

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 932 991**

21 Número de solicitud: 202230849

51 Int. Cl.:

H01M 8/22 (2006.01)

H01M 8/18 (2006.01)

H01M 8/1018 (2006.01)

H01M 4/86 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

03.10.2022

43 Fecha de publicación de la solicitud:

30.01.2023

71 Solicitantes:

**CENTRO DE INVESTIGACIONES ENERGÉTICAS
MEDIOAMBIENTALES Y TECNOLÓGICAS
(CIEMAT) (100.0%)
Avda. Complutense, 40
28040 Madrid (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

MARTÍNEZ CHAPARRO, Antonio

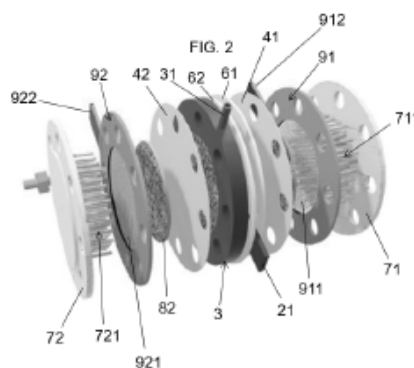
74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

54 Título: **DISPOSITIVO ELECTROQUÍMICO PARA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD Y/O HIDRÓGENO**

57 Resumen:

La presente invención se refiere a dispositivo electroquímico (100) para generar hidrógeno y/o corriente eléctrica, comprendiendo el dispositivo electroquímico un primer, un segundo y un tercer electrodo de difusión de gas; comprendiendo el dispositivo electroquímico un primer, un segundo y un tercer colector (2, 91, 92) de corriente; estando el compartimento delimitado por una primera y una segunda membrana (41, 42) de electrolito; estando el primer electrodo (1) entre la primera y la segunda membrana, estando el primer electrodo (1) en contacto con la primera y con la segunda membrana (41, 42) y estando el primer electrodo (1) en contacto con el primer colector (2); estando el segundo electrodo (81) en contacto con la primera membrana (41) de electrolito y con el segundo colector (91) de corriente; estando el tercer electrodo (82) en contacto con la segunda membrana (42) de electrolito y con el tercer colector (92).



ES 2 932 991 A1

DESCRIPCIÓN

DISPOSITIVO ELECTROQUÍMICO PARA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD Y/O HIDRÓGENO

5 SECTOR DE LA TÉCNICA

La presente invención pertenece al campo técnico de los dispositivos electroquímicos. Más en particular pertenece al campo técnico de dispositivos electroquímicos que permiten generar una corriente eléctrica a partir de una reacción química espontánea que tiene lugar en una célula electroquímica alimentada con un combustible y un oxidante (conocida como pila de combustible, en inglés "fuel cell"), y/o que permiten almacenar energía en el producto de una reacción química causada por energía eléctrica aplicada a dos electrodos de una célula electroquímica alimentada con un precursor adecuado (conocida como electrolizador, "electrolyser").

Más en particular pertenece al campo técnico de los dispositivos electroquímicos capaces de desarrollar ambas funciones, pila de combustible y electrolizador, sin más que cambiar las condiciones de operación, también conocidos como pilas de combustible reversibles o regenerativas. Por ejemplo, a pilas de combustible reversibles que funcionan a una temperatura por debajo de los 100 °C, y en las que preferentemente el combustible es hidrógeno, el oxidante es el oxígeno del aire, y el precursor es agua, en definitiva capaces de llevar a cabo la reacción $H_2 + 0,5O_2 \rightleftharpoons H_2O$ en ambos sentidos.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Ya se conocen sistemas con pilas de combustible reversibles. Por ejemplo, EP1665441A2 divulga un sistema reversible de alta o baja temperatura en el que una misma celda puede funcionar como una pila de combustible para generar electricidad y como electrolizador para generar un combustible. Mientras que a alta temperatura esta doble funcionalidad puede involucrar distintos tipos de combustible (hidrógeno, metano, metanol, entre otros), a baja temperatura las dificultades cinéticas restringen esta posibilidad al combustible hidrógeno, siendo además necesario que los electrodos lleven un electrocatalizador para poder combinar ambas funcionalidades de pila de combustible y electrolizador. Sin embargo, el funcionamiento a baja temperatura resulta más adecuado en determinadas aplicaciones, como los sistemas de generación y almacenamiento de energía que aprovechan energías

renovables como fotovoltaica o eólica. Resultaría deseable mejorar la densidad de potencia y disminuir el coste de estos sistemas de pilas de combustible reversibles de baja temperatura.

Ya se conocen pilas de combustible reversibles que utilizan reactivos mediadores para poder realizar ambas funciones como, por ejemplo, la divulgada en WO2019149770A1. Resultaría deseable mejorar la eficiencia, simplificar el sistema, y ampliar la funcionalidad de estas pilas de combustible reversibles.

