

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 578 912**

51 Int. Cl.:

H01M 8/22 (2006.01)

B01D 61/50 (2006.01)

B01D 69/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.03.2009 E 09721871 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.05.2016 EP 2253041**

54 Título: **Membrana, célula, dispositivo y método para electrodiálisis (inversa)**

30 Prioridad:

18.03.2008 NL 1035190

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

02.08.2016

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**VALK, JAN y
POST, JAN, WILLEM**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 578 912 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

Membrana, célula, dispositivo y método para electrodiálisis (inversa)

La presente invención se refiere a una membrana adecuada para la electrodiálisis (inversa). Tal membrana se puede usar, por ejemplo, para generar energía mediante la mezcla de sal y agua dulce, por ejemplo en regiones de deltas en los que agua dulce de un río penetra dentro del mar, y en el caso de flujos industriales de agua salada que se mezclan o vierten.

La electrodiálisis es un proceso aplicado, por ejemplo, en la producción de agua potable a partir de agua salada o de agua salobre. Se aplica en este caso un voltaje o diferencia de potencial entre un ánodo y un cátodo, entre los cuales se colocan de manera alternada un cierto número de membranas de intercambio aniónico y catiónico. Debido al voltaje aplicado, los iones positivos tienden a moverse hacia el cátodo y los negativos tienden a moverse hacia el ánodo. Debido a la disposición de las membranas, ello produce como resultado disoluciones de electrolito concentradas y diluidas de manera alternativa. Tal proceso de electrodiálisis se puede invertir con el fin de generar energía eléctrica. Esto es lo que se denomina electrodiálisis inversa. Se describe un dispositivo para llevar a cabo dicho proceso de electrodiálisis inversa por ejemplo en el documento de la patente NL 1031148. Las membranas conocidas están dirigidas a usarse en la electrodiálisis. En el proceso de electrodiálisis inversa esto da como resultado una resistencia eléctrica demasiado alta y normalmente es demasiado costoso debido a la elección de los materiales básicos usados y al uso de materiales tejidos, entre otros, para reforzar las membranas. De esta manera, los dispositivos conocidos tienen una eficiencia relativamente baja cuando funcionan en un proceso de electrodiálisis inversa.

El documento de la patente EP-A-0 078 659 describe un aparato de filtración de membranas para ultrafiltración, microfiltración u ósmosis inversa que comprende numerosos elementos de membrana mantenidos juntos en una pila.

El documento de la patente US 2007/023290 describe una célula electroquímica para eliminar o intercambiar iones a partir de una corriente de una disolución que comprende un cartucho y una carcasa con un primer y un segundo electrodos alrededor del cartucho.

El documento de la patente de Estados Unidos US 2004/060823 describe un aparato de electrodiálisis.

La presente invención tiene como objetivo proporcionar un dispositivo para generar electricidad, en el que el procedimiento de electrodiálisis inversa aplicado se puede hacer funcionar de una manera más eficiente.

Este objetivo se consigue con la célula según la reivindicación 1. Los canales se proporcionan con dimensiones tales que se produce en los mismos un flujo del fluido sustancialmente laminar.

Proporcionando canales en al menos un lado de la membrana el flujo del fluido se puede controlar mejor. Esto es el resultado de que el fluido no se envía a través de un espacio abierto sino que se guía a través de los canales de la membrana. Se obtiene un tipo de membrana perfilada proporcionando estos canales en la propia membrana. De este modo es posible limitar la distancia entre membranas adyacentes a menos de 1 mm y, preferiblemente, a una distancia de 0,2 mm o incluso menos. La importancia de esta pequeña distancia mutua comparada con la distancia considerablemente mayor que se usa en las membranas conocidas radica, entre otros factores, en la reducción de la resistencia eléctrica interna en el fluido. Se ha encontrado que en el caso de la electrodiálisis inversa la resistencia eléctrica es relativamente alta, como resultado de las bajas concentraciones de iones en el agua potable. Mientras que las aplicaciones de los procedimientos de electrodiálisis se dirigen a crear flujos turbulentos con el fin de aumentar de esta forma la resistencia de flujo limitante, precisamente es esto, según la invención, lo que resulta indeseable en el caso de la electrodiálisis inversa. Debido al uso de canales en los que se puede controlar mejor el flujo de fluido, se pueden escoger las dimensiones y las condiciones de los canales y el flujo de tal forma que se produzca en los canales un flujo laminar. De este modo, se reducen las resistencias al flujo o hidráulicas. Además, tal flujo laminar da como resultado menores pérdidas por rozamiento. En consecuencia, se necesita una potencia de bombeo más baja para llevar a cabo el proceso de electrodiálisis inversa proporcionado con las membranas perfiladas.

En los dispositivos conocidos para llevar a cabo un proceso de electrodiálisis, así como para realizar electrodiálisis inversa, se hace uso de espaciadores de pantalla entre las membranas. Estos espaciadores separados aumentan la turbulencia del flujo entre membranas adyacentes. Asimismo, tales espaciadores impiden también el flujo. Ello da como resultado una mayor resistencia al flujo. Por lo tanto, se necesita una mayor potencia de bombeo para hacer funcionar el proceso, lo que da como resultado una menor eficiencia de generación de electricidad. Además, tales espaciadores aumentan la resistencia eléctrica interna puesto que pueden considerarse como un tipo de aislante. Una parte de la superficie portadora de corriente se hace en este caso no conductora o bien es apantallada, como resultado de la aplicación del espaciador. Este efecto se denomina también "efecto sombra" de los espaciadores. Esto produce un proceso menos eficiente. Asimismo, los espaciadores son también susceptibles de contaminación y de acumulación de partículas. En consecuencia, se establecen requisitos específicos para tales espaciadores y se necesita una limpieza más frecuencia durante su uso. Tales requisitos más estrictos implican una mayor inversión en la producción del dispositivo con las membranas. Las etapas de limpieza adicionales durante el uso aumentan los

