

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 371 815**

51 Int. Cl.:
H01M 8/22

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09714354 .9**
96 Fecha de presentación: **27.02.2009**
97 Número de publicación de la solicitud: **2245693**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **03.11.2010**

54 Título: **DISPOSITIVO Y MÉTODO PARA REALIZAR UN PROCEDIMIENTO DE ELECTRODIÁLISIS INVERSA.**

30 Prioridad:
27.02.2008 NL 1035090

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
10.01.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
10.01.2012

73 Titular/es:
Redstack B.V.
Pieter Zeemanstraat 6
8606 JR Sneek

72 Inventor/es:
ROODENBURG, Patrick

74 Agente: **de Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 371 815 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 inversa

La presente invención se refiere a un dispositivo para realizar procedimientos electroquímicos en una celda electroquímica, tales como un procedimiento de electrodiálisis inversa. Particularmente, la invención se refiere a la limpieza de los electrodos aquí empleados.

Con el uso de un procedimiento de electrodiálisis inversa se puede generar energía eléctrica haciendo uso del potencial eléctrico que está disponible mediante la puesta en contacto de, por ejemplo, agua de mar y agua de río, o corrientes similares. En la patente holandesa 1031148 se describe un dispositivo tal para realizar un procedimiento de electrodiálisis inversa. En un dispositivo tal, durante la electrólisis de un electrolito acuoso que contiene calcio y/o magnesio, sobre el cátodo se forman incrustaciones de cal y/o magnesio, de acuerdo con las siguientes reacciones químicas:



Las incrustaciones de cal y/o magnesio formadas impiden la adecuada operación de la celda electroquímica, y por lo tanto se deben separar. La eficacia de la celda se deteriora debido a la formación de incrustaciones de cal y/o magnesio. Esto significa que, con el fin de mantener la eficacia de la celda en un nivel deseado, el cátodo se debe limpiar regularmente, con lo que se separan las incrustaciones de cal y/o magnesio. Al colocar el cátodo en una solución relativamente ácida, las incrustaciones de cal y/o magnesio sobre la superficie del cátodo se disuelven y esta superficie se queda limpia de nuevo. Los métodos conocidos para colocar el cátodo en un entorno tal son barrer el cátodo con ácido clorhídrico y cambiar la dirección del flujo. Aunque en la electrodiálisis se aplica el primer método de barrido del cátodo, este método no es fácilmente utilizable en la electrodiálisis inversa. En un procedimiento de electrodiálisis inversa tal, esto significa que se debe invertir con alguna regularidad la dirección del flujo en el sistema. Después de la inversión de la dirección del flujo, sobre la superficie en la que están presentes las incrustaciones de cal y/o magnesio se produce la siguiente reacción:



Al invertir la dirección del flujo, cambia la función del cátodo, de tal modo que después de la inversión de la dirección del flujo funciona, de hecho, como ánodo. Durante el periodo de dirección del flujo inversa, en la superficie del electrodo se reduce el pH debido a la producción de protones sobre la superficie del ánodo. Las incrustaciones de cal y/o magnesio presentes sobre la superficie se disuelven por ello. Un inconveniente de este método de limpieza de los electrodos es la enorme reducción de la vida útil de tales electrodos. De esta manera, en la práctica se ha encontrado que, dependiendo, entre otros factores, de la velocidad con que se invierte la dirección del flujo (inversión de la polaridad) y de la capa de recubrimiento o del revestimiento con que el electrodo está provisto, la vida útil se puede reducir por un factor de 1.000 o más. Aunque determinadas capas de recubrimiento reducen este inconveniente en alguna medida, tales electrodos manifiestan aún una reducción en la vida útil de, por ejemplo, aproximadamente 96%. Esta enorme reducción de la vida útil de los electrodos cuando se invierte la dirección del flujo es provocada porque se invierte el estado de oxidación de la capa de recubrimiento, y se debe a las reacciones que aquí se producen. Un cátodo que se conmuta, y comienza a funcionar de hecho como ánodo, es en primera instancia más intensamente impactado por las reacciones que se producen.

Las reacciones que se producen en el procedimiento de electrodiálisis inversa son, entre otras:

reacciones anódicas:



reacción catódica:



También se pueden producir aquí otras reacciones; por ejemplo: $\text{M}^{n+} + n \text{e}^- \rightarrow \text{M}$, como reacción catódica.

La patente de EE.UU. 2006/263646 describe un sistema para la generación de energía.

La presente invención tiene por objeto proporcionar un dispositivo con el que se mejoran los dispositivos existentes y con el que, debido particularmente a la mejora de la limpieza de los electrodos, se puede conseguir una mayor vida útil de los mismos.