Ya se conocen sistemas y pilas reversibles de baja temperatura para producción y consumo de hidrógeno, como EP2833469A1, EP1665441A2, WO2021095243A1, WO2019149770A1, WO2007091050A1, - KR101955364B1 (A), en los que se utilizan electrodos que pueden funcionar de forma reversible. Ello simplifica el sistema pero aumenta los costes de catalizador especialmente en los electrodos reversibles de oxígeno, que deben ser bi-funcionales, es decir, capaces de catalizar las dos reacciones: reducción de oxígeno para el funcionamiento como pila de combustible, y oxidación de agua para el funcionamiento como electrolizador. En medio ácido, que es el más común y eficiente, los catalizadores deben ser materiales compuestos a base de nanopartículas de Pt junto con partículas de otro material, como Ir, IrO₂, Ru-Ir, RuO₂, IrO₂-RuO₂, IrO₂/RuO₂, Ir_x(IrO₂)_{10-x} Pt/TiO₂ y Ir/TiO₂, que aumentan considerablemente el coste del electrodo, así como disminuye la eficiencia y durabilidad de los electrodos debido a las condiciones físico-químicas que impone su funcionalidad reversible. Es deseable mantener la actividad reversible del dispositivo sin afectar su coste, eficiencia y durabilidad.

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INVENCION

La presente invención trata de resolver problemas que presentan divulgaciones del estado de la técnica como los mencionados arriba.

La presente invención se refiere a un dispositivo electroquímico para generación de electricidad a partir de hidrógeno y oxígeno, y/o para generación de hidrógeno y oxígeno a partir de agua y electricidad. Por ejemplo, se refiere a un dispositivo electroquímico de baja temperatura. Un ejemplo de un dispositivo electroquímico de baja temperatura es un dispositivo electroquímico configurado para funcionar en un rango de al menos 10 °C y como máximo 80 °C cuando utiliza como electrolito una membrana de polímero perfluorado con grupos sulfonato polares. La especial configuración de sus electrodos, en la que dos electrodos de oxígeno de alimentación pasiva se enfrentan a un mismo electrodo de

hidrógeno, permite una mejora de la densidad de potencia, sencillez de la electrocatálisis, menor volumen y peso del sistema, y mayor funcionalidad. En particular, no es necesario el uso de costosos catalizadores reversibles, y ambas funciones de pila de combustible y electrolizador pueden llevarse a cabo simultáneamente. El dispositivo comprende dos

 5 electrodos de difusión de gas oxígeno enfrentados en sus caras a un mismo electrodo central de difusión de gas hidrógeno. Los dos electrodos enfrentados al electrodo central funcionan según la reacción de reducción de oxígeno ($O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$) o la de oxidación del agua ($H_2O \rightarrow 0,5O_2 + 2H^+ + 2e^-$) pudiendo cada uno de ellos funcionar según una reacción distinta a la del otro electrodo. El electrodo central funciona de forma reversible según la reacción de

 10 hidrógeno $H_2 \rightleftharpoons 2H^+ + 2e^-$. Esta configuración permite que el mismo dispositivo electroquímico pueda funcionar simultáneamente como pila de combustible para producir electricidad y como electrolizador para producir hidrógeno. En la alimentación pasiva del presente dispositivo, el suministro de reactivos a los electrodos se lleva a cabo pasivamente por fuerzas naturales como, por ejemplo, difusión y/o capilaridad sin requerir generadores de convección forzada

 15 como, por ejemplo, ventiladores y/o bombas.

Un primer aspecto de la presente invención se refiere a un dispositivo electroquímico para generar hidrógeno y/o corriente eléctrica, comprendiendo el dispositivo electroquímico un primer electrodo de difusión de gas, un segundo electrodo de difusión de gas y un tercer

 20 electrodo de difusión de gas; siendo el primer electrodo para difusión de hidrógeno; siendo el segundo electrodo y el tercer electrodo para difusión de oxígeno; estando el primer electrodo en un compartimento; comprendiendo el dispositivo electroquímico un primer colector de corriente, un segundo colector de corriente y un tercer colector de corriente; estando el

 25 compartimento delimitado lateralmente por una primera membrana de electrolito y por una segunda membrana de electrolito; estando el primer electrodo entre la primera membrana de electrolito y la segunda membrana de electrolito, estando el primer electrodo en contacto con la primera membrana de electrolito y con la segunda membrana de electrolito y estando el

 30 primer electrodo en contacto con el primer colector de corriente; estando el segundo electrodo entre la primera membrana de electrolito y el segundo colector de corriente; estando el tercer electrodo entre la segunda membrana de electrolito y el tercer colector de corriente; estando el segundo electrodo en contacto con la primera membrana de electrolito y con el segundo colector de corriente; estando el tercer electrodo en contacto con la segunda membrana de electrolito y con el tercer colector de corriente.

Esta configuración de un dispositivo electroquímico en la que un segundo electrodo y un tercer electrodo están conectados a un primer electrodo mediante sendas membranas de electrolito permite que el dispositivo electroquímico:

- 5 • genere energía eléctrica usando el primer electrodo y el segundo electrodo como una primera pila de combustible y simultáneamente genere energía eléctrica utilizando el primer electrodo y el tercer electrodo como una segunda pila de combustible;
- genere energía eléctrica usando el primer electrodo y el segundo electrodo como una primera pila de combustible y simultáneamente genere hidrógeno usando el primer electrodo y el tercer electrodo como un electrolizador; o
- 10 • genere hidrógeno usando el primer electrodo y el segundo electrodo como un primer electrolizador y simultáneamente genere hidrógeno usando el primer electrodo y el tercer electrodo como un segundo electrolizador.