- costes de producción y disminuyen la eficiencia debido a la disminución del tiempo de funcionamiento durante el proceso. Debido a que se necesitan los espaciadores en los dispositivos conocidos con el fin de permitir el flujo entre membranas adyacentes, la provisión de los canales en la superficie de la membrana, según la invención, da lugar a una mejora considerable de la eficiencia del proceso de electrodiálisis inversa. Además, el hecho de proporcionar los canales en la superficie de la membrana tiene una ventaja adicional respecto de la práctica habitual de utilizar espaciadores ya que se necesitan menos componentes separados. Esto simplifica el montaje y por lo tanto aumenta también la eficiencia del proceso de electrodiálisis inversa. Cuando se usa una membrana según la invención en un proceso de electrodiálisis inversa, el fluido que fluye a través de los canales comprenderá un fluido con una concentración de sal relativamente alta o bien un fluido con una concentración de sal relativamente baja. En una realización ventajosa, la membrana tiene un espesor aproximado de 0,3 mm con canales en la misma de una profundidad de aproximadamente 0,2 mm. En este caso, la anchura de los canales es de aproximadamente 1,0 mm. Las paredes intermedias entre los distintos canales de la superficie de la membrana tienen un espesor de aproximadamente 0,2 mm. Estas paredes intermedias sirven también como soporte de la membrana respecto de las membranas adyacentes.
- En una realización ventajosa de acuerdo con la invención, los canales se proporcionan paralelos entre sí.
- Las resistencias al flujo se limitan tanto como sea posible proporcionando los canales dispuestos sobre al menos un primer lado de la membrana, paralelos entre si. Estas son, entre otras, las resistencias resultantes tanto del flujo de entrada del fluido en los canales como del flujo de salida del fluido hacia fuera de los canales. Preferiblemente, los canales se orientan a lo largo de la dirección principal de la membrana. Preferiblemente, no se proporcionan curvas o ángulos en tales canales. Asimismo, también preferiblemente, dichos canales no se colocan formando un ángulo con la dirección principal (más larga) de la membrana. Se disminuye la resistencia al flujo del fluido en el canal mediante la configuración propuesta de canales en la membrana. En cualquier caso, el flujo laminar del fluido en el canal no se perturba por ello y no se producirá la turbulencia que podría aumentar la resistencia al flujo interno. Una ventaja adicional de la configuración de canales propuesta en la membrana es que tal configuración es más sencilla de realizar y que por lo tanto hace más sencilla la producción de tales membranas.
- En una realización preferida ventajosa según la presente invención se proporciona la membrana con una válvula de entrada para la alimentación de fluido hacia los canales y una válvula de salida para la descarga del fluido de los canales, donde al menos la válvula de entrada se proporciona con nervios de guía.
- Con el fin de hacer funcionar el proceso de electrodiálisis inversa de forma eficiente, la distribución del fluido en los canales se debe realizar de la manera más óptima que sea posible. La resistencia a la fricción de este flujo debe permanecer también tan limitada como sea posible, con el objetivo, entre otros de limitar la potencia de bombeo necesaria para el proceso.
- Con el fin de mantener la caída de presión global limitada a una fracción de la diferencia de presión osmótica entre el agua de mar y, por ejemplo, el agua de río, la caída de presión que se produce durante el paso del líquido a través de las membranas debe permanecer limitada a 25-30 kPa. Con el fin de obtener una buena distribución de líquido en los canales, la caída de presión en la alimentación de fluido y en la salida de fluido debe ser menor que la caída de presión en los canales, preferiblemente menor de 5-10 kPa. Preferiblemente, al menos la válvula de entrada se proporciona con nervios de guía. Estos nervios tienen también una función posible como soporte adicional para la membrana. De esta manera se imparte resistencia adicional a un dispositivo con numerosas membranas. La alimentación del fluido a la válvula de entrada se realiza mediante colectores creados con entradas hechas en la membrana. Tales colectores son ya conocidos, per se, a partir de dispositivos conocidos para electrodiálisis. En estos dispositivos conocidos se hace una entrada en la junta en la dirección de un espaciador para que pase el fluido desde los colectores al espacio situado entre las membranas. Mediante el uso de los canales, por medio de los cuales ya no son necesarios los espaciadores, se simplifica también la alimentación del líquido desde los colectores. Una ventaja adicional de la membrana según la invención es que están involucrados menos elementos de sellado de la membrana, respecto del medio ambiente. En los dispositivos conocidos, la membrana, el elemento de cierre y el espaciador deberían realizar en conjunto el sellado en la posición del colector. En el caso de que se produjera una compresión no uniforme, entre otras posibilidades, se podría producir una fuga interna y/o externa. Una ventaja adicional de la membrana según la invención es que la membrana está de esta manera conformada íntegramente con el cierre. Esto disminuye la posibilidad de fugas. Entre otras cosa, esto simplifica el montaje de los elementos. La probabilidad de fugas internas se limita considerablemente por el largo recorrido en la superficie de presión entre el compartimento salado y el menos salado en el montaje ventajoso.
- En otra realización ventajosa preferida, según la presente invención, la membrana comprende un material poliolefínico sulfoclorado, preferiblemente polietileno, y, más preferiblemente, polietileno de baja densidad.
- Utilizando un material poliolefínico sulfoclorado se puede fabricar una membrana según la invención a partir de un material básico relativamente barato. Esto disminuye los costes de instalación del dispositivo para aplicar un proceso de electrodiálisis inversa. Preferiblemente, se fabrica la membrana con polietileno y todavía más preferiblemente a partir de polietileno de baja densidad. Por ello es posible proporcionar una membrana que tiene una resistencia mecánica suficiente que no se deforma en el caso de una diferencia de presión hidráulica tal que cambia la forma de los canales en las membranas. Tal diferencia de presión hidráulica puede por ejemplo alcanzar 30 kPa. La presión

estática debe absorberse para proporcionar soporte suficiente. Este soporte o resistencia se consigue, entre otras piezas, mediante las paredes intermedias y las nervaduras en, por ejemplo, la válvula de entrada.