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

- un compartimento primero provisto de al menos un electrodo primero y un electrodo segundo;
- un compartimento segundo separado del compartimento primero y provisto de al menos un electrodo primero y un electrodo segundo;
- un elemento de conmutación para conmutar entre un modo primero, en el que se conectan entre sí el electrodo primero del compartimento primero y el electrodo primero del compartimento segundo, y en el que los electrodos segundos de los compartimentos están separados; y un modo segundo, en el que se conectan entre sí el electrodo segundo del compartimento primero y el electrodo segundo del compartimento segundo, y los electrodos primeros de los compartimentos están separados; y
- al menos una membrana de intercambio catiónico y una membrana de intercambio aniónico, que se colocan alternativamente entre los compartimentos primero y segundo, en el que entre las membranas de intercambio catiónico y de intercambio aniónico se forman unos compartimentos electrolíticos en los que hay una solución electrolítica de baja osmoticidad con una baja concentración de iones y una solución electrolítica de alta osmoticidad con una concentración de iones mayor que las soluciones electrolíticas de baja osmoticidad, soluciones electrolíticas de alta osmoticidad y baja osmoticidad que están colocadas alternativamente en los compartimentos electrolíticos, y en el que las soluciones electrolíticas de alta y baja osmoticidad cambian su posición durante la conmutación de los modos primero a segundo de generación de electricidad.

Ambos lados de la celda, es decir, el compartimento primero (ánodo) y el compartimento segundo (cátodo), según se usan en el modo primero, están provistos cada uno de al menos un electrodo primero y un electrodo segundo. En el caso de que el dispositivo se use en un procedimiento de electrodiálisis inversa, en los modos primero y segundo se genera electricidad. Al proporcionar al compartimento primero un electrodo primero (ánodo) y un electrodo segundo (cátodo), y proporcionar también al compartimento segundo un electrodo primero (cátodo) y un electrodo segundo (ánodo), es posible conmutar, es decir, invertir la polaridad entre el par de electrodos en uso. Durante el modo primero de la celda, el par primero de electrodos está de esta manera activo, es decir, el ánodo del compartimento primero (ánodo) y el cátodo del compartimento segundo (cátodo) se conectan entre sí. Luego, los electrodos del par segundo se separan entre sí. En el modo segundo, después de la conmutación de la dirección del flujo, el par primero de electrodos se desconecta y, por lo tanto, no está activo en adelante. Luego, se conecta el par segundo de electrodos, es decir, el electrodo segundo (cátodo) del compartimento primero y el electrodo segundo (ánodo) del compartimento segundo. En este modo segundo, el compartimento primero funciona como compartimento catódico y el compartimento segundo como compartimento anódico. Por lo tanto, en el modo segundo se invierte con relación al modo primero la dirección del flujo entre los dos compartimentos. La conmutación de los electrodos tiene lugar usando un elemento de conmutación.

Además de la conmutación de los pares de electrodos entre los dos modos, también se conmuta la solución electrolítica con magnesio y/o calcio allí contenida. Esto indica que en el caso de que en el modo primero fluya, por ejemplo, agua dulce a lo largo del electrodo primero (ánodo) del compartimento primero, principalmente se formará oxígeno de acuerdo con, por ejemplo, la reacción (6), y en alguna medida posiblemente cloro de acuerdo con la reacción (8). Este cloro se forma a partir del cloruro que proviene del compartimento electrolítico adyacente a través de la membrana permeable a los aniones. En el modo segundo, en el compartimento primero se produce hidrógeno de acuerdo con la reacción (1).

En una realización alternativa preferida, en el modo primero a través del compartimento primero se envía agua salada, en lugar de agua dulce. Luego, se forman aquí cloro y oxígeno. En este caso, se debe proveer a este compartimento de una membrana permeable a los cationes. En el modo segundo, en el compartimento primero se forma hidrógeno en este caso. Una distinción entre las dos realizaciones según la presente invención radica en la cuestión de si es deseable que en el ánodo se forme cloro. Otra distinción radica en las concentraciones de Ca y Mg. Al usar como catolito el electrolito con la más baja concentración de iones formadores de incrustaciones de cal y/o magnesio, se limita la cuantía de las incrustaciones de cal y/o magnesio depositadas sobre el electrodo. Esto reduce *inter alia* la frecuencia de la inversión de la polaridad.

Las membranas de intercambio catiónico y aniónico, colocadas alternativamente, separan el compartimento primero del segundo. Entre estas membranas se forman, de hecho, unos compartimentos electrolíticos que contienen alternativamente una solución electrolítica de alta o de baja osmoticidad. Cuando se conmuta del modo primero al segundo, y viceversa, también se conmutan las posiciones, o corrientes, de las soluciones electrolíticas de alta osmoticidad y baja osmoticidad. En el caso de que se use agua de mar y agua de río, estas corrientes por lo tanto se deben invertir entre sí durante la conmutación, con el fin de invertir de ese modo la dirección de la corriente eléctrica.