15 Por ello, en un uso del segundo electrodo y del tercer electrodo para reducir oxígeno y generar energía eléctrica, como se comparte un mismo primer electrodo para oxidar hidrógeno, se permite aumentar la densidad de potencia eléctrica del dispositivo electroquímico en comparación con una pila de combustible convencional, que requeriría un total de cuatro electrodos en lugar de tres: dos ánodos y dos cátodos. Del mismo modo la función electrolizadora se mejora cuando el segundo y tercer electrodo se utilizan para oxidar agua

20 simultáneamente, ya que se genera el hidrógeno al doble de velocidad en el primer electrodo en comparación con un electrolizador que comprendiera el primer electrodo y el segundo electrodo y no comprendiera el tercer electrodo.

Además, el dispositivo electroquímico del primer aspecto de la presente invención permite

25 emplear un primer electrodo, un segundo electrodo y un tercer electrodo para generar simultáneamente energía eléctrica e hidrógeno. A diferencia de una pila de combustible reversible convencional, ambas funciones no se interfieren y pueden tener lugar simultáneamente, por ocurrir la oxidación de hidrógeno y la reducción de protones (o agua en medio neutro-básico) en un mismo primer electrodo, mientras que las reacciones

30 complementarias respectivas, es decir la reducción de oxígeno y la oxidación de agua, transcurren separadamente en un segundo electrodo y en un tercer electrodo, respectivamente, o viceversa. De esta manera ambas funciones pueden tener lugar simultáneamente en el mismo dispositivo electroquímico.

35 Las distintas configuraciones del dispositivo electroquímico objeto de esta invención, como pila de combustible con dos cátodos y un ánodo, como electrolizador con dos ánodos y un

cátodo, o como pila de combustible y electrolizador compartiendo un primer electrodo, son posibles gracias al carácter reversible de la reacción electroquímica del hidrógeno $\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$ que permite que esta reacción transcurra a gran velocidad en ambos sentidos en un primer electrodo, con el mismo catalizador y preferentemente en medio ácido.

5

El dispositivo electroquímico del primer aspecto de la presente invención puede estar configurado para generar hasta 3 W de potencia eléctrica en un área activa de 12,6 cm². Se puede aumentar la potencia eléctrica generable aumentando el área activa y/o conectando eléctricamente varios dispositivos electroquímicos.

10

Además, la configuración de los electrodos del dispositivo electroquímico le dota de la posibilidad de funcionar de forma pasiva, es decir, alimentando los distintos reactivos (aire ambiental, hidrógeno, agua) sin convección forzada, disminuyendo componentes auxiliares en comparación con dispositivos electroquímicos convencionales, lo que, en general, es muy conveniente para pequeños dispositivos portátiles.

15

El compartimento donde está el primer electrodo es un compartimento que también sirve para almacenamiento de hidrógeno producido por el dispositivo.

20 Para permitir el funcionamiento del segundo electrodo como electrolizador, el segundo electrodo debe estar en contacto con agua, por ejemplo, sumergido en agua. Para permitir el funcionamiento del tercer electrodo como electrolizador, el tercer electrodo debe estar en contacto con agua, por ejemplo, sumergido en agua.

25 En algunas realizaciones, el segundo electrodo y/o el tercer electrodo comprende(n) un catalizador para oxidar agua; el primer electrodo comprende preferiblemente un catalizador para reducir agua o protones. Estas realizaciones permiten acelerar la oxidación de agua en el segundo y/o tercer electrodo y, preferiblemente, la reducción de agua o protones en el primer electrodo, dando lugar a la electrólisis de agua, al aplicar energía eléctrica entre el primer electrodo y el segundo electrodo y/o al aplicar energía eléctrica entre el primer electrodo y el tercer electrodo. La electrólisis de agua permite obtener hidrógeno en el primer electrodo. La reacción es $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ en medio ácido, mientras que en medio neutro o básico es $\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$.

30

35 En algunas realizaciones, el segundo electrodo comprende un catalizador para oxidar agua y el tercer electrodo comprende un catalizador para reducir oxígeno; el primer electrodo

comprende preferiblemente un mismo catalizador para oxidar hidrógeno y para reducir agua o protones. Estas realizaciones permiten acelerar la reducción de oxígeno en el tercer electrodo y la oxidación de hidrógeno en el primer electrodo producidas al usar el primer electrodo y el tercer electrodo como una pila de combustible. Además, estas realizaciones permiten acelerar la oxidación de agua en el segundo electrodo y la reducción de agua o de protones en el primer electrodo producidas al usar el primer electrodo y el segundo electrodo para causar electrólisis de agua.

En algunas realizaciones, el segundo electrodo y/o el tercer electrodo comprenden un catalizador para reducir oxígeno; el primer electrodo comprende preferiblemente un catalizador para oxidar hidrógeno. Estas realizaciones permiten acelerar la reducción de oxígeno en el segundo y/o tercer electrodo y, preferiblemente, la oxidación de hidrógeno en el primer electrodo producida al utilizar el primer electrodo y el segundo electrodo como pila de combustible y/o utilizar el primer electrodo y el tercer electrodo como pila de combustible.

