

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 699 176**

51 Int. Cl.:

**C02F 1/46** (2006.01)

**C02F 1/461** (2006.01)

**C02F 103/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.01.2016 PCT/IB2016/000067**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.08.2016 WO16120717**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.01.2016 E 16707939 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.08.2018 EP 3250516**

54 Título: **Dispositivo y proceso de desalación que utilizan electrodos de difusión de gas**

30 Prioridad:

**30.01.2015 EP 15153192**

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

**07.02.2019**

73 Titular/es:

**GENIO S.R.L. (100.0%)  
Vicolo San Giovanni sul Muro N°9  
20121 Milano, IT**

72 Inventor/es:

**CAVALLI, STEFANO;  
BILATO, STEFANO y  
TREVISAN, MARCO**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 699 176 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 proceso de desalación que utilizan electrodos de difusión de gas

5 CAMPO TÉCNICO

La presente invención se refiere a un dispositivo y proceso para desalación de agua marina y salmuera industrial.

ESTADO DE LA TÉCNICA

10 La desalinización (también denominada desalación) es el proceso de eliminar sales disueltas en agua, obteniendo, como resultado, agua dulce a partir de agua marina o agua salobre. En otras palabras, la desalinización se denomina como un proceso tecnológico para la extracción de disolvente (agua) de soluciones salinas y la producción de agua dulce resultante procedente de agua marina o salmuera industrial.

15 Un dispositivo de desalinización es conocido en la técnica por la aplicación de técnicas de destilación o mediante desalinización por ósmosis inversa o por medio de desalinizadores por electrodiálisis. Todos los tres casos considerados incluyen un consumo de fuente de energía considerable, generalmente energía eléctrica en caso de ósmosis inversa y de desalinizadores por electrodiálisis, o combustible para calentamiento de la solución salina. Es más, además de la línea de entrada de suministro de agua salina y la línea de salida de agua dulce o agua desalada, también es necesaria la línea de salmuera de residuos. El documento US2010/0140103 describe un sistema electroquímico de baja energía de baja tensión que utiliza un ánodo y un cátodo de difusión de gas. El documento US2010/0270158 describe una celda de desalación de combustible microbiano que utiliza un cátodo y un ánodo de difusión de gas.

25 Los residuos de salmueras juegan una función muy importante en términos de impacto medioambiental de técnicas de desalinización existentes. Estas consisten en soluciones salinas que están muy concentradas para ser reprocessadas por el sistema de forma asequible y están, por tanto, gestionadas como soluciones residuales. Dada la salinidad aumentada de estas salmueras, su dispersión en el mar o suelo ha demostrado, a través de los años, el comienzo de un impacto medioambiental elevado con el aumento de la salinidad relativa en áreas de dispersión y efectos posteriores sobre la flora y fauna marina o sobre la disponibilidad de agua potable desde fuentes de agua subterránea. A través de los años, tal impacto medioambiental ha llevado a una exacerbación de las legislaciones internacionales con respecto a la aplicación posible de tales tecnologías conocidas, conduciendo a la falta de aplicabilidad sustancial en las áreas más afectadas por la necesidad de suministro de agua dulce procedente de la desalinización.

35 A pesar de los avances importantes en tecnologías de desalinización, la desalinización de agua marina es aún una tecnología con un consumo de energía más elevado comparado con tecnologías convencionales para el tratamiento de agua dulce; este es el aspecto más relevante que limita su desarrollo comercial. Además, hay también una gran preocupación por los potenciales impactos medioambientales de grandes plantas de desalinización de agua marina, ya que producen residuos (salmuera) que no pueden ser descargados al mar. Se han encontrado tales inconvenientes medioambientales en todas las tecnologías actualmente existentes en el mercado.

45 Además del impacto medioambiental generado a partir de los residuos de salmuera, un segundo punto crítico relativo a las tecnologías conocidas actualmente es inherente a los consumos de energía relacionados con la actividad de desalinización de agua para la producción de agua potable. En los últimos 20 años, la mayor parte de la investigación se ha concentrado en este aspecto, con el fin de optimizar particularmente los procesos de desalinización por ósmosis inversa y destilación fraccional, sin embargo, los consumos de energía principalmente relacionados con estas dos tecnologías están entre los más elevados en la industria de tratamiento de aguas. A modo de ejemplo, una planta de desalinización por ósmosis inversa consume aproximadamente  $3 \text{ kWh/m}^3$ , de los cuales, considerando unos  $0,20 \text{ US \$/kW}$ , se ha derivado un coste de energía de  $0,60 \text{ US \$/m}^3$ , contra un valor máximo de  $0,90 \text{ US \$/m}^3$  del agua producida. Por otro lado, con respecto a los procesos de evaporación, se ha conocido que una destilación de vapor de la turbina a la presión de 6 bares sustrae entalpía a la expansión en una cantidad igual a la producción teórica de aproximadamente  $5 \text{ kWh/m}^3$  de agua desalada producida por evaporación. Tal energía, conocida como calor latente, es así un consumo de energía no recuperable.

55 Hoy en día, como consecuencia, el desarrollo de tecnologías de desalación está destinado completamente a reducir el consumo de energía, mientras la etapa de post-tratamiento de desalación, es decir la eliminación de residuos hipersalinos, no ha sido abordada completa y adecuadamente hasta la fecha.

