una porosidad de más de 80% y más preferiblemente más de 90%. Esta porosidad es el volumen de flujo incluyendo el material de la pared del canal por ejemplo. Estos valores de porosidad altos no se consiguen en los dispositivos existentes para electrodiálisis y/o electrodiálisis inversa ya que se requiere más material para proporcionar suficiente resistencia al dispositivo. La porosidad aumentada con el dispositivo según la invención da como resultado un aumento de la superficie eficaz en el procedimiento. Por lo tanto, la capacidad de un dispositivo con las mismas dimensiones aumentará y/o las dimensiones requeridas para una capacidad similar, comparado con los dispositivos existentes, disminuirán. Además, usando silicio como material para las capas intermedias también es posible usar caucho (sintético), plásticos y papel de petróleo. También sería posible usar otros materiales normalmente usados como material para juntas. También sería posible usar el mismo material como se usa para las membranas, aunque esto puede dar como resultado fugas adicionales del dispositivo.

En una realización preferida según la presente invención, la capa intermedia se integra con una membrana.

Mediante la integración de la membrana con una capa intermedia la fabricación del dispositivo se puede mejorar o realizar más eficazmente. Esta integración da como resultado una parte laminada que se puede ensamblar en una pila para el dispositivo. Adicionalmente, por integración de la membrana con el conjunto de capas intermedias se requiere menos esfuerzo.

En una realización más preferida según la presente invención, el dispositivo comprende además un medio para proporcionar un flujo de gas por al menos una parte de los compartimentos.

Una posible solución para el aumento de la resistencia no óhmica es la introducción de un flujo de gas a lo largo de las membranas. Un gas que se puede usar es aire. Preferiblemente, el flujo de gas es en la misma dirección que el fluido que fluye por los compartimentos entre dos membranas. Un flujo de gas se puede conseguir creando entradas de gas en el lado del fondo de al menos algunos de los compartimentos electrolíticos para dispersar el flujo de gas por el fluido. Por esto, la dispersión del flujo de la disolución por los compartimentos se puede mejorar. Las burbujas

de gas pueden aumentar la velocidad del flujo por el compartimento y pueden dar como resultado mejor mezclamiento de las capas superficiales.

5 La presente invención también se refiere a un método para generar energía eléctrica o realizar una electrodiálisis, que comprende las etapas de proporcionar un dispositivo como se describió anteriormente y conectar de manera eléctrica el ánodo y el cátodo. Dicho método proporciona los mismos efectos y ventajas que los indicados con referencia al dispositivo.

Más ventajas, características y detalles de la invención se elucidan sobre una base de realizaciones preferidas de la misma, en las que la referencia se hace a los dibujos que se adjuntan:

- la figura 1 una visión general esquemática del dispositivo según la invención;
- 10 - la figura 2 una visión general esquemática de una pila de capas en el dispositivo de la figura 1 y
- la figura 3 resultados experimentales con el dispositivo de la figura 1.

15 En un sistema 2 (figura 1) para un procedimiento de electrodiálisis inversa, un número de membranas de intercambio catiónico y membranas 6 de intercambio aniónico se sitúan entre el ánodo 10 y el cátodo 12. Entre las membranas 6 de intercambio aniónico y las membranas 4 de intercambio catiónico se forman compartimentos 8 electrolíticos, en los que fluye agua (s) 14 del mar y agua (r) de río de manera alternada. Debido a las diferencias de concentración de los electrolitos en el agua 14 de mar y el agua 16 de río, los electrolitos en el agua 14 de mar se inclinarán a desplazarse al agua 16 de río para nivelar las concentraciones. Por simplicidad en la figura 1 sólo se presentan iones sodio y cloro como iones positivos y negativos.