En el modo segundo, en el compartimento segundo se produce un pH relativamente menor debido a la reacción en el ánodo. Como consecuencia de este pH menor, en este compartimento se separan las incrustaciones de cal y/o magnesio depositadas sobre el electrodo primero (cátodo) de este compartimento. Esto indica que se disuelven las incrustaciones de cal y/o magnesio de este cátodo que no conduce corriente. En el modo primero, el que se limpia es precisamente el electrodo segundo (cátodo) del compartimento primero. El problema de limpiar particularmente los electrodos del dispositivo, y en particular los cátodos allí contenidos, se resuelve por ello introduciendo dentro del dispositivo más material de electrodos. Precisamente esto es lo opuesto a los esfuerzos que normalmente se hacen en la práctica para reducir la cantidad de material de electrodos en un dispositivo tal, a fin de reducir de ese modo el aspecto del coste, entre otros. Mediante la presente invención, se reduce considerablemente la carga de cada uno de los electrodos. La vida útil de los electrodos aumenta mucho mediante esta reducción de la carga. En unas realizaciones preferidas adicionales, se aumenta el número de compartimentos primeros y/o segundos y/o de electrodos primeros y/o segundos por compartimento. La eficacia de la generación de electricidad se puede aumentar más por ello.

La conmutación del modo primero al modo segundo se puede realizar de varias formas. De esta manera es posible, por ejemplo, desconectar manualmente un par de electrodos y acoplar otro par de electrodos durante el instante de la conmutación. Sin embargo, preferiblemente se hace uso de un elemento de conmutación, que opcionalmente consiste en una pluralidad de compartimentos, con el propósito de conmutar entre sí los pares de electrodos conductores de corriente que están en uso. Este elemento de conmutación se puede activar automáticamente, por ejemplo, en función del periodo de tiempo que ha transcurrido en el modo primero de generación de electricidad o como consecuencia de la medida de la cuantía de las incrustaciones de cal y/o magnesio depositadas sobre el cátodo, o se puede operar manualmente por el usuario. El periodo de tiempo entre dos instantes de conmutación que los experimentos han mostrado que es utilizable se encuentra entre 1 hora y 1 semana, preferiblemente entre 12 horas y 3 días, y lo más preferiblemente el periodo de tiempo asciende a aproximadamente 1 día.

En una realización preferida según la presente invención el ánodo y/o los cátodos comprenden unos electrodos de titanio.

Por medio del uso de una pluralidad de pares de electrodos conductores de corriente dependiendo del modo de la celda, es posible usar unos electrodos de titanio con una vida útil considerablemente mejorada, por ejemplo de aproximadamente 10 años. A causa de este aumento de la vida útil, es posible utilizar tales electrodos en aplicaciones factibles, con lo que aumenta la viabilidad de la generación de electricidad con el uso del procedimiento de electrodiálisis inversa. Preferiblemente, el ánodo comprende una capa de recubrimiento de tántalo/iridio o rutenio/iridio o platino o platino/iridio. Preferiblemente, el cátodo comprende una capa de recubrimiento de rutenio/iridio o platino.

La invención se refiere, además, a un método para generar electricidad con un procedimiento de electrodiálisis inversa, que comprende las etapas de:

- proporcionar un dispositivo según una o más de las reivindicaciones 1-7;
- conmutar el dispositivo de un modo primero de generación de electricidad a un modo segundo de generación de electricidad;
- generar electricidad; y
- conmutar el dispositivo a la posición anterior, del modo segundo de generación de electricidad al modo primero de generación de electricidad, usando el elemento de conmutación.

Al conmutar el dispositivo de un modo primero de generación de electricidad a un modo segundo de generación de electricidad, se activa un par segundo de electrodos en lugar del par primero de electrodos. Esto proporciona los mismos efectos y ventajas que las que se establecen con respecto al dispositivo. Preferiblemente, la limpieza del cátodo no conectado se realiza consiguiendo en la inmediata proximidad de este cátodo un pH menor que 7, y preferiblemente menor que 3. Esto se puede conseguir mediante las reacciones que se producen en el ánodo en el compartimento donde el cátodo asociado está presente. Opcionalmente, también se puede conseguir este pH usando otras medidas, tales como por ejemplo la adición de sustancias con el propósito de conseguir un entorno ácido. Preferiblemente, entre dos instantes de conmutación sucesivos se aplica un periodo de tiempo de entre 1 y 168 horas, y más preferiblemente entre 12 y 72 horas. Lo más preferible es un periodo de tiempo de aproximadamente 24 horas.