EXPOSICIÓN DE LA INVENCION

60 La invención tiene el objeto de superar los problemas mencionados, y proponer de forma precisa un nuevo dispositivo y proceso para de desalación que es simultáneamente eficiente y respetuoso con el medio ambiente con el fin de cumplir con los requisitos medioambientales cada vez más estrictos, es decir un dispositivo y proceso para desalación que tiene bajos costes de gestión y de inversión, capaz de evitar o mejorar químicamente los residuos (salmuera).

65 Así, el objeto de la invención es la presentación de un dispositivo y un proceso relacionado para la producción de

agua desalada a partir de salmuera industrial o agua marina, permitiendo en primer lugar solucionar el problema de producción de residuos de salmuera, y en segundo lugar optimizar el consumo de energía por metro cúbico de agua desalada.

5 Otro objeto de la invención es proporcionar un dispositivo y proceso de desalación capaz de proporcionar un 99% de agua desalada, es decir adecuada para consumo humano, con costes de inversión y operativos inferiores comparados con los de la técnica conocida y sin producir residuos (salmuera).

10 En un primer aspecto de la invención, se han conseguido los objetos mediante un dispositivo de desalinización que comprende:

- (a) un ánodo de difusión de gas adecuado para transformar hidrógeno  $H_2$  a iones de hidrógeno  $H^+$ ;
- (b) un cátodo de difusión de gas conectado a través de una conexión eléctrica a dicho ánodo de difusión de gas y adecuado para transformar oxígeno  $O_2$  a iones de hidróxido  $OH^-$ ;
- 15 (c) un sistema para alimentar dicho ánodo de difusión de gas con hidrógeno;
- (d) un sistema para alimentar dicho cátodo de difusión de gas con oxígeno;
- (e) una membrana de intercambio de cationes;
- (f) una membrana de intercambio de aniones;

20 en donde

- (i) dicho cátodo está contenido en una cámara catódica adecuada para contener o que contiene un catolito;
- (ii) dicho ánodo está contenido en una cámara anódica adecuada para contener o que contiene un anolito;
- 25 (iii) dicha cámara anódica y dicha cámara catódica están separadas por dicha membrana de intercambio de cationes y por dicha membrana de intercambio de aniones, que a su vez, están separadas por una tercera cámara adecuada para contener o que contiene una solución acuosa salina,

30 donde

- a) dicha membrana de intercambio de cationes es simultáneamente una pared o una parte relativa de dicha cámara catódica y de dicha tercera cámara de manera que es posible un paso de catión salino desde la tercera cámara a la cámara catódica;
- 35 (β) dicha membrana de intercambio de aniones es simultáneamente una pared o una parte relativa de dicha cámara anódica y de dicha tercera cámara de manera que es posible un paso de anión salino desde la tercera cámara a la cámara anódica.

40 El dispositivo, objeto de la invención, es capaz de tratar soluciones salinas industriales o agua marina con el fin de producir la extracción de iones disueltos en la solución acuosa que producen como residuo un flujo disolvente (agua desionizada) y dos soluciones separadas, una que contiene aniones y la otra cationes, previamente disueltos en la solución salina, convenientemente estabilizados respectivamente por ion de hidronio o (incorrectamente) protón de ácido e ion de hidróxido o hidroxil.

45 Este dispositivo y un proceso relacionado (que ha de ser descrito después), según la invención, mejoran químicamente los residuos (salmuera) a través de la producción de productos químicos básicos y tiene un bajo coste de inversión.

50 El dispositivo y el proceso de desalinización según la invención están caracterizados por un uso acoplado de tecnología de celda de combustible y membranas de intercambio de iones. Comparado con una celda de combustible clásica, la separación de cámaras anódicas y catódicas es realizada a través de la interposición de una tercera cámara delimitada por dos membranas de intercambio de iones.

55 Las membranas de intercambio de iones son conocidas a partir de varias aplicaciones electroquímicas y osmóticas y son fácilmente identificables por una persona experta en la técnica. Es así posible omitir una descripción detallada de las membranas.

Las tres cámaras están separadas entre sí; los contenidos líquidos no se mezclan directamente: se permite un intercambio solamente dentro del alcance del intercambio de iones a través de las membranas.

60 El principio de operación del dispositivo de desalinización según la invención es comparable con el principio de operación de una tecnología similar, es decir la celda de combustible. Como en las celdas de combustible, en el dispositivo según la invención, los gases oxidantes y reductores son hechos fluir a través de un electrodo de difusión de gas, por ejemplo un electrodo de carbono convenientemente tratado con partículas de platino con el fin de catalizar la producción del ion  $H^+$  a partir de hidrógeno y del ion  $OH^-$  a partir de oxígeno.