20 Como las membranas 6 de intercambio aniónico sólo permiten que pasen aniones y las membranas 4 de intercambio catiónico sólo permiten que pasen cationes, el transporte de aniones y cationes procederá en direcciones opuestas. Los aniones (Cl⁻) se desplazarán en la dirección del ánodo 10 y los cationes (Na⁺) se desplazarán en la dirección del cátodo 12. Para mantener la neutralidad eléctrica en los compartimentos 18 donde está situado el ánodo 10, tiene lugar una reacción de oxidación. En el compartimento 20 en el que está situado el cátodo 12, tiene lugar una reacción de reducción. De ese modo se genera un flujo de electrones en el circuito eléctrico 22, 23, 24 en el que se conectan el ánodo 10 y el cátodo 12. En este circuito eléctrico se realiza trabajo eléctrico mediante un aparato 24 eléctrico, aquí presentado de manera simbólica mediante una bombilla. En los compartimentos 8 con flujos de, por ej., agua 14 de mar y agua 16 de río se disponen dos capas de juntas 26, 28. En la realización ilustrada, la capa 26 presenta tiras o guías horizontales y la capa 28 presenta tiras o guías verticales. Una celda 30 dialítica se forma mediante un par de membranas de una membrana 6 de intercambio aniónico y una membrana 4 de intercambio catiónico y una masa de una disolución que tiene una concentración de electrolito baja y una alta. El número (N) de celdas 30 dialíticas (aquí N=1) se puede aumentar para aumentar la diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo.

35 Una pila del dispositivo 2 (figura 2) comprende una capa 26 con, en la realización ilustrada, canales 34 verticales y una salida 32. Los canales corren paralelos entre sí en dirección vertical. Uno de los canales 34 verticales en el lado de la capa 26 intermedia está provisto de una salida 32. En el otro lado extremo de la misma capa 26 intermedia el canal 34 vertical está provisto de una entrada 36. La capa 28 intermedia adyacente está provista de canales 38 horizontales de los cuales un canal 38 tiene una salida 39. Esta salida 39 está provista de un canal en la parte de arriba de la capa 28 intermedia como se ilustra. Una entrada 40 se proporciona en el canal 38 horizontal en el otro lado de la capa intermedia 28. Las dos salidas 32, 39 de la capa 26, 28 intermedia adyacente se dimensionan a fin de que se proporcionen en la misma posición en la pila del dispositivo 2. Los mismos soportes para las entradas 36, 40 de las capas intermedias 26, 28. Se proporciona fluido a las entradas 36, 40 y se retira de la capa intermedia 26, 28 de la salida 32, 39 mediante los denominados colectores 42. Las capas 26, 28 intermedias se sitúan en un compartimento electrolítico que se forma entre dos membranas 4, 6. La pila de las capas 26, 28 intermedias y las membranas 4, 6 se mantiene junta de una manera similar en cuanto a los dispositivos conocidos.

45 Experimento

Se ensayó el dispositivo 2, cuyos resultados se muestran para una operación de electrodiálisis inversa. El dispositivo usado consistió en cinco membranas de intercambio catiónico. (Neosepta CMS; Tokuyama Co., Japón) y cuatro membranas de intercambio aniónico (Neosepta ACS; Tokuyama Co., Japón) que se apilan en un patrón alternado entre un cátodo y un ánodo (los dos de Titanio estirado con un recubrimiento de Óxido de Metal Mixto Rutenio/Iridio con una superficie específica de 1 m²/m²; Magneto Special Anodes B. V., Países Bajos). El área activa de cada membrana fue 104 cm², el área de los electrodos 100 cm². La unidad repetitiva se denomina un par de celda, que consiste en una membrana de intercambio catiónico, un compartimento relleno con una disolución concentrada de sal ('agua de mar'), una membrana de intercambio aniónico y un compartimento relleno con una disolución diluida de sal ('agua de río'). Los compartimentos se formaron con capas intermedias de silicona. La pila para el dispositivo según la invención se comparó con un dispositivo más convencional.