En una realización ventajosa preferida según la presente invención, durante un tiempo después de la conmutación se consigue una velocidad de flujo del electrolito menor con el fin de provocar una disminución más rápida del pH en el compartimento electrolítico con el electrodo conectado en forma de ánodo.

Dependiendo, entre otros factores, de las dimensiones de la instalación y de las condiciones del procedimiento aplicado, durante un tiempo se consigue una velocidad del anolito menor, del orden de varios minutos a varias horas. Se consigue por ello una disminución más rápida del pH. Esto tiene como consecuencia que se separen más rápidamente las incrustaciones de cal y/o magnesio depositadas sobre el cátodo que no está en uso en este

compartimento. Preferiblemente, el tiempo aplicado de duración de la velocidad menor es de varios minutos con el fin de proteger el electrodo y no limitar su vida útil.

En una realización ventajosa adicional según la presente invención, durante un tiempo después de la conmutación se consigue una velocidad de flujo del electrolito mayor, lo que evita la elevación del pH en el compartimento electrolítico con el electrodo conectado en forma de cátodo.

Al conseguir durante un tiempo, después de la conmutación, una velocidad mayor del catolito próximo al cátodo que se está usando, en este compartimento aumentará menos el pH. Esto da lugar a una limitación en la deposición de incrustaciones de cal y/o magnesio sobre el electrodo. La duración de la velocidad mayor puede ser igual que la duración de la velocidad menor en el otro compartimento. Sin embargo, durante este modo también es posible mantener esta velocidad constantemente mayor.

Algunas ventajas, características y detalles adicionales se esclarecen en base a las realizaciones preferidas de la presente invención, en donde se hace referencia a los dibujos anexos, en los que:

- la figura 1 muestra un croquis esquemático de un procedimiento de electrodiálisis inversa según la técnica anterior;
- la figura 2 muestra un croquis esquemático de un procedimiento de electrodiálisis inversa según la presente invención en un modo primero; y
- la figura 3 muestra el croquis de la figura 2 en un modo segundo.

En un procedimiento 2 de electrodiálisis inversa (como se muestra esquemáticamente en la figura 1), entre el ánodo 4 y el cátodo 6 se colocan varias membranas 8 de intercambio aniónico y varias membranas 10 de intercambio catiónico. Entre las membranas 8 de intercambio aniónico y las membranas 10 de intercambio catiónico se forman unos compartimentos electrolíticos en los que, a través de unos compartimentos adyacentes, fluye alternativamente una corriente de agua de mar 12 y una corriente de agua de río 14. Debido a la diferencia de la concentración de los iones en la corriente de agua de mar 12 y la corriente de agua de río 14, los iones del agua de mar 12 son impulsados a moverse hacia el agua de río 14 con el fin de igualar las concentraciones. Por conveniencia, en la figura 1 solamente se muestran, como iones positivos y negativos, los iones sodio y cloruro.

Puesto que las membranas 8 de intercambio aniónico permiten solamente el paso de los aniones y las membranas 10 de intercambio catiónico permiten solamente el paso de los cationes, el transporte de aniones y cationes tiene 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, en el compartimento en el que se coloca el ánodo 4 tiene lugar una reacción de oxidación, y en el compartimento en el que se coloca el cátodo 6 tiene lugar una reacción de reducción. En el circuito eléctrico 16, al que están conectados el ánodo 4 y el cátodo 6, se genera por ello una corriente de electrones. En este circuito eléctrico 16 se puede realizar un trabajo mediante un aparato eléctrico 18, indicado aquí simbólicamente por medio de una lámpara.

En la figura 1 se muestra con rayado una celda dialítica 20 que consiste en un par de membranas, consistente en una membrana 8 de intercambio aniónico y una membrana 10 de intercambio catiónico, y una masa de una solución con una alta concentración de iones, por ejemplo agua de mar, y una solución con una baja concentración de iones, por ejemplo agua de río. Con el fin de aumentar la diferencia de potencial entre el ánodo 4 y el cátodo 6 se puede aumentar el número (N) de celdas dialíticas 20.