En algunas realizaciones, el catalizador para oxidar agua comprende al menos uno de un óxido de una aleación de platino y rutenio, un óxido de una aleación de platino e iridio, un óxido de rutenio, un óxido de iridio y un óxido de níquel; comprendiendo el segundo electrodo un sustrato de metal, teniendo el sustrato unos poros. Los electrodos con este catalizador son suficientemente resistentes a la oxidación, tienen una porosidad relativamente elevada y pueden soportar tensiones eléctricas relativamente elevadas.

En algunas realizaciones, el catalizador para reducir oxígeno comprende carbón (por ejemplo un carbón microporoso como negro de humo) recubierto de nanopartículas de platino con una concentración de al menos 0,1 y como máximo 0,3 mg de platino por cada centímetro cuadrado proyectado de electrodo (área geométrica proyectada), o el catalizador para reducir oxígeno comprende níquel y/o un material sólido poroso a base de carbón dopado con nitrógeno y hierro, teniendo el material sólido poroso a base de carbón dopado la fórmula FeC_xN_y . Otros catalizadores para reducir oxígeno comprenden níquel y/o materiales sólidos porosos a base de carbón dopado con N y Fe (FeC_xN_y), que tienen menor actividad y estabilidad en medio ácido pero pueden funcionar bien en medio básico. Estos catalizadores son, por otro lado, más abundantes y menos costosos que el platino.

En algunas realizaciones, el catalizador para reducir agua o protones comprende carbón recubierto de nanopartículas de platino con una concentración de como máximo 0,2 mg de

platino por cada centímetro cuadrado proyectado de electrodo (área geométrica o proyectada). Las partículas son por ejemplo partículas de entre 1 y 10 nm de tamaño.

En algunas realizaciones, el primer electrodo comprende una primera cara y una segunda
 5 cara, estando la primera cara en contacto con la primera membrana de electrolito y estando la segunda cara en contacto con la segunda membrana de electrolito; opcionalmente, el primer colector de corriente comprende una primera rejilla y una segunda rejilla, estando la primera rejilla eléctricamente conectada a la segunda rejilla, estando la primera cara del primer electrodo en contacto con la primera rejilla y estando la segunda cara del primer electrodo en
 10 contacto con la segunda rejilla, y siendo la primera rejilla y la segunda rejilla para conducción de corriente eléctrica. De este modo, el dispositivo electroquímico está configurado para permitir la difusión de hidrógeno desde y hacia la primera membrana de electrolito a través de la primera cara del primer electrodo y está configurado para permitir la difusión de hidrógeno desde y hacia la segunda membrana de electrolito a través de la segunda cara del primer
 15 electrodo.

En algunas realizaciones, la primera rejilla está en contacto con la segunda rejilla. En algunas realizaciones, la primera rejilla y la segunda rejilla son una misma rejilla.

20 En algunas realizaciones, el segundo colector de corriente comprende una tercera rejilla, estando la tercera rejilla en contacto con el segundo electrodo; siendo la tercera rejilla para para conducción de corriente eléctrica.

En algunas realizaciones, el tercer colector de corriente comprende una cuarta rejilla, estando
 25 la cuarta rejilla en contacto con el tercer electrodo; siendo la cuarta rejilla para conducción de corriente eléctrica.

Las rejillas de los colectores de corriente permiten capturar la energía eléctrica producida por el dispositivo electroquímico y/o aportar energía eléctrica al dispositivo electroquímico y al
 30 mismo tiempo permiten minimizar la resistencia de los colectores de corriente a la difusión de los gases y del agua líquida desde y hacia los electrodos, pues las rejillas presentan huecos por los que pueden fluir los gases y el agua.

En algunas realizaciones, el primer electrodo es hidrófobo; siendo el primer electrodo preferiblemente superhidrófobo. De esta forma se minimiza la oclusión de poros del primer

electrodo con agua líquida, lo que aumentaría la resistencia al transporte de hidrógeno y disminuiría la eficiencia del dispositivo electroquímico. Esta agua procede de la reducción de oxígeno en el segundo y tercer electrodo, y llega a través del contacto con las respectivas membranas. Este efecto es particularmente favorable para la función como pila de combustible, aunque también puede mejorar el funcionamiento como electrolizador al facilitar la salida de hidrógeno generado.

En algunas realizaciones, el dispositivo electroquímico comprende un primer conducto para gas y un segundo conducto para gas; estando el primer conducto conectado flúidicamente con el compartimento y estando el segundo conducto conectado flúidicamente con el compartimento. Estas realizaciones permiten emplear el primer conducto para introducir hidrógeno en el compartimento donde está el primer electrodo y permiten emplear el segundo conducto para extraer hidrógeno del compartimento, y/o para purgas eventuales de aire y/o agua.