65 El circuito electroquímico está representado por un electrolito que consiste de una solución salina contenida entre las

dos membranas, la del tipo de catiónico y la del tipo aniónico. En este caso, la fuerza de accionamiento que conduce a la extracción de iones desde la solución es dada por el principio de la neutralidad eléctrica de soluciones, que determina que las concentraciones de cationes (que tienen carga positiva) y aniones (que tienen carga negativa) están relacionadas de manera que un aumento en unas especies iónicas está asociado con un aumento en la concentración de las otras especies que tienen carga opuesta, de manera que la solución mantiene una carga eléctrica nula global. Debido a la capacidad de las membranas de intercambio de iones para transportar selectivamente iones cargados positiva o negativamente y rechazar iones cargados de forma opuesta, es posible no solamente separar iones de la solución acuosa, sino también restringirlos en cámara separadas, neutralizándolos con iones  $H^+$  u  $OH^-$  apropiados, con el fin de producir soluciones concentradas ácidas o básicas.

En la cámara de oxidación del hidrógeno, es decir en la cámara anódica, con el fin de producir iones  $H^+$ , un electrón libre es liberado sobre el electrodo; por el contrario, en la cámara de reducción, es decir en la cámara catódica, con el fin de obtener una producción de iones  $OH^-$  a partir de oxígeno, un electrón libre es recogido. Correspondientemente, un segundo circuito externo, un circuito eléctrico, es realizado a través de la conexión eléctrica de electrodos sobre los que se genera ventajosamente una corriente continua. Como se ha descrito, así, el presente dispositivo es capaz de producir energía eléctrica durante la desalinización como un fenómeno esencial al cierre del circuito electroquímico. Tal corriente eléctrica se puede explotar como en las celdas de combustible.

En segundo lugar, ventajosamente, la tecnología descrita no implica ningún proceso térmico o procesos de presión o cualquier tipo de movimiento mecánico de fluido si no es el exclusivamente dado por los flujos dentro de las cámaras.

En un tercer análisis, el presente proceso desalación, asimilable a un proceso de electrodiálisis, difiere de este por el hecho de que no implica la formación de residuos de salmuera, ya que no procede a la extracción de partes de disolvente puro de la solución sino más bien, por el contrario, a la extracción directa de iones procedentes de la solución. Además, la posibilidad de extraer de forma separada y restringir iones positivos y negativos en cámaras separadas permite la realización de lo que se puede definir como una reacción de neutralización ácido-base inversa, permitiendo reproducir los ácidos concentrados respectivos y las bases concentradas respectivas a partir de la solución salina.

En la variante de la invención preferida, en el dispositivo de desalinización, cada cámara está provista de una entrada y una salida, y precisamente:

- (a) la cámara anódica está provista de una entrada para el anolito diluido y de una salida para el ácido concentrado;
- (b) la cámara catódica está provista de una entrada para el catolito diluido y de una salida para la base concentrada; y
- (c) la tercera cámara está provista de una entrada para la solución salina inicial y una salida para la solución salina de concentración reducida.

Este sistema permite una operación de dispositivo continua. Hay tres entradas para tres diferentes líquidos (anolito, catolito y salmuera, en donde el anolito y el catolito no corresponden con la salmuera) y tres salidas para la producción de tres soluciones sin residuos utilizables: agua potable, ácido y base.

Preferiblemente, el cátodo, el ánodo y las membranas tienen forma de placa y están dispuestos esencialmente en paralelo entre ellos. Tal disposición es simple y compacta. Así, en el dispositivo según la invención, el ánodo, la cámara anódica, la membrana de intercambio de aniones, la tercera cámara, la membrana de intercambio de cationes, la cámara cationes y el cátodo están en secuencia.

En una variante ventajosa de la invención, el anolito es un ácido, el catolito es una base y la solución salina es una solución salina compuesta del anión del ácido y el catión de la base. Esto permite la producción de ácidos y bases concentrados a partir de su producto de neutralización respectivo, la sal. Más preferiblemente, el anolito es un ácido clorhídrico, el catolito es hidróxido de sodio y la solución salina es una solución de cloruro de sodio. En esta constelación es posible desalar agua marina. Obviamente, el dispositivo puede ser utilizado también para la desalinización de otro tipo de soluciones salinas concentradas tales como residuos de procesos industriales.

Ventajosamente, los electrodos son electrodos de carbono que comprenden partículas catalizadoras, en particular platino. La presencia del catalizador simplifica la transformación de hidrógeno y oxígeno respectivamente a  $H^+$  y  $OH^-$ . Son posibles otros tipos de electrodos, conocidos de la técnica de celdas de combustible.

Preferiblemente, el sistema para alimentar el ánodo de difusión de gas con hidrógeno es un reformador alimentado con metano. El uso de tal reformador permite la producción de gas de síntesis ( $H_2$  y  $CO_2$ ).

Ventajosamente, el sistema para alimentar dicho cátodo de difusión de gas con oxígeno es un sistema que proporciona aire. El aire es una elección muy económica y está disponible en cualquier lugar.