5 En una realización preferida ventajosa, dos membranas adyacentes están colocada una contra la otra con una superficie exterior. Esta superficie exterior es la superficie de las paredes intermedias que está colocada paralelamente al plano principal de la membrana. De esta forma se consigue el flujo deseado según la invención.

10 La invención se refiere también a un dispositivo para llevar a cabo un proceso de electrodiálisis inversa, que comprende varias células como las descritas previamente, en el que se proporciona al menos un compartimiento de ánodo con un ánodo colocado en un fluido anódico que comprende reactivos para una reacción de oxidación y al menos un compartimiento del cátodo separado del compartimiento del ánodo (al menos uno) y proporcionado con un cátodo colocado en un fluido catódico que comprende reactivos para una reacción de reducción. Tal dispositivo proporciona los mismos efectos y ventajas que los expresados con respecto a la célula y a la membrana.

En una realización preferida ventajosa del dispositivo, se proporcionan al menos un canal de alimentación y al menos una canal de vaciado para el llenado o alimentación y para el vaciado del fluido de los canales.

15 Los canales y colectores de alimentación se realizan disponiendo entradas en las membranas. La velocidad de flujo en los canales proporcionada en la membrana asciende a aproximadamente de 3 a 6 cm/s. Esta cantidad debe ser suministrada por el canal de alimentación a los canales de la membrana. Con el fin de limitar las corrientes de cortocircuito eléctrico, las aberturas de paso de los canales de alimentación y de los canales de vaciado deben ser tan pequeñas como sea posible. Tales corrientes de cortocircuito en el dispositivo disminuyen la eficiencia del proceso de electrodiálisis inversa.

20 En una realización preferida ventajosa, el número de células en el dispositivo alcanza aproximadamente 3000 – 3500, con, preferiblemente, una dimensión global de 1,75 x 1,75 x 2,0 metros. Debido a estas dimensiones el dispositivo, denominado también apilamiento o pila de células, es tal que se puede instalar la mayor área de membranas posible en un espacio relativamente limitado y en el cual tal apilamiento se puede colocar lo más óptimamente posible en un contenedor marino de 40 pies, ya que de esta forma se pueden colocar seis de tales pilas en un contenedor. Esto hace que el manejo del dispositivo según la invención sea considerablemente más sencillo y también hace posible instalar la instalación completa en una ubicación deseada. Con el fin de limitar el espacio utilizado por la válvula de entrada y la válvula de salida en relación con la parte de membrana usada activamente en forma de canales, se recomienda usar muchos canales de alimentación con un diámetro relativamente pequeño y una válvula de entrada pequeña, en comparación con los dispositivos conocidos que se usan por ejemplo en los procesos de electrodiálisis.

Preferiblemente, se proporciona un canal de alimentación o entrada en la membrana aproximadamente cada 125 mm. Esto permite que las dimensiones de los canales de alimentación permanezcan limitadas. Esto aumenta la parte utilizable eficientemente de la membrana, incrementando además de esta forma la eficiencia global del proceso.

35 Preferiblemente, el canal de alimentación se proporciona con fluido en los dos extremos exteriores con el fin de mantener la velocidad de flujo en tales canales de entrada tan baja como sea posible. Si se realiza según se describe aquí, las velocidades de flujo relativamente bajas dan como resultado una disminución de la caída de presión en el canal de entrada y, adicionalmente, una mejor distribución del flujo en las células individuales.

40 En una realización preferida ventajosa del dispositivo se colocan células adyacentes transversalmente con el fin de aumentar la estabilidad del dispositivo. Tal apilamiento transversal aumenta la estabilidad de la pila de membranas en conjunto. Por si mismo, tal apilamiento tiene como consecuencia que las membranas se podrían proporcionar con cuatro bordes laterales iguales, al menos en el caso de que el flujo de los fluidos sea el mismo. Un posible inconveniente en relación con esto es el mayor riesgo de corrientes de cortocircuito eléctricas. Sin embargo, esto se puede obviar mediante una correcta configuración de los canales de entrada y su relación con las entradas a las membranas.

45 La invención se refiere también a un método para fabricar membranas para células como las definidas previamente en esta memoria. Los canales de las membranas se pueden hacer por ejemplo mediante moldeo por inyección o bien mediante corte, laminación o presión de los canales. Igualmente, la invención se refiere a un método para generar electricidad que utiliza un dispositivo para llevar a cabo un proceso de electrodiálisis inversa como el que ha descrito previamente. Estos métodos proporcionan los mismos efectos y tienen las mismas ventajas que los descritos en relación con la célula y con el dispositivo.

Otras ventajas y características y otros detalles de la invención se esclarecen tomando como base las realizaciones preferidas de la misma, donde se hace referencia a los dibujos que acompañan este documento, en los cuales:

La figura 1 muestra un diagrama esquemático de un proceso de electrodiálisis inversa de la técnica anterior;

55 la figura 2 muestra una vista superior de una membrana según la invención;

la figura 3 muestra una ampliación de detalle de la membrana de la figura 2;

la figura 4 muestra una sección transversal parcial de la membrana según la invención;

la figura 5 muestra una sección transversal parcial de una válvula de entrada de una membrana según la invención;
y

5 la figura 6 muestra una sección transversal de la transición entre la válvula de entrada y los canales en la membrana según la invención.