Las diferencias entre la pila según la invención comparado con pilas existentes incluyen el tipo de junta y espaciador aplicado o su ausencia. Se proporcionó una pila con un tejido de PET con un espesor de 500 µm (Nitex 06-700/53,

Sefar) en una junta de silicona de 500 μm , no se proporcionó la otra pila con un espaciador y tenían dos capas de junta. Una junta fue una junta de silicona de 300 μm con tiras horizontales en la parte de arriba de una junta de silicona de 200 μm con tiras verticales. Los parámetros relevantes de las dos pilas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Características de pila con espaciador y pila sin espaciador.

	unidad	Pila con espaciadores	Pila sin espaciadores
Distancia entre membranas	μm	500	300+200
Porosidad, ϵ	-	80%	>90%
Tortuosidad, ϵ^2	-	0,64	0,8-0,9
Área abierta	-	53%	>%80%
Ensombrecimiento, β	-	0,47	<0,2

5

Las capas intermedias tienen una forma rectangular con una longitud y una anchura de 150 mm. Las esquinas se proporcionan con un radio de 10 mm. El diámetro de los colectores es 8 mm. El centro de los colectores yace a 16 mm desde el borde de la capa. Los canales empiezan y terminan a 26 mm desde el borde. La capa está provista de cinco canales de 98 mm de longitud. Los canales en el exterior tienen una anchura de 20 mm. Los canales internos tienen una anchura de 18 mm. Las barreras o paredes laterales de los canales tienen en el exterior una anchura de 3 mm y entre los canales internos 2 mm.

10

Se alimentó a las pilas la disolución concentrada de sal (NaCl 0,5 M, 'agua de mar'), la disolución diluida de sal (NaCl 5 mM, 'agua de río') y una disolución de enjuague de los electrodos (NaCl 0,25 M, 'agua salobre') con un caudal de 57,5 ml/min. Las disoluciones se reciclaron sobre botes almacenados en un baño termostático (con una temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$). Cada bote contenía 500 ml de las disoluciones descritas. Antes de cada experimento, se descargaron las pilas y los tubos y se llenaron con disoluciones de igualación. Cada pila, incluyendo los tubos conectados, tenía un volumen del sistema estimado de 50 ml. El volumen total del lote de cada disolución fue de acuerdo con esto 550 ml.

15

Se conectaron los electrodos a un galvanostato (IviumStat Electrochemical Interface & Impedance Analyser; Ivium Technologies, Países Bajos) para la generación de una señal de onda cuadrada con ciclos de 20 s de periodo de condiciones de corriente cero (circuito abierto) seguido por un periodo de 1.000 s con un nivel de corriente ajustado de 100 mA (es decir, una densidad de corriente de 10 A/m^2). Se midió el correspondiente voltaje de la pila con un intervalo de 0,2 s. Para la medición del voltaje de la pila, se usaron electrodos de referencia de Ag/AgCl, para dejar pérdidas asociadas con reacciones del electrodo fuera de consideración. La razón para excluir las pérdidas de potencial en los electrodos fue el hecho de que en una pila con un número limitado de pares de celdas (como en las pilas usadas) estas pérdidas serían dominantes, mientras que en la práctica, con un número alto de pares de celdas estas pérdidas se podían descuidar. Se situaron los electrodos de referencia dentro de depósitos que estaban conectados a compartimentos de medida vía capilares de Haber-Luggin. Las puntas de las sondas del puente salino se situaron adyacentes a las membranas externas (distancia de 3 mm).

25

Los intermedios de potencial medidos con los electrodos de referencia que tienen lugar como resultado de las etapas de corriente periódica, se podían interpretar como en una técnica de interrupción de la corriente convencional. Los intermedios de potencial que resultan de cada pulso de corriente proporcionan cada 1.200 s la resistencia interna real de la pila electrodiálítica (membranas y compartimentos de disolución sólo). Como cada pulso de corriente consta de un interruptor de corriente sucesiva y un suministro de corriente que proporciona dos intermedios de potencial opuestos, la resistencia interna real se mide dos veces. A partir de los intermedios de potencial, la pérdida interna real se podía dividir en una parte óhmica y una parte no óhmica. El salto de potencial instantáneo resultante de una etapa de corriente podía relacionarse con las pérdidas óhmicas debido al transporte iónico por las disoluciones volumétricas y las membranas. El cambio de potencial dependiente del tiempo siguiente se podía relacionar con las pérdidas no óhmicas debido a la polarización de la concentración en las superficies de las membranas.