Un procedimiento de electrodiálisis inversa que tiene lugar en un dispositivo según la presente invención (figura 2, en la que se muestran con la misma referencia numérica los elementos/componentes correspondientes que se muestran en la figura 1) comprende un par adicional segundo de electrodos, además del par primero de electrodos generadores de electricidad. Este par segundo de electrodos consiste en un cátodo adicional 22, colocado en la proximidad del ánodo 4, y un ánodo adicional 24, colocado en la proximidad del cátodo 6. Los dos electrodos 22, 24 del par segundo de electrodos se conectan usando un circuito 26. En los circuitos 16, 26 se incorpora un conmutador 28 con el que se puede acoplar o desacoplar el par de electrodos. En el modo de generación de electricidad de la celda 2, el conmutador 28, que está en el modo primero, acopla el par de electrodos 4, 6 con el propósito de generar electricidad y desacopla el par segundo de electrodos 22, 24. En el modo segundo, el conmutador desacopla el par primero de electrodos 4, 6 y acopla el par segundo de electrodos 22, 24.

En la figura 3 se muestra el modo segundo. La carga 18 se conecta aquí al par segundo de electrodos 24, 26 por medio de los componentes de conmutación 28. El otro par de electrodos 4, 6 se desacopla. En este modo se conmutan las posiciones de las corrientes de agua de mar y agua de río. Se consigue por ello la inversión de la dirección de la corriente eléctrica ya que los aniones y los cationes son impulsados a moverse en la otra dirección.

Las reacciones que se producen en el ánodo son, en particular, las reacciones (7) y (8). La relación relativa se determina aquí mediante la presencia de sal o agua dulce en este compartimento. Esto se determina mediante el tipo de membrana 8, 10 de este compartimento. En el caso de una membrana de intercambio aniónico 8, se proporciona agua dulce 14 al ánodo 4 conectado (ánodo 4, a la derecha en la figura 2). Si la que se encuentra más

cerca es una membrana de intercambio catiónico 10, se proporciona agua salada 12 en el ánodo conectado (ánodo 34, a la izquierda en la figura 3). La distinción radica aquí, entre otros, en la cantidad de cloro formado.

Experimento

5 En un experimento, la configuración que se muestra en la figura 2 se somete a unas condiciones operativas. Se hace uso aquí de unos ánodos de titanio revestidos con platino y unos cátodos de titanio sin revestir, en los que se invierte diariamente la dirección del flujo. Esto significa que la conmutación de los electrodos generadores de electricidad tiene lugar diariamente.

10 En la primera fase del experimento, durante un periodo de 3 meses se observó una posible disminución del espesor de la capa de platino para una densidad de corriente de 600 A/m^2 . Esta disminución se encontró que era despreciable.

Después de esta primera fase, se aumentó la densidad de corriente a 4.000 A/m^2 .

15 La presente invención no se limita en modo alguno a las realizaciones preferidas descritas anteriormente. Los derechos pretendidos se definen mediante las siguientes reivindicaciones, dentro de cuyo alcance se pueden contemplar muchas modificaciones. De esta manera es una opción posible, por ejemplo, aplicar un par doble de electrodos durante un procedimiento de electrodialisis con el propósito, entre otros, de una desalinización. La invención también se puede aplicar en otras celdas electroquímicas, por ejemplo para fines de desinfección de agua. Tales procedimientos también se pueden operar, por ello, más eficazmente.

REIVINDICACIONES

1.- Un dispositivo para realizar procedimientos electroquímicos, tales como un procedimiento de electrodiálisis inversa, que comprende:

- un compartimento primero provisto de un electrodo primero (4);
- un compartimento segundo separado del compartimento primero y provisto de un electrodo primero (6);
- al menos una membrana (10) de intercambio catiónico y una membrana (8) de intercambio aniónico, que se colocan alternativamente entre los compartimentos primero y segundo, en el que entre las membranas de intercambio catiónico y de intercambio aniónico se forman unos compartimentos electrolíticos en los que hay una solución electrolítica de baja osmoticidad con una baja concentración de iones y una solución electrolítica de alta osmoticidad con una concentración de iones mayor que las soluciones electrolíticas de baja osmoticidad, soluciones electrolíticas de alta osmoticidad y baja osmoticidad que están colocadas alternativamente en los compartimentos electrolíticos,

caracterizado porque:

- los compartimentos primero y segundo están provistos de al menos un electrodo segundo (22, 24); y
- un elemento de conmutación (28) para conmutar entre un modo primero, en el que se conectan entre sí el electrodo primero del compartimento primero y el electrodo primero del compartimento segundo, y en el que los electrodos segundos de los compartimentos están separados; y un modo segundo en el que se conectan entre sí el electrodo segundo del compartimento primero y el electrodo segundo del compartimento segundo, y los electrodos primeros de los compartimentos están separados; y en el que las soluciones electrolíticas de alta y baja osmoticidad cambian su posición durante la conmutación de los modos primero a segundo de generación de electricidad.

2.- Un dispositivo según la reivindicación 1, en el que se proporciona una pluralidad de compartimentos primeros y/o segundos.