Otro aspecto de la invención se refiere a un proceso de desalinización que comprende las siguientes etapas:

- (a) proporcionar un dispositivo según la invención;
- (b1) alimentar la cámara anódica con un anolito, preferiblemente un ácido diluido;
- (b2) alimentar la cámara catódica con un catolito, preferiblemente una base diluida;
- (b3) alimentar la tercera cámara con una solución salina concentrada;
- (c1) oxidar hidrógeno  $H_2$  sobre el ánodo con formación de iones de hidrógeno  $H^+$  que entran a la cámara anódica;
- (c2) reducir oxígeno sobre el cátodo con formación de iones de hidróxido  $OH^-$  que entran a la cámara de cationes;
- (d1) en respuesta al aumento de concentraciones de iones  $H^+$  en la cámara anódica, hacer pasar aniones salinos desde la tercera cámara a la cámara anódica;
- (d2) en respuesta al aumento de concentraciones de iones  $OH^-$  en la cámara cationes, hacer pasar cationes salinos desde la tercera cámara a la cámara catódica.

Ventajosamente, un ácido concentrado es extraído de la cámara anódica, una base concentrada es extraída de la cámara anódica y agua potable o agua para uso de riego, preferiblemente agua potable, es extraída de la tercera cámara. Así, se han obtenido agua desalada y dos productos químicos básicos, un ácido y una base concentrados.

Con el dispositivo y el proceso según la invención es posible:

- producir energía eléctrica a través de la oxidación de hidrógeno, por ejemplo generado a través de la reformación de metano, y reducción de oxígeno, por ejemplo, el oxígeno contenido en el aire,
- regenerar un ácido, por ejemplo ácido clorhídrico, y una base, por ejemplo hidróxido de sodio, a partir de una solución salina, tal como cloruro de sodio, a través de la migración de componente salino entre las membranas de intercambio de cationes y aniones. Por consiguiente, la producción de residuos (salmuera) no ocurrirá, pero se han obtenido productos químicos básicos.

Las únicas ventajas tecnológicas según la invención pueden ser, entre otras cosas, descritas con:

- (a) la producción de agua potable;
- (b) la producción de energía eléctrica ( $11\text{kWh/m}^3$  de agua desalada); y
- (c) la producción de productos químicos básicos, tales como ácido clorhídrico e hidróxido de sodio.

El principio de desalinización según la invención, puede ser descrito como una desalinización iónica espontánea de bomba (SPID) o como una transferencia iónica espontánea de membrana (SMIT), el nombre comercial elegido por el solicitante para la tecnología según la invención.

Las características descritas a partir de un aspecto de la invención pueden ser transferidas *mutatis mutandis* al otro aspecto de la invención.

Dichos objetos y ventajas será mejor resaltados durante la descripción de los ejemplos de realización preferida de la invención dados, a modo de ejemplo no limitativo.

Las variantes de la invención son el objeto de las reivindicaciones dependientes. La descripción de las realizaciones preferidas del dispositivo y del proceso de desalinización según la invención es dada, a modo de ejemplo no limitativo y sin limitación, con referencia a los dibujos adjuntos.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 ilustra, en un diagrama esquemático, el modo de operación del dispositivo y del proceso de desalación según la invención;

La Figura 2 ilustra, en una vista despiezada ordenadamente, una realización del dispositivo de desalinización según la invención.

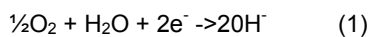
#### DESCRIPCIÓN DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

Con particular referencia a la Figura 1, se ha ilustrado el principio de operación del dispositivo y proceso según la invención. El dispositivo indicado generalmente como 10 comprende dos electrodos 12 y 14 de difusión de gas (GDE) y, de manera precisa, un ánodo 12 de difusión de gas y un cátodo 14 de difusión de gas. Los dos electrodos son necesarios para la oxidación y reducción de gases de alimentación, en este documento hidrógeno y oxígeno, de la celda de combustible realizada en el dispositivo 10. Estos electrodos 12 y 14 están separados por dos membranas 16 y 18. La membrana 16 es una membrana de intercambio de aniones (AEM), mientras que la membrana 18 es una membrana de intercambio de cationes (CEM). Se han observado además una entrada 20 conectada a una línea de entrada de agua salada, una entrada 22 conectada a una línea de entrada de anolito (HCl diluido), y una entrada 24 conectada a una línea de entrada de catolito (NaOH diluido). El anolito entra en una primera cámara 26 formada entre el ánodo 12 y la membrana 16 de intercambio de aniones. El catolito entra en una segunda cámara 28 formada entre el cátodo 14 y la membrana 18 de intercambio de cationes. Finalmente, el agua salada entra en una tercera

cámara 30 formada entre las dos membranas 16 y 18 de intercambio de iones. En cada cámara 26, 28 y 30 hay prevista una salida, y con más exactitud en la primera cámara 26 una salida 32 para ácidos concentrados, en la segunda cámara una salida 34 para bases concentradas en la tercera cámara 30 una salida 36 para agua potable o agua para uso de riego.

5 Finalmente, el dispositivo 10 proporciona una entrada 38 de hidrógeno y una entrada 40 de oxígeno que son parte, respectivamente, de una cuarta y quinta cámaras 42 y 44. La cuarta cámara 42 está definida sobre un lado por el ánodo 12, mientras que la quinta cámara 44 está definida sobre un lado por el cátodo 14. Los electrodos 12 y 14 son permeables a hidrógeno y oxígeno. Los electrodos 12 y 14 están conectados a través de una conexión 11 eléctrica.  
 10 El hidrógeno H<sub>2</sub> y el oxígeno O<sub>2</sub> son oxidados y reducidos respectivamente sobre el ánodo 12 y el cátodo 14 para formar iones de hidrógeno H<sup>+</sup> e iones de hidróxido OH<sup>-</sup>. Estos iones dejan los electrodos respectivos para entrar a la primera cámara 26 y a la segunda cámara 28.