35

40

La resistencia de la pila interna disminuye durante los experimentos, a medida que aumenta la concentración y así la conductividad de la disolución diluida, con la cantidad de carga Q transferida (C) (figura 3). En las condiciones de

- partida el principal contribuyente a la resistencia de la pila es el compartimento de la disolución diluida, es decir, el transporte iónico por la disolución volumétrica de baja conducción y la tortuosidad en la Tabla 1, el diseño sin espaciador dio como resultado una resistencia óhmica menor notable de aproximadamente factor 2. Sin embargo, la resistencia no óhmica de la pila sin espaciador fue de algún modo mayor posiblemente debido a una mayor polarización de la concentración que en una pila con espaciadores (activadores de la turbulencia). En una mayor extensión de transferencia de carga, se puede deducir que los contribuyentes principales a la resistencia son las membranas y los enmascaramientos se deben a los espaciadores. Aparentemente, los factores de ensombrecimiento del diseño sin espaciador en las membranas son menores, como se sugirió a partir de las especificaciones en la Tabla 1.
- 5
- 10 Los resultados muestran que un diseño de una pila y dispositivo según la invención presenta un efecto beneficioso sobre la resistencia óhmica de la pila cuando se compara con un diseño más convencional. Por lo tanto, se puede obtener un aumento de la capacidad y/o disminución en las dimensiones requeridas para la pila con igual capacidad. Esto mejorará la eficacia total de un procedimiento de electrodiálisis y/o electrodiálisis inversa.
- 15 Sin embargo, de los resultados se puede concluir que la resistencia no óhmica aumentó en el sistema sin espaciador. Esto se podía explicar por el hecho de que las obstrucciones para el flujo de la disolución disminuyen cuando las estructuras densas del espaciador son reemplazadas con la estructura más abierta en el diseño sin espaciador. Esto causa una disminución en la turbulencia del flujo de la disolución por los compartimentos. Esto significa que el flujo de la disolución por el compartimento fluye más directo desde la entrada a la salida sin dispersar la disolución por el compartimento. Por lo tanto, la concentración de iones en la capa de la superficie de la disolución de la membrana en el lado concentrado disminuye y el lado diluido aumenta (polarización de la concentración), es decir, que da como resultado un aumento de la caída de voltaje no óhmico).
- 20
- 25 Una posible solución para el aumento de la resistencia no óhmica es la introducción de un flujo de gas (por ejemplo aire) a lo largo de las membranas (en la misma dirección que fluye la disolución), fluyendo por los compartimentos entre dos membranas. Esto se puede conseguir creando entradas de gas en el lado del fondo de los compartimentos de la disolución para dispersar el flujo de gas por el flujo de la disolución. Por esto, se puede mejorar la dispersión del flujo de la disolución por los compartimentos. Las burbujas de gas pueden aumentar la velocidad del flujo por el compartimento y puede dar como resultado mejor mezcla de las capas superficiales.
- 30 La presente invención no está limitada de ningún modo a las realizaciones preferidas descritas anteriormente. Los derechos deseados se definen por las siguientes reivindicaciones, dentro del alcance de las cuales se pueden prever muchas modificaciones.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo (2) para realizar un procedimiento de electrodiálisis o uno de electrodiálisis inversa, que comprende:
- 5 - una serie de compartimentos (18) anódicos provistos de un ánodo (10) situado en un fluido anódico que comprende reactivos para una reacción de oxidación;
- una serie de compartimentos (20) catódicos, separados de los compartimentos anódicos, provistos de un cátodo (12) situado en un fluido catódico que comprende reactivos para una reacción de reducción;
- 10 - una serie de membranas (4) de intercambio catiónico y membranas (6) de intercambio aniónico, situadas alternativamente entre el cátodo y el ánodo, según lo cual se forman los compartimentos (8) electrolíticos entre las membranas de intercambio catiónico y las membranas de intercambio aniónico y
- una serie de capas (26, 28) intermedias situadas entre dos membranas adyacentes en al menos una parte de los compartimentos electrolíticos, en la que cada capa está provista de canales, caracterizada por que los canales están provistos de diferentes capas intermedias y en la que los canales (34, 38) de las capas intermedias se disponen de manera que un fluido fluya por los compartimentos electrolíticos.
- 15 2. Dispositivo (2) según la reivindicación 1, en el que los canales de una capa intermedia se extienden sustancialmente en una dirección.
3. Dispositivo (2) según la reivindicación 2, en el que los canales de al menos dos capas intermedias adyacentes en un compartimento electrolítico se disponen en diferentes direcciones de manera que en el uso el fluido fluye por al menos las dos capas.
- 20 4. Dispositivo (2) según la reivindicación 3, en el que los canales de al menos las dos capas intermedias adyacentes se extienden en la dirección en sentido longitudinal con un ángulo de aproximadamente 90°.
5. Dispositivo (2) según cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en el que los canales se disponen en la capa intermedia de manera que en el uso se consigue una distribución uniforme del fluido por el compartimento electrolítico.
- 25 6. Dispositivo (2) según cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en el que las capas intermedias comprenden juntas de silicio que se extienden por sustancialmente la superficie total de la membrana.
7. Dispositivo (2) según las reivindicaciones 1-6, en el que las capas intermedias se proporcionan con un espesor de aproximadamente 50-500 µm, preferiblemente de aproximadamente 100-300 µm.
- 30 8. Dispositivo (2) según una de las reivindicaciones 1-7, en el que la capa intermedia se proporciona con una porosidad por encima del 80%, preferiblemente por encima del 90%.
9. Dispositivo (2) según cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en el que la capa intermedia está integrada con una membrana.
10. Dispositivo (2) según cualquiera de las reivindicaciones 1-9, comprendiendo además el dispositivo un medio para proporcionar un flujo de gas por al menos una parte de los compartimentos.
- 35 11. Método para generar energía eléctrica o realizar una electrodiálisis, que comprende las etapas de:
- proporcionar un dispositivo (2) según cualquiera de las reivindicaciones 1-10;
- conectar eléctricamente el ánodo (10) y el cátodo (12).