3.- Un dispositivo según la reivindicación 1 ó 2, en el que se proporciona una pluralidad de electrodos primeros y/o segundos en al menos alguno de los compartimentos.

4.- Un dispositivo según la reivindicación 1, 2 ó 3, en el que los electrodos comprenden unos electrodos de titanio.

5.- Un dispositivo según la reivindicación 4, en el que al menos alguno de los electrodos comprende una capa de recubrimiento de tántalo/iridio o rutenio/iridio o platino o platino/iridio.

6.- Un dispositivo según la reivindicación 4 ó 5, en el que al menos alguno de los electrodos comprende una capa de recubrimiento de rutenio/iridio o platino.

7.- Un método para generar electricidad con un procedimiento de electrodiálisis inversa (2), que comprende las etapas de:

- proporcionar un dispositivo según una o más de las reivindicaciones 1-7;
- conmutar el dispositivo de un modo primero de generación de electricidad a un modo segundo de generación de electricidad;
- generar electricidad; y
- conmutar el dispositivo a la posición anterior, del modo segundo de generación de electricidad al modo primero de generación de electricidad, usando el elemento de conmutación.

8.- Un método según la reivindicación 7, en el que la limpieza del electrodo en forma de cátodo no conectado en el modo aplicable se realiza consiguiendo un pH en la inmediata proximidad del cátodo menor que 7, y preferiblemente menor que 3.

9.- Un método según la reivindicación 7 u 8, en el que se consigue una velocidad de flujo del electrolito menor, durante un tiempo después de la conmutación, con el fin de provocar una disminución más rápida del pH en el compartimento electrolítico con el electrodo conectado en forma de ánodo.

10.- Un método según la reivindicación 7, 8 ó 9, en el que se consigue una velocidad del electrolito mayor, durante un tiempo después de la conmutación, para evitar una elevación del pH en el compartimento electrolítico con el electrodo conectado en forma de cátodo.

11.- Un método según una o más de las reivindicaciones 7-10, en el que entre dos instantes de conmutación sucesivos se aplica un periodo de tiempo de entre 1 y 168 horas, preferiblemente entre 12 y 72 horas, y lo más preferiblemente de aproximadamente 24 horas.