15 Los procesos de oxidación de hidrógeno (proceso anódico) y reducción de oxígeno (proceso catódico) están representados por las siguientes ecuaciones (1) y (2):



20 La fuerza de accionamiento del sistema es el principio de neutralidad eléctrica, que determina que las concentraciones de cationes (que tienen carga positiva) y de aniones (que tienen carga negativa) están relacionadas entre sí de manera que un aumento en la concentración de una especie iónica está asociado con un aumento en la concentración de la otra especie que tiene carga opuesta. Ya que las membranas utilizadas tienen la capacidad de transportar de forma selectiva iones cargados positiva (membrana 18) o negativamente (membrana 16) y rechazar iones de carga opuesta, es posible separar, retirar y concentrar electrolitos. En el caso específico ilustrado en la Figura 1, el aumento en la concentración de iones H<sup>+</sup> en la cámara 26 provoca la compensación de las cargas positivas introducidas con la entrada de iones Cl<sup>-</sup> desde la cámara 30 a través de la cámara 16 de intercambio de aniones, mientras el aumento en la concentración de iones OH<sup>-</sup> en la cámara 28 provoca la compensación de cargas negativas introducidas con la entrada de iones Na<sup>+</sup> desde la cámara 30 a través de la membrana 18 de intercambio de cationes. Estos procesos provocan un aumento en la concentración de ácido clorhídrico HCl en la cámara 26, un aumento en la concentración de hidróxido de sodio NaOH en la cámara 28 y, finalmente, una disminución en la concentración de sal NaCl en la cámara 30. En las cámaras 26 y 28, H<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> (que forman el ácido clorhídrico) y OH<sup>-</sup> y Na<sup>+</sup> (que forman el hidróxido de sodio) son combinados respectivamente juntos.

35 Por consiguiente, el ácido clorhídrico y el hidróxido de sodio pueden ser regenerados por la solución de cloruro de sodio que utiliza una celda 10 en tres cámaras o compartimentos 26, 28 y 30 definidos por dos electrodos 12 y 14 y por dos membranas 16 y 18 de intercambio de iones.

40 En resumen, el dispositivo proporciona una entrada 20 conectada a la línea de alimentación de solución salina (no representada), dos entradas que contienen las soluciones 22 y 24 diluidas de anolito y catolito, dos entradas 38 y 40 de alimentación de hidrógeno y oxígeno, electrodos 12 y 14 para oxidación y reducción de gases de alimentación, membranas 16 y 18 de intercambio de iones apropiadas, una salida 36 para agua potable desalinizada o agua para uso de riego, una salida 32 de ácido concentrado, una salida 34 de solución concentrada básica.

45 La Figura 2 ilustra, en una vista despiezada ordenadamente, un ejemplo de realización del dispositivo 110 (una celda) según la invención.

50 Sobre los lados externos del dispositivo 110 hay algunas paredes 146 y 148 perforadas que definen la celda 110. Continuando desde los lados 110 de la celda hacia el interior, se han notado dos juntas 154 y 156 perforadas. Entre la pared 146 y la junta 154 hay insertado un compartimento de gas (flecha A) (no representado), así como (flecha B) entre la pared 148 y la junta 156. Sigue respectivamente un cátodo 114 de difusión de gas y un ánodo 112 de difusión de gas, soportados por las paredes 152 y 150 perforadas. Los electrodos 112 y 114 van seguidos por las juntas 166 y 168 perforadas. Dos cámaras 128 y 126 están asociadas en las paredes 174 y 176 perforadas respectivas. A cada lado, sigue una junta 178 perforada y una junta 180 no perforada, a continuación hay una membrana 118 de intercambio de cationes y una membrana 116 de intercambio de aniones perforada. Finalmente, hay una junta 168 perforada y una junta 188 no perforada, a cada lado; estas juntas definen una tercera cámara 130 alojada en una pared 192 perforada. La presencia o ausencia de dichos agujeros y la alineación o no alineación entre ellos determina canales definidos para el paso del líquido, tales como el anolito y catolito diluidos y concentrados y la sal y el agua desalinizada.

60 Las cámaras 126, 128 y 130, los electrodos 112 y 114 y las membranas 116 y 118 corresponden a las cámaras 26, 28 y 30, a los electrodos 12 y 14 y a las membranas 16 y 18 de la Figura 1.

65 Uno de los agujeros 194 de la pared 148 es utilizado como una entrada para que el anolito pase a través de los agujeros respectivos alineados con él a la cámara 126 donde se concentra y sale de un conjunto de agujeros

alineados a través de la salida correspondiente a uno de los agujeros 196 de la pared 148. La cámara 126 está definida por el ánodo 112 y por la membrana 116 de intercambio de aniones. El flujo de anolito está representado por las flechas C.