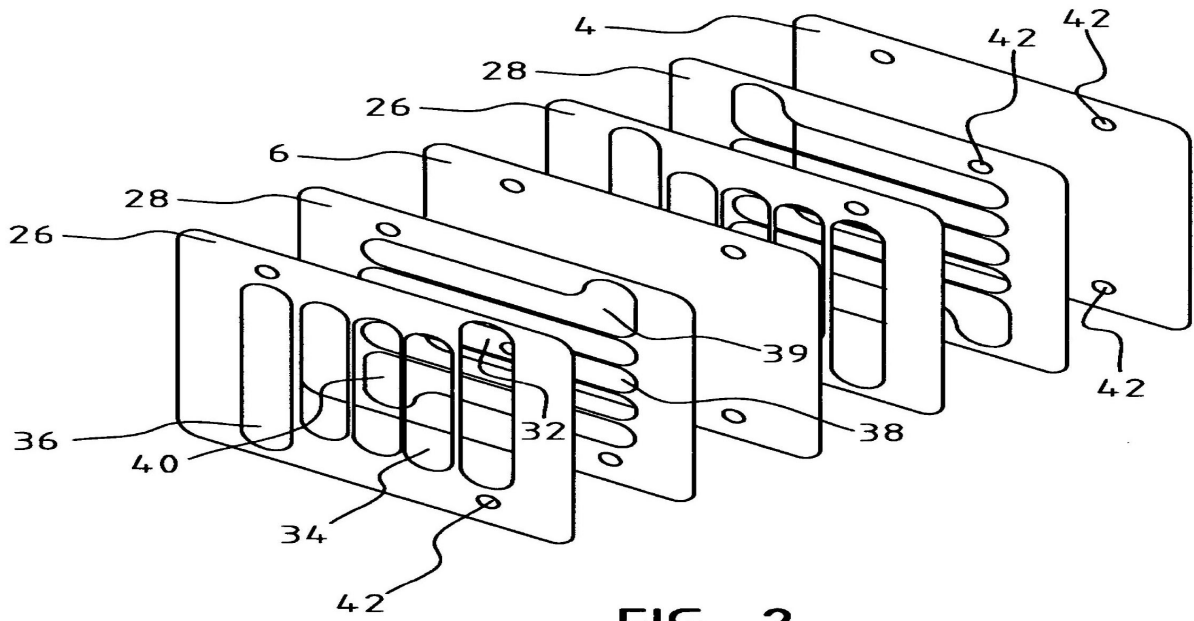


FIG. 2