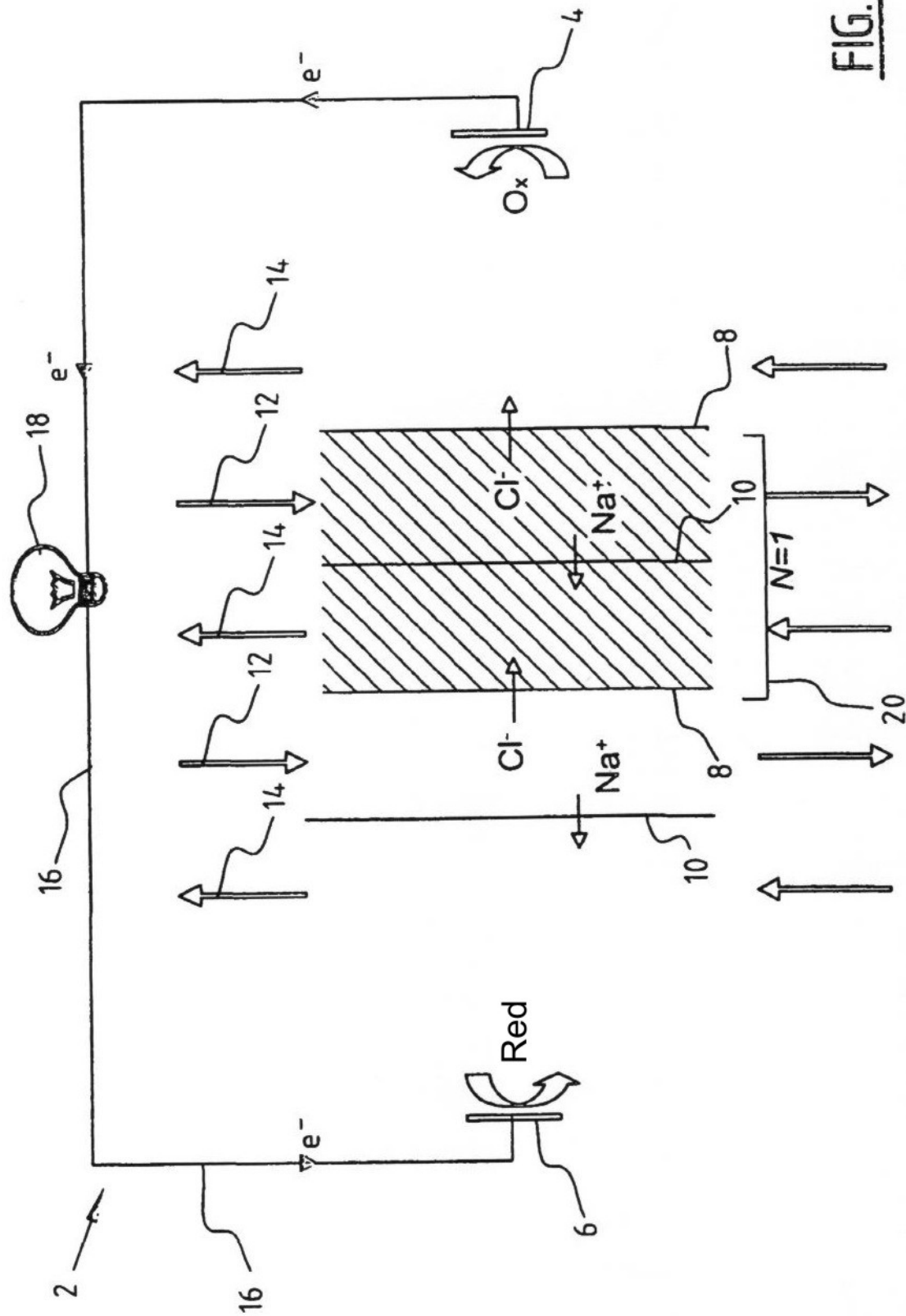
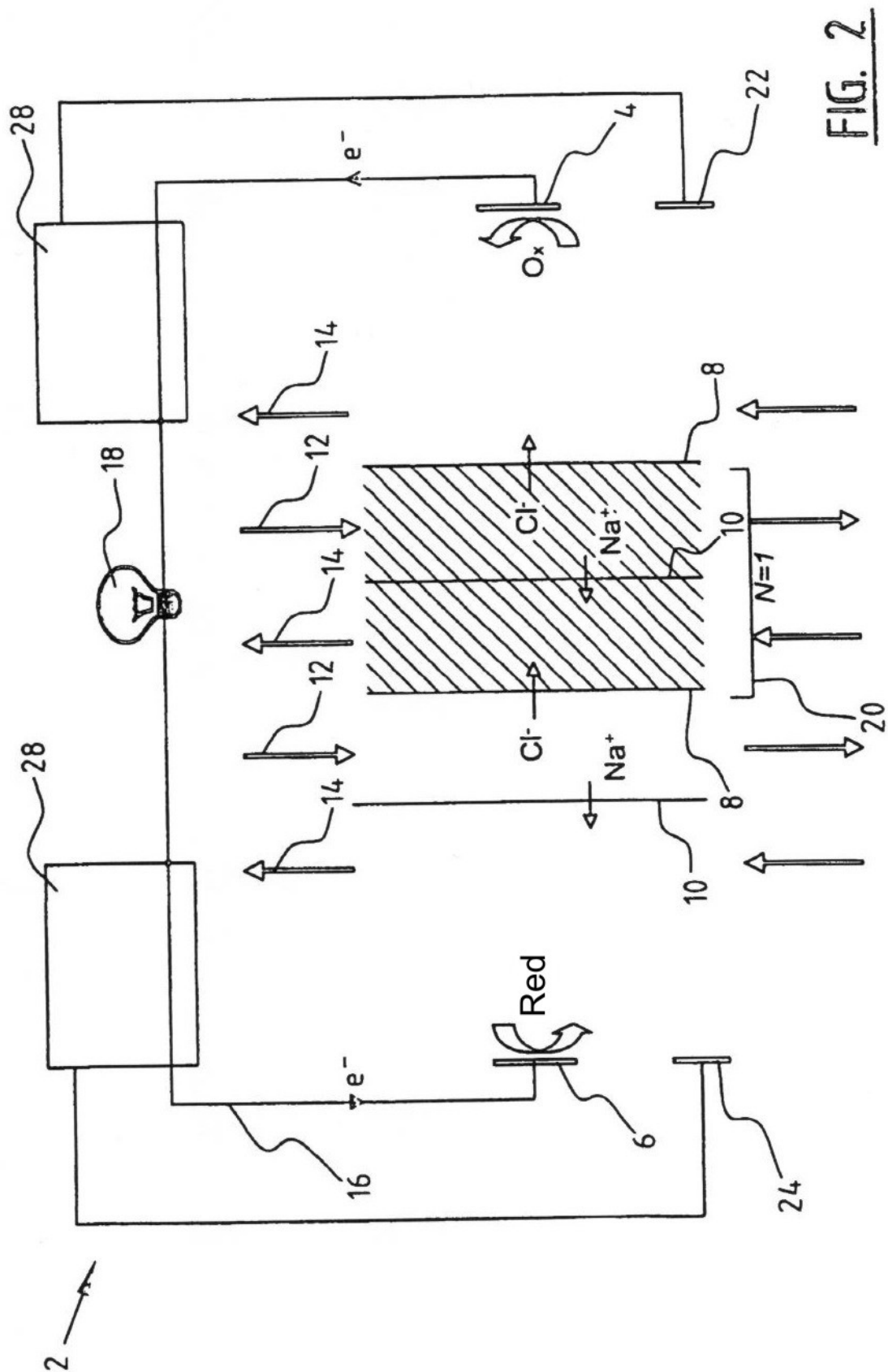