5 Uno de los agujeros 198 de la pared 146 es utilizado como una entrada para que el catolito pase a través de los agujeros respectivos alineados con él a la cámara 128 donde se concentra y sale de un conjunto de agujeros alineados a través de la salida correspondiente a uno de los agujeros 200 de la pared 146. La cámara 128 está definida por el cátodo 114 por la membrana 118 de intercambio de cationes. El flujo de catolito está representado por las flechas D.

10 A través de un tercer agujero 202 de los agujeros de pared 148 la solución salina concentrada entra y pasa a través de los agujeros respectivos alineados con él a la cámara 130 donde su concentración salina disminuye y sale de un conjunto de agujeros alineados a través de la salida correspondiente a otro agujero 204 de los agujeros de la pared 148. La cámara 130 está definida por la membrana 118 de intercambio de cationes y por la membrana 116 de intercambio de aniones. El flujo de la solución salina/desalada está representado por las flechas E.

15 En un ejemplo de aplicación de la invención para producción de agua potable a partir de agua salina, la planta está compuesta de un reformador alimentado con metano para la producción de gas de síntesis, que contiene hidrógeno y dióxido de carbono y una celda como se ha descrito anteriormente. Tal planta está precedida por una planta de tratamiento previo de agua marina normal, que comprende las etapas de filtración posteriores para un compuesto orgánico y la retirada de algas y para la estabilización de la turbidez, hasta una etapa de ultrafiltración, dirigida a la retirada de iones divalentes disueltos en la solución. El flujo de agua que alimenta la celda está compuesto mayormente de agua e iones monovalentes, incluyendo mayormente cloro y sodio. El reformador es alimentado con hidrógeno con otros combustibles líquidos y proporciona suministro de hidrógeno para la alimentación de la celda.

20 Por cada  $m^3$  de agua tratada se producen  $0,9 m^3$  de agua potable, con un consumo de metano de aproximadamente  $3,7 m^3$  por metro cúbico de agua tratada y una producción posterior de 11 kg de NaOH y 19 kg de HCl.

25 La presente invención soluciona los problemas presentados anteriormente y proporciona un dispositivo y un proceso relacionado útil para la desalación de agua marina y salmuera industrial sin producir soluciones salinas concentradas y produciendo energía eléctrica y productos químicos básicos.

30 El dispositivo según la invención es un dispositivo electroquímico de celda de combustible capaz de producir energía eléctrica durante el proceso de desalinización, para consumir diferentes formas de combustibles fósiles, para producir agua desalinizada y finalmente reducir las sales disueltas en productos químicos básicos, que pueden ser explotados económicamente, evitando la producción de salmuera.

35 Durante la puesta en práctica, se pueden implementar modificaciones o variantes de la realización adicionales del dispositivo de desalinización y del proceso de desalación de la invención, que no se han descrito en este documento. Si tales modificaciones o tales variantes deberían caer dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones, todo debería ser considerado protegido por la presente patente.

**REIVINDICACIONES**

1. Dispositivo (10; 110) de desalinización que comprende:

- 5 (a) un ánodo (12; 112) de difusión de gas adecuado para transformar hidrógeno H<sub>2</sub> a iones de hidrógeno H<sup>+</sup>;  
 (b) un cátodo (14; 114) de difusión de gas conectado a través de una conexión (11) eléctrica a dicho ánodo de difusión de gas y adecuado para transformar oxígeno O<sub>2</sub> a iones de hidróxido OH<sup>-</sup>;  
 10 (c) un sistema para alimentar dicho ánodo de difusión de gas con hidrógeno;  
 (d) un sistema para alimentar dicho cátodo de difusión de gas con oxígeno;  
 (e) una membrana (18; 118) de intercambio de cationes;  
 (f) una membrana (16; 116) de intercambio de aniones;

en donde

- 15 (i) dicho cátodo (14; 114) está contenido en una cámara (28; 128) catódica adecuada para contener o que contiene un catolito;  
 (ii) dicho ánodo (12; 112) está contenido en una cámara (26; 126) anódica adecuada para contener o que contiene un anolito;  
 20 (iii) dicha cámara (26; 126) anódica y dicha cámara (28; 228) catódica están separadas por dicha membrana (18; 118) de intercambio de cationes y por dicha membrana (16; 116) de intercambio de aniones que a su vez están separadas por una tercera cámara (30; 130) adecuada para contener o que contiene una solución acuosa salina,

25 donde

- (α) dicha membrana (18; 118) de intercambio de cationes es simultáneamente una pared o una parte relativa de dicha cámara (28; 128) catódica y de dicha tercera cámara (30; 130) de manera que puede haber un paso de catión salino desde la tercera cámara (30; 130) a la cámara (28; 128) catódica;  
 30 (β) dicha membrana (16; 116) de intercambio de aniones es simultáneamente una pared o una parte relativa de dicha cámara (26; 126) anódica y de dicha tercera cámara (30; 130) de manera que puede haber un paso de aniones salinos desde la tercera cámara (30; 130) a la cámara (26; 126) anódica.