En algunas realizaciones, el dispositivo electroquímico comprende una primera placa con unas primeras columnas y una segunda placa con unas segundas columnas; estando el segundo colector de corriente entre la primera placa y el segundo electrodo; presionando las primeras columnas el segundo colector de corriente contra el segundo electrodo; estando el tercer colector de corriente entre la segunda placa y el tercer electrodo; presionando las segundas columnas el tercer colector de corriente contra el tercer electrodo; en el que preferiblemente las primeras columnas comprenden un material hidrofílico y/o las segundas columnas comprenden un material hidrofílico. Las columnas permiten mejorar el contacto eléctrico entre los componentes del dispositivo electroquímico aumentando la presión de dicho contacto y, al mismo tiempo, minimizar la resistencia al intercambio de gas y agua líquida entre el segundo y el tercer electrodo y el entorno de la pila (ambiente), pues las columnas dejan huecos libres entre ellas por los que puede fluir el aire y el agua líquida. El material hidrofílico de las columnas facilita la salida de agua líquida producida cuando la celda funciona como pila de combustible.

Las primeras columnas y segundas columnas están preferentemente dispuestas en forma de matriz, que puede ser cuadrada, hexagonal o formando circunferencias concéntricas, dejando un espaciado entre las mismas de entre 1mm a 4mm. Las columnas deben tener un diámetro entre 0,5mm y 5mm, y de una longitud no inferior a 0,2mm. Las primera y segunda placas y las primeras y segundas columnas deben ser de materiales suficientemente ligeros, con suficiente resistencia mecánica para soportar la presión que ejercen sobre el dispositivo a

temperaturas de hasta 80 °C, tales como aluminio, titanio y/o termoplásticos. Para mejorar su hidrofiliidad pueden ser tratados convenientemente con recubrimientos, o conferirles una morfología porosa que permita el transporte pasivo de agua líquida por capilaridad a su través.

- 5 En algunas realizaciones, la primera placa, el segundo colector de corriente, la segunda membrana de electrolito, la primera membrana de electrolito, el tercer colector de corriente y la segunda placa comprenden unos orificios pasantes; comprendiendo el dispositivo electroquímico unos tornillos y unas tuercas acopladas a los tornillos; estando los orificios pasantes atravesados por los tornillos; estando el dispositivo electroquímico configurado para regular la presión entre las columnas y el segundo y tercer colector de corriente accionando las tuercas. Dicha presión debe ser ajustada suficientemente para minimizar las resistencias de contacto entre componentes, pero sin disminuir la porosidad de los electrodos indebidamente e impedir el transporte de gas y agua a su través. Las tuercas se pueden apretar para aumentar la presión de contacto entre los componentes del dispositivo electroquímico y se pueden aflojar para reducir la presión de contacto entre los componentes del dispositivo electroquímico.

En algunas realizaciones, el dispositivo electroquímico es desmontable y montable; comprendiendo el dispositivo electroquímico una configuración de desmontaje en la que:

- 20
- el segundo electrodo está separado del segundo colector de corriente,
 - el segundo electrodo está separado de la primera membrana de electrolito,
 - el tercer electrodo está separado del tercer colector de corriente, y/o
 - el tercer electrodo está separado de la segunda membrana de electrolito.

o, dicho de otro modo:

- 25
- el segundo electrodo no está en contacto con el segundo colector de corriente,
 - el segundo electrodo no está en contacto con la primera membrana de electrolito,
 - el tercer electrodo no está en contacto con el tercer colector de corriente, y/o
 - el tercer electrodo no está en contacto con la segunda membrana de electrolito.

En estas realizaciones, el dispositivo electroquímico está configurado para ser montable después de desmontarse.

- 30 En algunas realizaciones, la primera membrana es de electrolito de polímero y/o la segunda membrana es de electrolito de polímero. Dicho electrolito está basado en sólidos poliméricos con capacidad para contener agua líquida en microcanales de su estructura, lo que les provee

de alta conductividad iónica (protónica o aniónica) a baja temperatura, además de alta resistencia al paso de electrones y al paso de gases. Estas propiedades permiten el desarrollo de altas potencias en funcionamiento como pila de combustible, así como un mínimo consumo eléctrico en funcionamiento como electrolizador. Además de ello, los electrolitos de polímero

5 tienen una alta resistencia química en las condiciones de funcionamiento que permite maximizar su durabilidad. Ejemplos de materiales poliméricos son principalmente polímeros basados en cadenas perfluoradas y grupos sulfonato como, por ejemplo, Nafion^R o Aquivion^R, y otros como óxido de polietileno, poliimidas con grupos sulfonato, quitosano, policetonas sulfonadas (SPEEK), o alcohol polivinílico, así como materiales compuestos, mixtos o

10 híbridos, como copolímeros, polímeros-sólidos inorgánicos, entre otros.

Un segundo aspecto de la presente invención se refiere a un dispositivo electroquímico según el primer aspecto de la invención y a un panel fotovoltaico, estando el panel fotovoltaico eléctricamente conectado al primer colector de corriente y al segundo colector de corriente,

15 y/o al primer colector de corriente y al tercer colector de corriente. En algunas realizaciones, el panel fotovoltaico está conectado al dispositivo electroquímico mediante una interfase electrónica como, por ejemplo, un convertidor CC/CC, es decir, un convertidor de corriente continua en corriente continua. Esta interfase electrónica permite ajustar las características eléctricas del panel fotovoltaico a las características eléctricas del dispositivo electroquímico.

20 Estas realizaciones permiten acumular hidrógeno obtenido por electrólisis en el dispositivo electroquímico a partir de energía eléctrica generada por el panel fotovoltaico.