FIG. 1



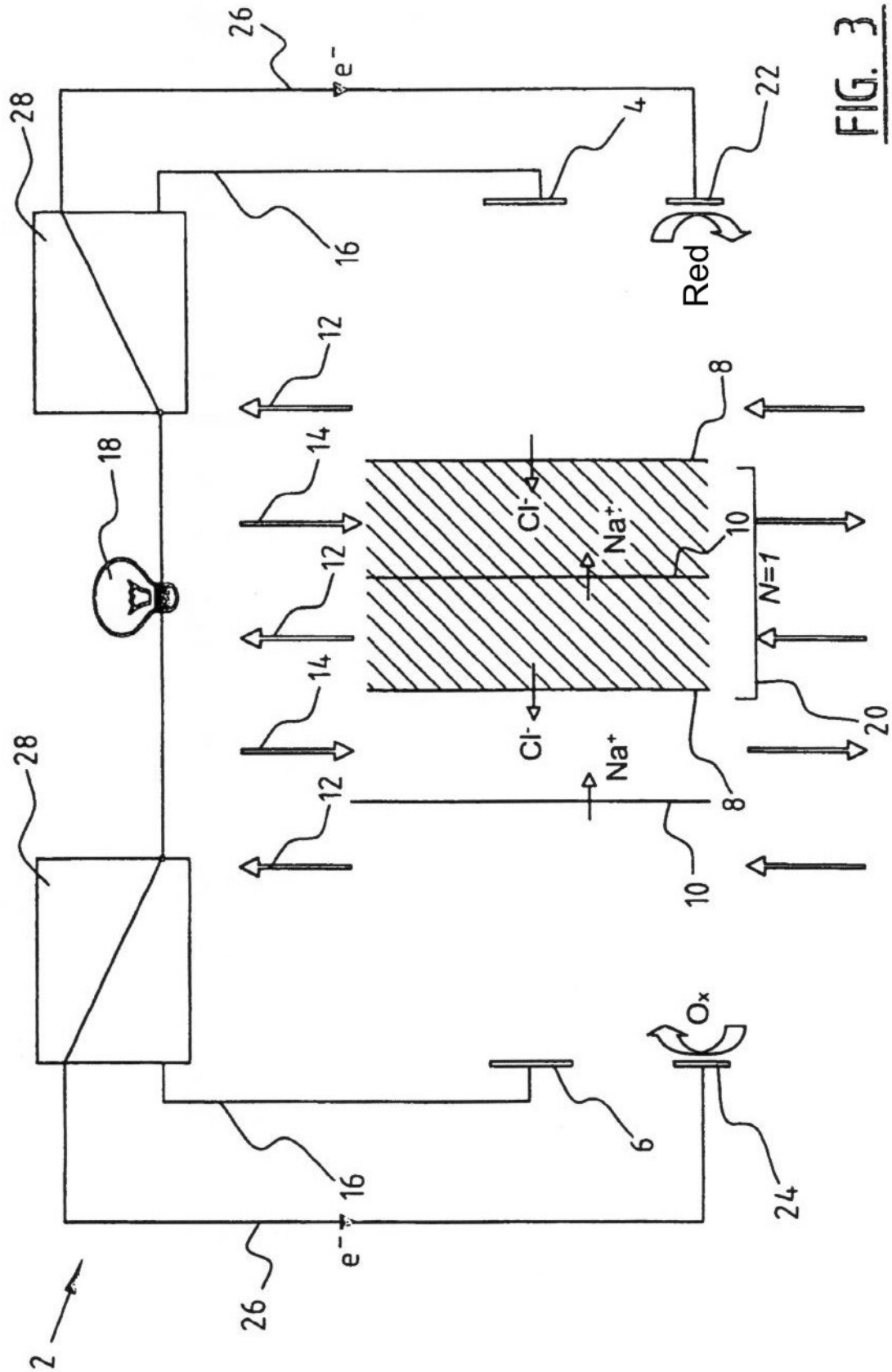


FIG. 3