35 2. Dispositivo de desalinización según la reivindicación 1, caracterizado porque cada una de dichas cámaras (26, 28, 30; 126, 128, 130) está provista de una entrada (20, 22, 24; 194, 198, 202) y una salida (32, 34, 36, 196, 200, 204), y precisamente:

- (a) por que la cámara (26; 126) anódica está provista de una entrada (194) para el anolito diluido y de una salida (196) para el ácido concentrado;  
 40 (b) por que la cámara (28; 128) catódica está provista de una entrada (198) para el catolito diluido y de una salida (200) para la base concentrada; y  
 (c) porque la tercera cámara (30; 130) tiene una entrada (202) para la solución salina inicial y una salida (204) para la solución salina de concentración reducida.

45 3. Dispositivo de desalinización según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que dicho cátodo (14; 114), dicho ánodo (12; 112) y dichas membranas (16, 18; 116, 118) tienen forma de placa y están dispuestos esencialmente en paralelo entre ellos.

50 4. Dispositivo de desalinización según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que dicho anolito es un ácido, dicho catolito es una base y dicha solución salina es una solución salina compuesta del anión de dicho ácido y del catión de dicha base.

55 5. Dispositivo de desalinización según la reivindicación 4, caracterizado por que dicho anolito es un ácido clorhídrico, porque dicho catolito es hidróxido de sodio y porque dicha solución salina es una solución de cloruro de sodio.

60 6. Dispositivo de desalinización según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque los electrodos (12, 14; 112, 114) son electrodos de carbono que comprenden partículas de catalizador, en particular platino.

7. Dispositivo de desalinización según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que dicho sistema para alimentar dicho ánodo de difusión de gas con hidrógeno es un reformador alimentado con metano.

8. Dispositivo de desalinización según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que dicho sistema para alimentar dicho cátodo de difusión de gas con oxígeno es un sistema que proporciona aire.

65 9. Proceso de desalinización que comprende las siguientes etapas:



## ES 2 699 176 T3

- (a) proporcionar un dispositivo (10; 110) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes;
  - (b1) alimentar la cámara (26; 126) anódica con un anolito, preferiblemente un ácido diluido;
  - (b2) alimentar la cámara (28; 128) catódica con un catolito, preferiblemente una base diluida;
  - (b3) alimentar la tercera cámara (30; 130) con una solución salina concentrada;
  - 5 (c1) oxidar hidrógeno  $H_2$  sobre el ánodo (12; 112) con formación de iones de hidrógeno  $H^+$  que entran en la cámara anódica;
  - (c2) reducir oxígeno sobre el cátodo (14; 114) con formación de iones de hidróxido  $OH^-$  que entran en la cámara catódica;
  - 10 (d1) en respuesta al aumento de concentraciones de iones  $H^+$  en la cámara (26; 126) anódica, hace pasar aniones salinos desde la tercera cámara (30; 130) a la cámara (26; 126);
  - (d2) en respuesta al aumento de concentraciones de iones  $OH^-$  en la cámara (28; 128) catódica, hace pasar cationes salinos desde la tercera cámara (30; 130) a la cámara (28; 128) catódica.
- 15 10. Proceso según la reivindicación 9, caracterizado porque un ácido concentrado es extraído desde dicha cámara (26; 126) anódica, una base concentrada es extraída desde dicha cámara (28; 128) catódica y agua potable o agua para uso de riego, preferiblemente agua potable, es extraída desde dicha tercera cámara (30; 130).