Un tercer aspecto de la presente invención se refiere a un dispositivo electroquímico según el primer aspecto de la presente invención y a un aerogenerador, estando el aerogenerador eléctricamente conectado al primer colector de corriente y al segundo colector de corriente,

25 y/o estando el aerogenerador eléctricamente conectado al primer colector de corriente y al tercer colector de corriente. En algunas realizaciones, el aerogenerador está conectado al dispositivo electroquímico mediante una interfase electrónica como, por ejemplo, un convertidor CC/CC, es decir, un convertidor de corriente continua en corriente continua. Esta

30 interfase electrónica permite ajustar las características eléctricas del aerogenerador a las características eléctricas del dispositivo electroquímico. Estas realizaciones permiten acumular hidrógeno obtenido por electrólisis en el dispositivo electroquímico a partir de energía eléctrica generada por el aerogenerador.

35 Un cuarto aspecto de la presente invención se refiere a un uso del dispositivo electroquímico según el primer aspecto de la invención; estando el segundo electrodo en contacto con agua,

estando el tercer electrodo en contacto con oxígeno y estando el primer electrodo en contacto con hidrógeno; comprendiendo el uso hacer pasar una corriente por el primer colector de corriente y por el segundo colector de corriente de manera que tiene lugar la reacción electroquímica no espontánea de disociación de agua ($\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + 0,5\text{O}_2$) y se genera
5 hidrógeno en el compartimento; y comprendiendo el uso la reacción electroquímica espontánea de hidrógeno y oxígeno para generar agua ($\text{H}_2 + 0,5\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$) entre el tercer electrodo y el primer electrodo, generando dicha reacción electroquímica una corriente eléctrica entre el primer colector de corriente y el tercer colector de corriente. De este modo, se emplea el dispositivo electroquímico como pila de combustible y simultáneamente como
10 electrolizador, es decir, se genera corriente eléctrica e hidrógeno simultáneamente. Más en concreto, el primer electrodo participa simultáneamente en la electrólisis y en la generación de energía eléctrica.

Un quinto aspecto de la presente invención se refiere a un uso del dispositivo electroquímico según el primer aspecto de la invención en el que el segundo electrodo y el tercer electrodo
15 están en contacto con agua, estando el primer electrodo en contacto con hidrógeno; comprendiendo el uso la reacción electroquímica $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + 0,5\text{O}_2$ entre el segundo electrodo y el primer electrodo y la misma reacción electroquímica $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + 0,5\text{O}_2$ entre el tercer electrodo y el primer electrodo, generando la reacción electroquímica hidrógeno en el
20 compartimento. De este modo se causa electrólisis de agua ($\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + 0,5\text{O}_2$) de manera que se genera hidrógeno en el compartimento.

Un sexto aspecto de la presente invención se refiere a un uso del dispositivo electroquímico según el primer aspecto de la presente invención; estando el segundo electrodo y el tercer electrodo en contacto con oxígeno, y estando el primer electrodo en contacto con hidrógeno;
25 comprendiendo el uso la reacción electroquímica $\text{H}_2 + 0,5\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ entre el segundo electrodo y el primer electrodo y la misma reacción electroquímica entre el tercer electrodo y el primer electrodo, generando la reacción electroquímica una corriente eléctrica en el segundo colector de corriente y en el tercer colector de corriente.

En algunas realizaciones, el panel fotovoltaico y/o el aerogenerador está(n) eléctricamente
30 conectado(s) al primer colector de corriente y al segundo colector de corriente y/o el panel fotovoltaico y/o el aerogenerador está(n) eléctricamente conectado(s) al primer colector de corriente y al tercer colector de corriente.

El dispositivo electroquímico según el primer aspecto de la invención es muy adecuado para realizar estudios de laboratorio de rendimiento de catalizadores, de componentes de pilas de combustible y de componentes de electrolizadores.

5 Los diferentes aspectos y realizaciones de la invención definidos anteriormente pueden combinarse entre sí, siempre que sean mutuamente compatibles.

Las ventajas y características adicionales de la invención se harán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada y se señalarán particularmente en las reivindicaciones adjuntas.

10 BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención de acuerdo con ejemplos de realizaciones prácticas de la misma, se acompaña como parte integrante de la descripción, un juego de dibujos en el que, con carácter ilustrativo, se ha representado lo siguiente:

15 La figura 1 muestra un dispositivo electroquímico de acuerdo con algunas realizaciones de la invención.

La figura 2 muestra una vista explosionada de componentes de un dispositivo electroquímico de acuerdo con algunas realizaciones de la invención.

20 La figura 3 muestra una vista explosionada de una porción intermedia de un dispositivo electroquímico de acuerdo con algunas realizaciones de la invención.

La figura 4 muestra un primer electrodo y una cubierta de un compartimento de un dispositivo electroquímico de acuerdo con algunas realizaciones de la invención.

25 La figura 5 muestra un primer electrodo, un primer colector de corriente y un soporte para el primer electrodo de un dispositivo electroquímico de acuerdo con algunas realizaciones de la invención.

La figura 6 muestra un segundo electrodo, un tercer electrodo, un segundo colector de corriente y un tercer colector de corriente de un dispositivo electroquímico de acuerdo con algunas realizaciones de la invención.