En un proceso de electrodiálisis inversa 2 (como se muestra de manera esquemática en la figura 1), se colocan varias membranas de intercambio aniónico 8 y de intercambio catiónico 10 entre un ánodo 4 y un cátodo 6. Se forman compartimentos de electrolito entre las membranas de intercambio aniónico 8 y las membranas de intercambio catiónico 10, de forma que un flujo de agua marina 12 y de agua de río 14 fluye de manera alternativa entre compartimentos adyacentes. Debido a las diferencias de concentración de los iones en el flujo de agua marina 12 y de agua de río 14, los iones del agua marina 12 tenderán a moverse hacia el agua de río 14 con el fin de igualar las concentraciones. Por conveniencia, solamente se muestran iones de sodio y cloro en la figura 1, como iones positivos y negativos, respectivamente.

15 Puesto que las membranas de intercambio aniónico 8 solo permiten el paso de aniones y las membranas de intercambio catiónico 10 solo permiten el paso de cationes, el transporte de aniones y cationes tendrá lugar en direcciones opuestas. Los aniones (Cl^-) se mueven aquí en la dirección del ánodo 4 y los cationes (Na^+) se mueven en la dirección del cátodo 6. Con el fin de mantener la neutralidad eléctrica, tiene lugar una reacción de oxidación en el compartimento en el cual se coloca el ánodo 4 y tiene lugar una reacción de reducción en el cual está situado el cátodo 6. De este modo se genera un flujo de electrones en el circuito eléctrico 16 al que están conectados el ánodo 4 y el cátodo 6. En este circuito eléctrico 16 se puede ejecutar un trabajo eléctrico mediante un aparato eléctrico 18, designado simbólicamente en la figura mediante una bombilla.

En la figura 1 se muestra sombreada una célula dialítica 20 que consiste en un par de membranas de una membrana de intercambio aniónico 8 y una membrana de intercambio catiónico 10 y una masa de una disolución con una alta concentración de iones, por ejemplo agua marina y una disolución con una baja concentración de iones, por ejemplo agua de río. El número N de células dialíticas 20 se puede aumentar con el fin de aumentar la diferencia de potencial entre el ánodo 4 y el cátodo 6.

Se disponen varios canales 34 en una membrana 32 (figura 2), por ejemplo mediante corte, laminación, presión o moldeo por inyección. Se proporcionan también válvulas de entrada 36 y válvulas de salida 38 en la membrana 32 de la misma forma que los canales. Cada válvula de entrada 36 se proporciona con un orificio de entrada de flujo que, junto con las otras membranas adyacentes forma un canal de alimentación para el fluido, esto es, para el agua. Las dimensiones exteriores de tal membrana 32 alcanzan por ejemplo 1920 x 1920 mm. Se proporciona a lo largo de todo el borde de la membrana 32 una tira de 80 mm de ancho. Las válvulas de entrada 36 y las válvulas de salida 38 se proporcionan en este borde. También se disponen en este borde orificios 42 con el fin de colocar y fijar la membrana en un apilamiento completo. También se proporcionan en los bordes laterales las aberturas de paso de fluidos 44 para entrada o vaciado del líquido a otras membranas, en las zonas en las cuales no están dispuestas las válvulas de entrada o de salida (36, 38). Un detalle de la vista superior de la membrana 32 (figura 3) muestra los canales 34, en los que, en la realización mostrada, la dirección de flujo es desde el fondo hacia la parte superior. En la válvula de entrada 36 de la membrana 32 se proporciona la abertura 40 del colector. En la realización mostrada, este orificio 40 tiene un diámetro de aproximadamente 26 mm. Los agujeros de fijación 42 tienen un diámetro de aproximadamente 13 mm y el punto medio está a aproximadamente 20 mm del borde lateral de la membrana 32. La distancia desde el punto medio del orificio de alimentación 40 es de aproximadamente 48 mm al borde de la membrana 32. En la realización mostrada, se proporcionan varios canales 34 con un líquido procedente de cada abertura de válvula de entrada 40. Por claridad, se ilustran solamente seis de los 104 canales existentes, en la realización mostrada. Se proporcionan aquí once nervios de guía 46 en la válvula de entrada 36 de la membrana 32. En la realización mostrada estos nervios de guía 46 se colocan en la línea de la pared intermedia 48 entre los canales 34 y el eje central de estos canales 34. La anchura de estos nervios de guía 46 es de aproximadamente 1 mm. La anchura de los 104 canales 34 proporcionados para un orificio de alimentación 40 es de aproximadamente 125 mm.

50 Una sección transversal parcial a lo largo de la línea IV – IV (figura 4) muestra la vista lateral de un orificio de circulación de fluido 40 proporcionado en el borde lateral de la membrana mostrada en la figura 2. En la realización mostrada el espesor de la membrana 32 es de 0,3 mm. La anchura de los canales 34 de la membrana 32 llega a ser de hasta 1 mm, mientras que la anchura de las paredes intermedias 44 entre canales adyacentes 34 alcanza 0,2 mm. La profundidad de los canales 34 es de 0,2 mm, así que el fondo del canal 34 tiene un espesor de 0,1 mm.

55 La anchura de los orificios de escape del fluido 49 entre nervios 46 (figura 5 que muestra una sección transversal a lo largo de la línea V-V en la figura 3) es de aproximadamente 10 mm, mientras que el espesor de los nervios 46 alcanza aproximadamente 1 mm. La profundidad de los canales 49 entre nervios 46 es de aproximadamente 0,2 mm, de modo que el fondo entre estos espacios de flujo es igualmente de 0,1 mm.