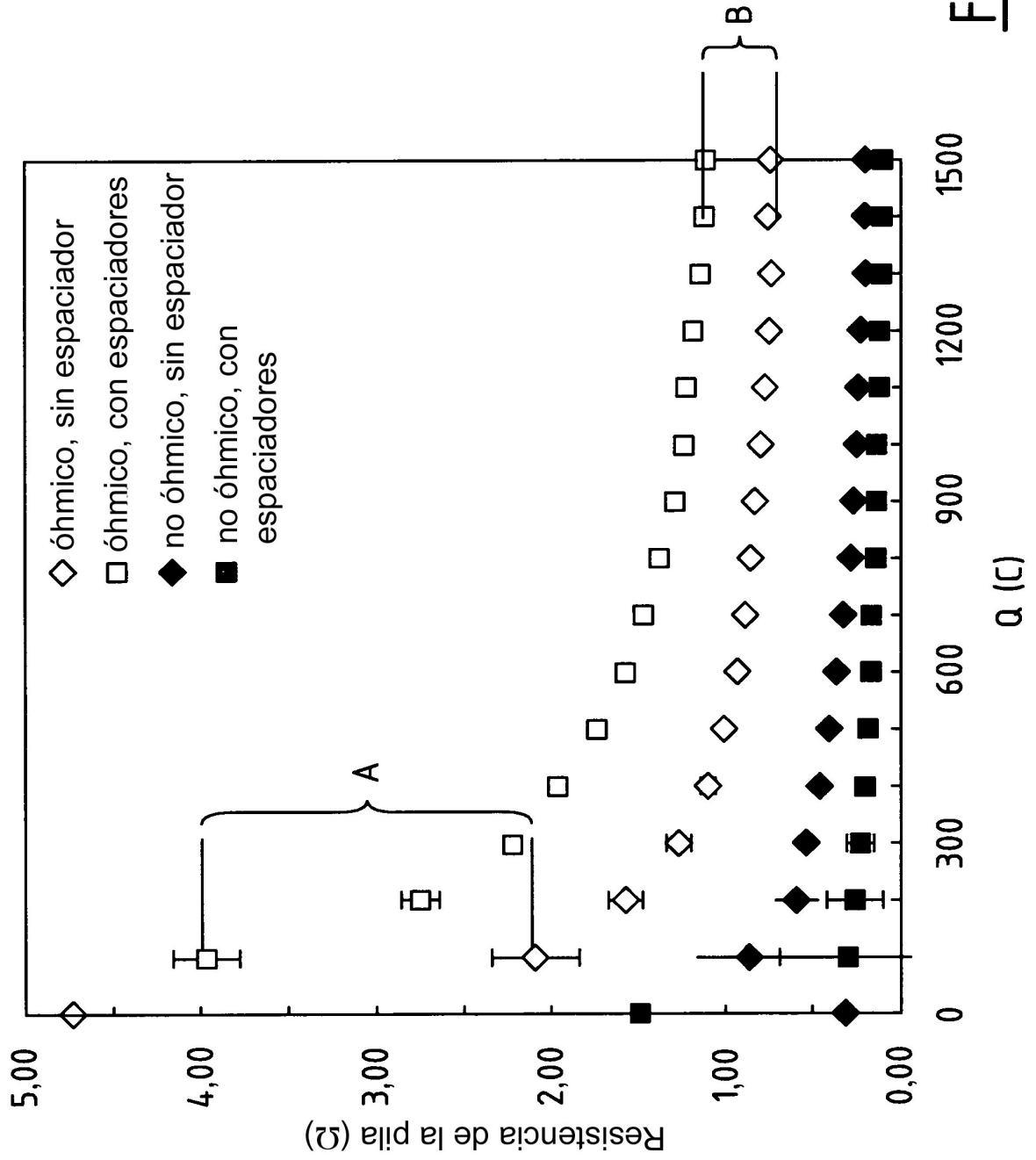


FIG. 3