30 La figura 7 muestra una estructura de sujeción y presión de un dispositivo electroquímico de acuerdo con algunas realizaciones de la invención.

La figura 8 muestra un dispositivo electroquímico de acuerdo con algunas realizaciones de la invención en aire.

La figura 9 muestra un dispositivo electroquímico de acuerdo con algunas realizaciones de la invención sumergido en agua.

- 5 La figura 10 muestra un dispositivo electroquímico de acuerdo con algunas realizaciones de la invención parcialmente sumergido en agua.

La figura 11 muestra una gráfica en la que se representa una evolución de tensión, corriente y potencia de un dispositivo electroquímico de acuerdo con algunas realizaciones de la invención.

- 10 La figura 12 muestra una gráfica en la que se representa una evolución temporal de corriente de un dispositivo electroquímico de acuerdo con algunas realizaciones de la invención.

La figura 13 muestra una gráfica en la que se representa una evolución temporal de potencia eléctrica de un dispositivo electroquímico de acuerdo con algunas realizaciones de la invención.

- 15 La figura 14 muestra una gráfica en la que se representa una evolución temporal de corriente de un dispositivo electroquímico de acuerdo con algunas realizaciones de la invención.

La figura 15 muestra una gráfica en la que se representa una evolución temporal de potencia eléctrica de un dispositivo electroquímico de acuerdo con algunas realizaciones de la invención.

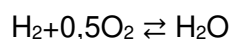
20

DESCRIPCIÓN DE REALIZACIONES DE LA INVENCION

A la vista de esta descripción y figuras, el experto en la materia podrá entender que la invención ha sido descrita según algunas realizaciones preferentes de la misma, pero que múltiples variaciones pueden ser introducidas en dichas realizaciones preferentes, sin salir
25 del objeto de la invención tal y como ha sido reivindicada.

- La figura 1 muestra un dispositivo electroquímico 100. La figura 2 muestra el dispositivo electroquímico 100 de la figura 1 sin algunos componentes de unos elementos 101 de presión y sujeción del dispositivo electroquímico 100. La figura 3 muestra una porción intermedia 102
30 del dispositivo electroquímico 100.

El dispositivo electroquímico 100 es un dispositivo electroquímico configurado para producir energía eléctrica a partir de una reacción química de combustión y/o para producir un combustible mediante una reacción química basada en electrólisis, siendo la reacción química (el sentido directo indica la reacción de combustión mientras que el sentido inverso indica la reacción de electrolisis):



Continuando con las figuras 1, 2 y 3, el dispositivo electroquímico 100 comprende una porción intermedia 102. La porción intermedia 102 comprende un primer electrodo 1 de difusión de gas, en concreto, un electrodo para difusión de hidrógeno. El primer electrodo 1 es, por ejemplo, un electrodo poroso de tela de carbón o de papel de carbón recubierto con un catalizador. El catalizador comprende, por ejemplo, platino o, más en particular, nanopartículas de platino soportadas por carbón u otro material conductor y estable. Un ejemplo de una concentración adecuada de platino para oxidar hidrógeno es una concentración de al menos 0,02 mg de platino por centímetro cuadrado de superficie proyectada del primer electrodo 1 y como máximo de 0,20 mg de platino por centímetro cuadrado de superficie proyectada del primer electrodo 1.

La figura 5 muestra una primera cara 11 y una segunda cara 12 del primer electrodo 1. El primer electrodo 1 delimita un compartimento interior entre la primera cara 11 y la segunda cara 12. La primera cara 11 y la segunda cara 12 del primer electrodo 1 pueden estar unidas por un segmento hecho del mismo material que la primera cara 11 y la segunda cara 12 del primer electrodo 1, tal como se ilustra en la figura 5. En otras realizaciones (no ilustradas), la primera cara 11 y la segunda cara 12 no están unidas por un segmento. El primer colector 2 de corriente está parcialmente alojado en el compartimento interior.

Tal como se puede deducir de las figuras 4 y 5, el primer colector 2 de corriente comprende una primera cara conductora 22, una segunda cara conductora 23 y un primer saliente conductor 21. La primera cara conductora 22 y la segunda cara conductora 23 están alojadas en el compartimento interior. La primera cara conductora 22 está en contacto con la primera cara 11 del electrodo, y la segunda cara conductora 23 está en contacto con la segunda cara 12 del electrodo. En otras realizaciones (no ilustradas) la disposición relativa entre el primer electrodo 1 y el primer colector 2 de corriente es diferente a la ilustrada en las figuras 4 y 5.

La primera cara conductora 22 es, por ejemplo, una rejilla. La primera cara conductora 22 está hecha de un material eléctricamente conductor como, por ejemplo, níquel. Para mejorar la protección de la primera cara conductora 22 contra la corrosión y/o mejorar el contacto eléctrico entre la primera cara conductora 22 y la primera cara 11 del electrodo se puede recubrir la primera cara conductora 22 con un material como, por ejemplo, oro o carbón.