Otra sección transversal (figura 6 que muestra una sección transversal a lo largo de la línea VI-VI en la figura 3) es una vista lateral en la dirección de flujo de la realización mostrada; en ella la anchura de los nervios 46 que están paralelos a la dirección de flujo a través de los canales 34 es de aproximadamente 1 mm. Con el fin de obtener una buena distribución del líquido en los canales 34 se proporciona un espacio abierto adicional entre el extremo exterior de los nervios 46 y el inicio de los canales 34 de aproximadamente 5 mm de longitud.

Ejemplo: Cálculo de posible configuración de una membrana según la invención.

Para los objetivos de dimensionamiento se emplean las dimensiones indicadas en la realización descrita previamente. La densidad de empaquetamiento se puede calcular con este dimensionamiento de las membranas y el apilamiento transversal. Según el método de producción, esta densidad de empaquetamiento puede variar de 2.300 m²/m³ a 4.400 m²/m³. Si, por ejemplo, los soportes no están funcionalizados en absoluto, se consideran entonces como un aislante o "sombra", con un efecto comparable al de un espaciador. En otros casos, cuando todo el material está funcionalizado, la densidad de empaquetamiento se puede aumentar hasta 4400 m²/m³. En ese caso, las paredes de los canales funcionarán también como membranas. El cálculo de esto es como sigue:

	a = superficie de membrana efectiva / superficie instalada (m ² /m ³)	densidad de empaquetamiento (m ² /m ³)
15		
	"sombra" $x_1^2 / (x_1 + x_2)^2 = 0,69$	$p = a / (h + d) = 2.300$
	"sin sombra" 1,0	$p = 3.300$
20		
	superficie proyectada $(x_1^2 + 2x_1h) / (x_1 + x_2)^2 = 0,97$ + "sombra"	$p = 3.200$
	superficie proyectada $((x_1 + x_2)^2 + 2(x_1 + x_2)h) / (x_1 + x_2)^2 = 1,33$	$p = 4.400$
25	"sin sombra"	

donde x_1 es la anchura del canal, x_2 es el espesor de las paredes intermedias, h es la profundidad del canal, d es el espesor de la membrana que queda (del fondo del canal).

Para el cálculo del tiempo de estancia o residencia se emplea un valor $a = 0,83$ (valor de a que no tiene en cuenta la sombra de la membrana posterior sino solamente la sombra de la membrana considerada individualmente) y por lo tanto una densidad de empaquetamiento de estas membranas de 2.700 m²/m³.

También es posible determinar la distribución de volumen:

$$\text{Membranas: mar : río} = 2 \cdot (d \cdot (x_1 + x_2) + h \cdot x_2) : h \cdot x_1 : h \cdot x_1$$

En condiciones óptimas la instalación se hace funcionar a un voltaje que representa el 50 – 75 % del voltaje del apilamiento abierto. Según este porcentaje, el sistema realiza más o menos trabajo útil. Cuando el sistema funciona a un 50 % del voltaje de pila abierta, un máximo del 50 % de la energía disponible se convierte en trabajo útil, aunque entonces a alta potencia. Cuando el sistema funciona a un 75 % del voltaje de pila abierta, un máximo del 75 % de la energía disponible se convierte en trabajo útil, aunque en ese caso se alcanza bastante menos de la potencia alta. Para un contenedor marino de 40 pies con seis pilas, el volumen del apilamiento de membranas es de 36,75 m². A partir de ese dato se puede calcular que el tiempo de residencia es de 30 – 60 segundos. Con una longitud de canales de 1,75 metros, la velocidad del flujo a través del apilamiento es de aproximadamente 3 a 6 cm/s. Para los siguientes cálculos de caída de presión se emplea el valor de 3 cm/s.

El requisito establecido para la caída de presión global en el apilamiento es que dicho valor puede alcanzar un máximo de 35 kPa y que, además, la caída de presión se consigue en la mayor parte de los canales. El diseño ilustrado en la realización mostrada cumple este requisito:

Canales

Los cálculos de la caída de presión confirman que a una velocidad de flujo lineal de 3 cm/s la caída de presión en los canales se puede limitar a menos de 25 kPa.

Colectores

5 La distribución de agua se produce utilizando pasos en las membranas, denominados colectores. Los colectores están conectados a los canales por medio de cabezales. Se ha elegido el uso de muchos colectores de pequeño diámetro y orificio o válvula de entrada pequeño, para la distribución de agua, puesto que así el espacio utilizado por los cabezales permanece pequeño comparado con la parte activa de la membrana (los canales) y además también se mantiene limitada la caída de presión en los orificios de cabecera. En una longitud de 1750 mm se proporcionan
10 14 colectores (uno por cada 125 mm) y cabezales, de forma que sobre cada uno de ellos se conectan 104 canales. El diámetro de cada colector es 25,7 mm (circunferencia de 80 mm, de forma que los colectores están situados evitando los bordes; área de 518 mm²). Se escoge este dimensionamiento por una parte para limitar la caída de presión en el colector y por otra para limitar la velocidad de los flujos de entrada y de salida por la membrana.