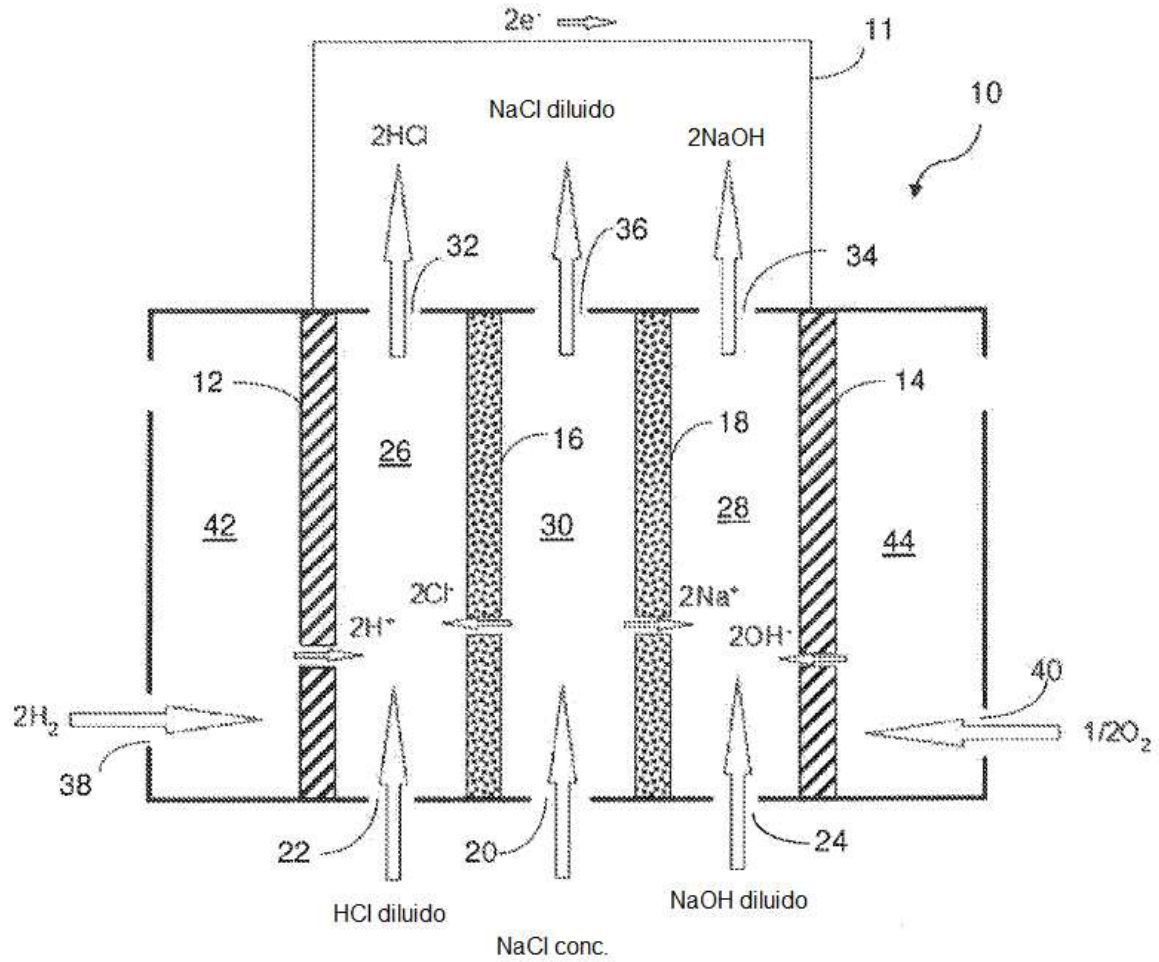


Fig. 1

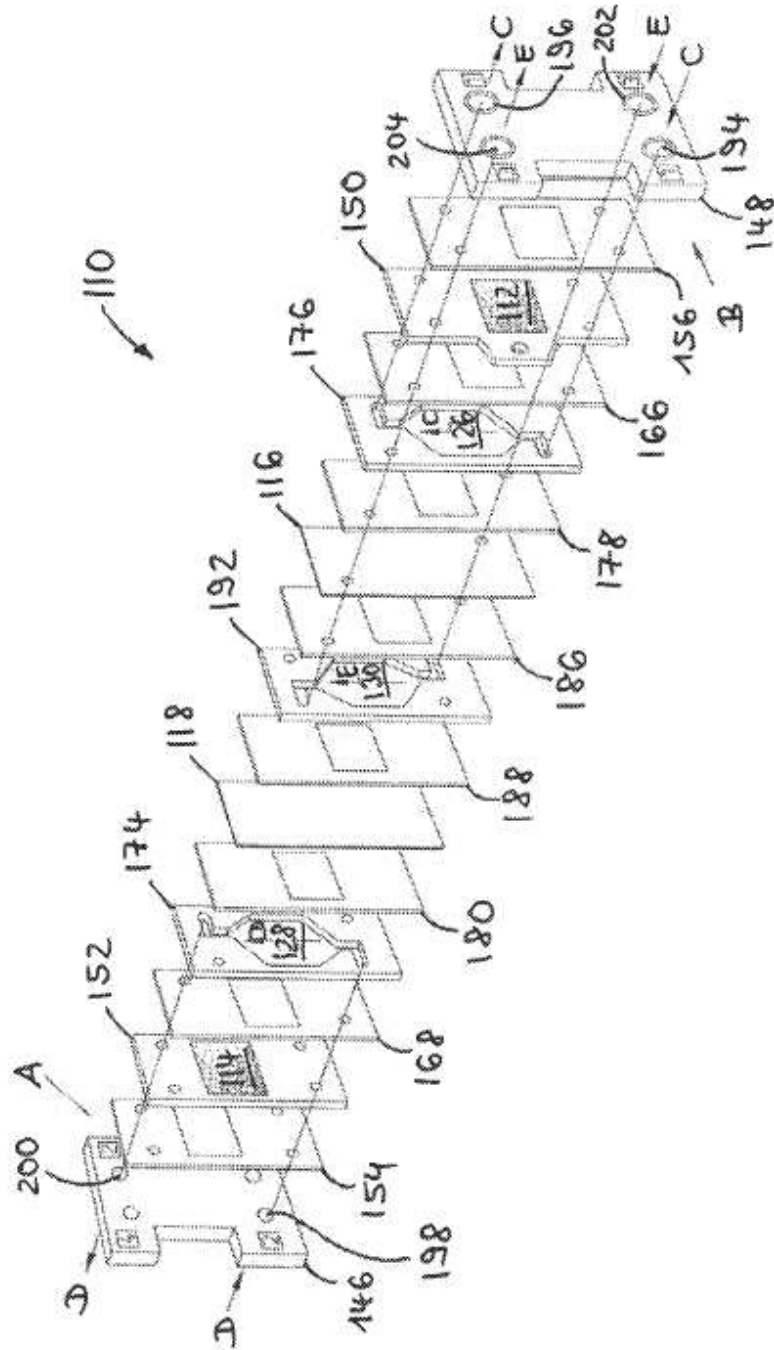


Fig. 2