- Caída de presión en el colector: Un colector proporciona en la realización probada el suministro o el drenaje
15 de 3333 pares de células, donde cada par de células extrae o añade 0,62 ml/s (caudal a través de 104 canales). Usando un apilamiento tal, el caudal máximo en el colector es, por lo tanto, aproximadamente de 2 l/s, lo que podría dar como resultado velocidades de 4 m/s. Localmente, esto daría como resultado enormes caídas de presión, y, también, como resultado de ello, una mala distribución de los flujos de agua sobre los pares de células. En consecuencia, se ha escogido el flujo de entrada y de salida a los colectores por los dos lados. Entonces la
20 velocidad máxima alcanza 2 m/s en los lados exteriores del apilamiento y 0 m/s en medio del apilamiento. Para este diseño se ha calculado como resultado que la caída de presión en el colector varía de tal forma que la distribución de agua que resulta es todavía razonablemente uniforme (+/- 7 %, es decir 0,62 +/- 0,04 ml/s). La caída de presión en los colectores es relativamente pequeña (en promedio, un 12 % de la energía necesaria para el flujo de líquido a través del apilamiento se usa en los colectores).

- Velocidades de entrada y salida: La velocidad promedio de entrada o de salida del colector alcanza 3,8
25 cm/s. Los cálculos muestran que el 70 % del flujo de salida se produce en la mitad del arco circular del colector en el lado de las membranas; la otra mitad, en consecuencia, contribuye por el 30 % restante.

Cabezales

30 Los colectores se conectan a los canales mediante los cabezales. Estos cabezales podrían tener una resistencia mecánica insuficiente por sí mismos. Sin embargo, se incorporan doce aletas (nervios) en los cabezales como puntos de soporte que se colocan de forma paralela a los recorridos de flujo o canales. Según los cálculos, la caída de presión en los cabezales con estas aletas es de 0,5 kPa, una fracción de los 25 kPa en los canales. La colocación de los nervios es tal que se consigue el mismo caudal entre cada nervio.

Relación longitud/anchura

35 En las membranas propuestas con cuatro lados iguales se pueden hacer interrupciones cada 104 canales (o un valor múltiplo de ese). De este modo la relación de longitud a anchura es de 14:1.

40 La presente invención no se limita en ningún caso a las realizaciones preferidas descritas. Los derechos buscados se definen mediante las reivindicaciones siguientes, dentro del alcance de las cuales son posibles muchas modificaciones. Por ejemplo, también será posible aplicar la membrana según la presente invención en procesos de electrodiálisis. Además de una única superficie de membrana perfilada con la cual se proporcionan canales, otra posibilidad es por ejemplo proporcionar el otro lado de la membrana con tales canales. Dependiendo, entre otros factores, de los materiales usados y las dimensiones deseadas de la membrana, se pueden variar, por ejemplo, el número de canales, la forma y el número de nervios en la válvula de entrada con el fin de obtener, de ese modo, las mejores condiciones de flujo posibles.

45

REIVINDICACIONES

1. Una célula (20) para llevar a cabo un proceso de electrodiálisis inversa (2), que comprende al menos dos membranas (32), de modo que la membrana comprende una cierta cantidad de canales (34) dispuestos sobre al menos un primer lado de la membrana, de modo que los canales son adecuados para la alimentación y paso de un fluido, caracterizada porque al menos una membrana es una membrana de intercambio de aniones (8) y al menos otra membrana es una membrana de intercambio de cationes (10), de modo que la membrana de intercambio de aniones y la membrana de intercambio de cationes se colocan de forma alternativa y caracterizada porque las dimensiones y condiciones de los canales y el flujo se escogen de tal forma que se produce en los canales un flujo del fluido sustancialmente laminar.
2. Una célula según la reivindicación 1, en la que los canales se proporcionan paralelos entre sí.
3. Una célula según las reivindicaciones 1 o 2, en la que la membrana se proporciona con:
- una válvula de entrada (36) para la alimentación de entrada del fluido a los canales, y
 - una válvula de salida (38) para el vaciado del fluido de los canales,
- de modo que al menos la válvula de entrada se proporciona con nervios guía (46).
4. Una célula según la reivindicación 3, en la que las válvulas de entrada y de salida se proporcionan con nervios con el objetivo de distribuir el fluido por los canales.
5. Una célula según una o más de las reivindicaciones 1-4, en la que la membrana comprende un material poliolefínico sulfoclorado, preferiblemente polietileno, siendo lo más preferible polietileno de baja densidad.
6. Una célula según una o más de las reivindicaciones 1-5, en la que preferiblemente se disponen dos membranas enfrentadas entre sí, con una superficie exterior.
7. Una célula según una o más de las reivindicaciones 1-6, en la que el espesor de las paredes intermedias (48) entre los canales es de aproximadamente 0,2 mm, en el que las paredes intermedias (48) entre los canales soportan y sujetan la membrana a una cierta distancia de la membrana adyacente.
8. Un dispositivo para llevar a cabo un proceso de electrodiálisis inversa (2), que comprende:
- al menos una célula (20) tal como se reivindica en una o más de las reivindicaciones 1-7;
 - al menos un compartimento anódico provisto de un ánodo (4) colocado en un fluido anódico que comprende reactivos para una reacción de oxidación;
 - al menos un compartimento catódico separado del (al menos uno) compartimento anódico por al menos una célula y provisto de un cátodo (6) colocado en un fluido catódico que comprende reactivos para una reacción de reducción.
9. Un dispositivo según la reivindicación 8, en el que la velocidad de flujo en los canales varía de 3 a 6 cm/s.
10. Un dispositivo según las reivindicaciones 8 o 9, en el que al menos se proporcionan un canal de alimentación y un canal de vaciado para la alimentación y el vaciado del fluido en los canales.
11. Un dispositivo según las reivindicaciones 8, 9 o 10, que comprende de 3000 a 3500 células, preferiblemente con una dimensión global de 1,75 x 1,75 x 2,0 m, en el que preferiblemente al menos un canal de alimentación suministra fluido a aproximadamente 104 canales con una anchura combinada de aproximadamente 125 mm.
12. Un dispositivo según una o más de las reivindicaciones 8-11, en el que al menos un canal de alimentación de fluido comprende una válvula (40) en ambos extremos exteriores del colector con el fin de limitar la velocidad del flujo.
13. Un dispositivo según una o más de las reivindicaciones 8-12, en el que se colocan células adyacentes transversalmente con el fin de aumentar la estabilidad del dispositivo.
14. Un método para fabricar membranas (32) para una célula (20) tal y como se define en una o más de las reivindicaciones precedentes, que comprende la etapa de proporcionar canales (34) en al menos un lado de la membrana.
15. Un método para generar electricidad que comprende las etapas de:
- proporcionar un dispositivo tal y como se reivindica en una o más de las reivindicaciones precedentes; y
 - usar el dispositivo para llevar a cabo un proceso de electrodiálisis inversa (2).

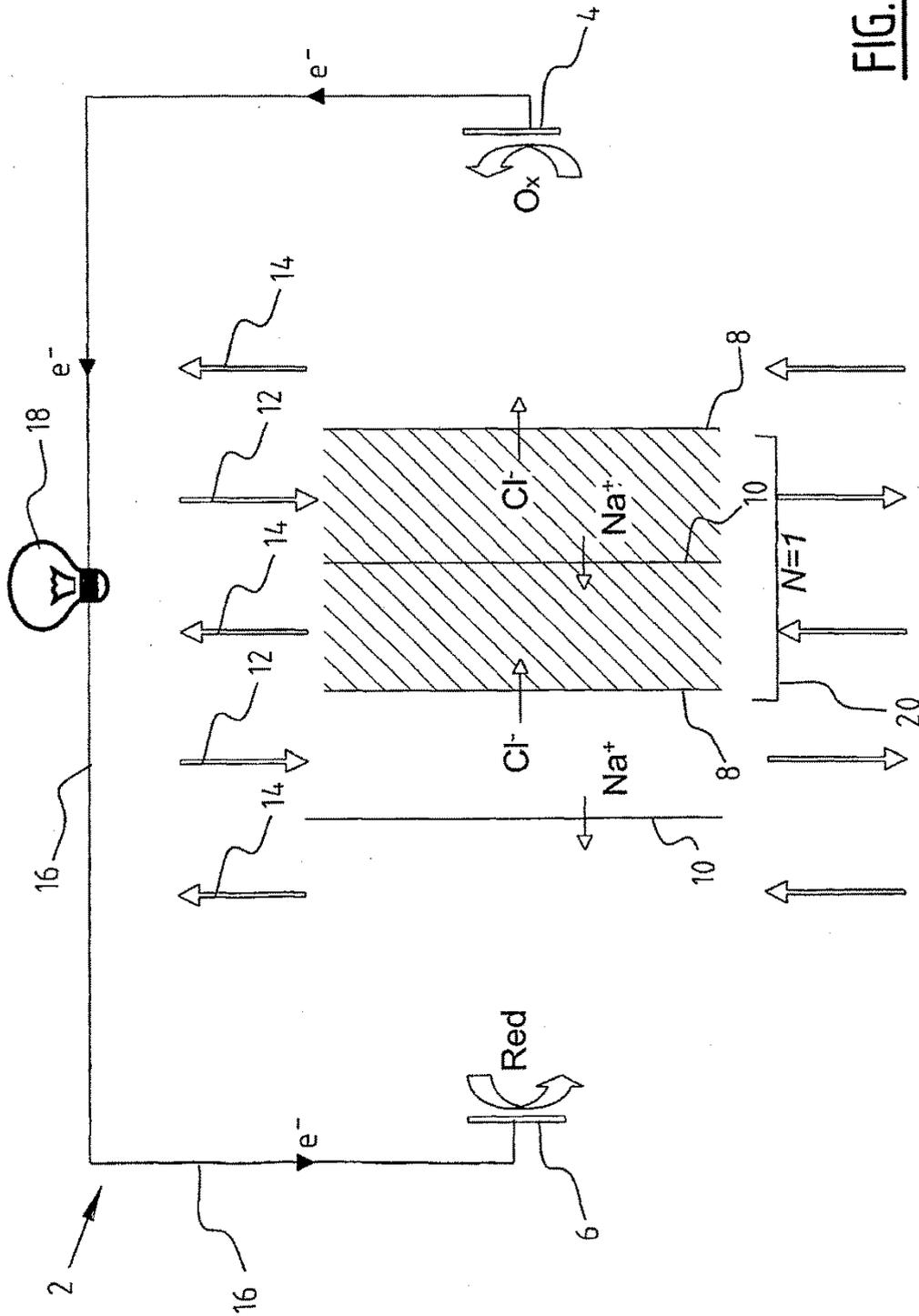


FIG. 1

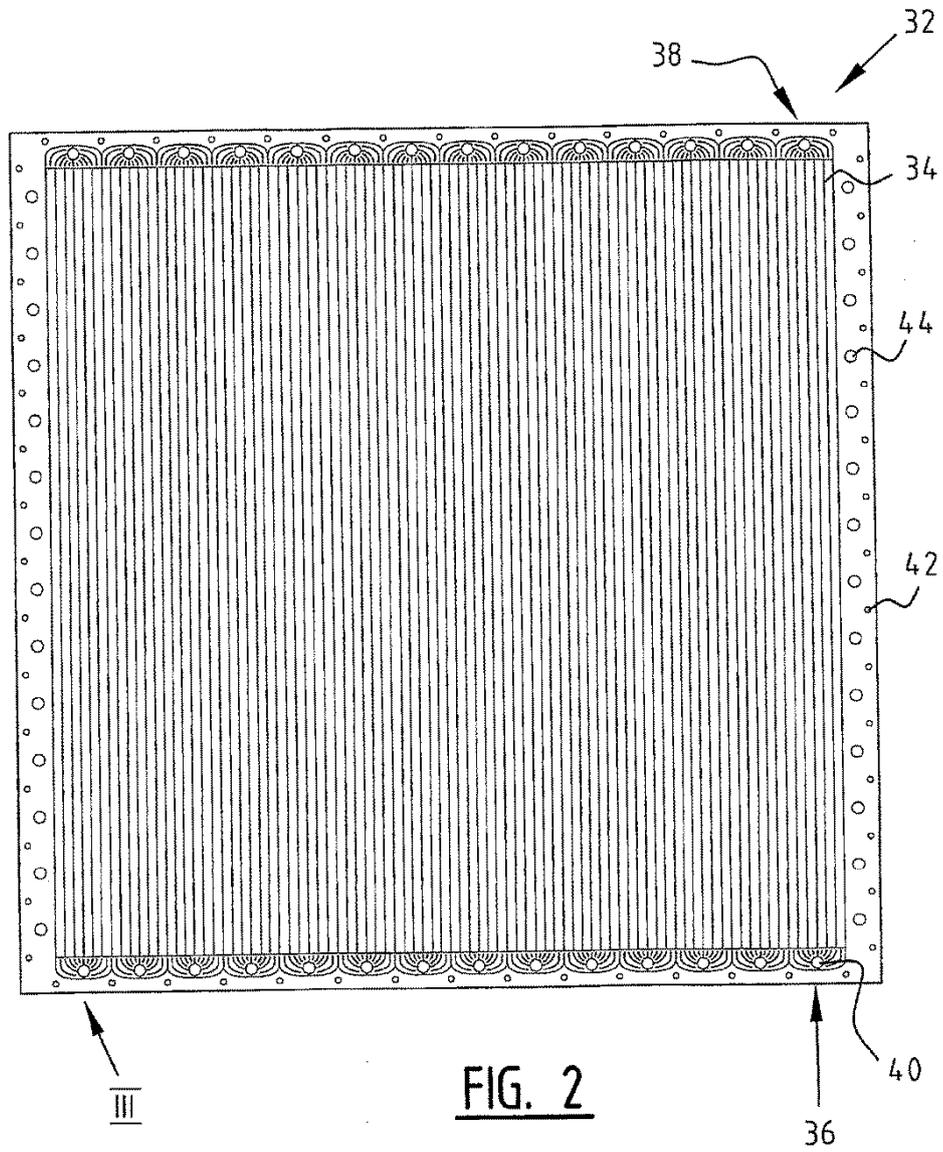


FIG. 2

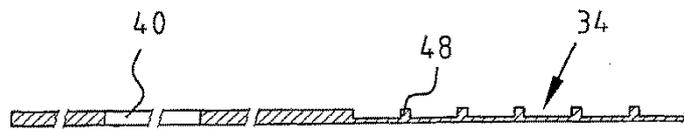
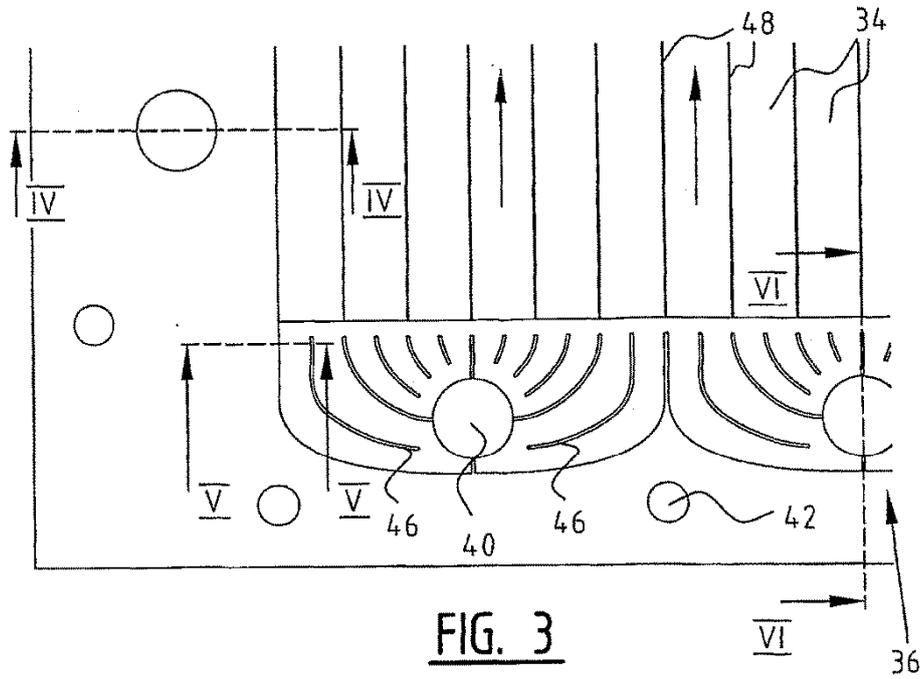


FIG. 4

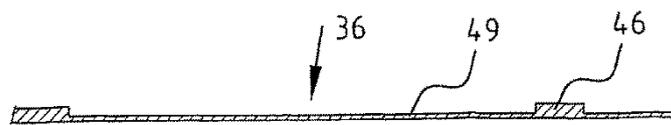


FIG. 5

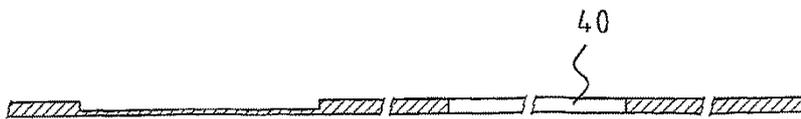


FIG. 6