La primera cara 11 del primer electrodo 1 es hidrofóbica o, más en particular, superhidrofóbica, para permitir facilitar el uso del primer electrodo 1 como pila de combustible y como electrolizador. El carácter hidrofóbico permite facilitar este uso porque repele el agua líquida que hay en el dispositivo electroquímico tal como el agua producida en el segundo electrodo 81 y/o en el tercer electrodo 82 en el funcionamiento como pila de combustible, y/o el agua en contacto con el segundo electrodo 81 y/o el tercer electrodo 82 en el funcionamiento como electrolizador. Así se evita que se inunde el primer electrodo 1 para evitar dificultar el transporte de hidrógeno. Una primera cara 11 hidrofóbica o, más en particular, superhidrofóbica, comprende, por ejemplo, platino depositado por electropulverización (o electrospray) soportado por carbón en la primera cara 11 y/o un agente hidrofobizante como, por ejemplo, teflón (PTFE) depositado en la primera cara 11.

La segunda cara conductora 23 es, por ejemplo, una rejilla conductora. La segunda cara conductora 23 está hecha de un material eléctricamente conductor como, por ejemplo, níquel. Para mejorar la protección de la segunda cara conductora 23 contra la corrosión y/o mejorar el contacto eléctrico entre la segunda cara conductora 23 y la segunda cara 12 del electrodo, se puede recubrir la segunda cara conductora 23 con un material como, por ejemplo, oro o carbón.

La segunda cara 12 del primer electrodo 1 es hidrofóbica o, más en particular, superhidrofóbica, para permitir facilitar el uso del primer electrodo 1 como pila de combustible y como electrolizador. El carácter hidrofóbico permite facilitar este uso porque repele el agua líquida que hay en el dispositivo electroquímico tal como el agua producida en el segundo electrodo 81 y/o en el tercer electrodo 82 en el funcionamiento como pila de combustible, y/o el agua en contacto con el segundo electrodo 81 y/o el tercer electrodo 82 en el funcionamiento como electrolizador. Así se evita que se inunde el primer electrodo 1 para evitar dificultar el transporte de hidrógeno. Una segunda cara 12 hidrofóbica o, más en

particular, superhidrofóbica, comprende, por ejemplo, platino depositado por electrospray en la segunda cara 12 y/o un agente hidrofobizante como, por ejemplo, teflón (PTFE) depositado en la segunda cara 12.

- 5 El primer saliente conductor 21 es del mismo material rejilla que la segunda cara conductora 23 y la primera cara conductora 22, y conecta eléctricamente la segunda cara conductora 23 y la primera cara conductora 22 con el exterior del dispositivo electroquímico. El primer saliente conductor 21 permite conectar el dispositivo electroquímico 100 a un circuito eléctrico externo.

10

Continuando con la figura 5, el primer electrodo 1 comprende un soporte 2b alojado en el compartimento interior. El soporte 2b es, por ejemplo, una pieza porosa y/o con huecos pasantes para permitir el paso de hidrógeno a través del soporte 2b.

- 15 Para facilitar el transporte de un producto como, por ejemplo, agua, generado por el funcionamiento del dispositivo electroquímico 100 como pila de combustible, el soporte 2b tiene, por ejemplo, una forma levemente curva, en concreto, abombada, con un radio de curvatura de por ejemplo al menos 140 mm y como máximo 180 mm para un soporte 2b de 40 mm de diámetro de área activa. La forma abombada permite mejorar el transporte del agua
- 20 líquida porque transfiere la forma abombada al primer electrodo 1, de manera que causa que la forma de la primera cara 11 y de la segunda cara 12, así como la forma de la primera membrana 41, de la segunda membrana 42, del segundo electrodo 81, del tercer electrodo 82, cambie de plana a convexa, lo que favorece el transporte de agua líquida producida durante el funcionamiento como pila de combustible, y su evacuación preferente desde el
- 25 segundo electrodo 81 y/o tercer electrodo 82 al exterior.

Continuando con la figura 2, el dispositivo electroquímico 100 comprende una primera membrana 41 de electrolito, una segunda membrana 42 de electrolito, una cubierta 3, una primera junta 61 y una segunda junta 62.

30

La primera membrana 41 de electrolito es una membrana para circulación de protones y/o aniones entre el primer electrodo 1 y el segundo electrodo 81. Una primera membrana 41 para circulación de protones permite generar un medio electrolítico ácido en la primera membrana

41. Una primera membrana 41 para circulación de aniones permite generar un medio electrolítico básico en la primera membrana 41.

La segunda membrana 42 de electrolito es una membrana para circulación de protones y/o aniones entre el primer electrodo 1 y el tercer electrodo 82. Una segunda membrana 42 para circulación de protones permite generar un medio electrolítico ácido en la segunda membrana 42. Una segunda membrana 42 para circulación de aniones permite generar un medio electrolítico básico en la segunda membrana 42.

La cubierta 3 está hecha de un material relativamente rígido que soporte contacto con agua e hidrógeno a una temperatura de hasta 100 °C, como, por ejemplo, aluminio, titanio y/o un termoplástico. La cubierta 3 tiene forma de anillo pero, en otras realizaciones no ilustradas, tiene una forma diferente a la forma de anillo. La cubierta 3 comprende un primer conducto 31. El primer conducto 31 conecta fluídicamente el compartimento donde se aloja el primer electrodo 1 con el exterior de la cubierta 3. El primer conducto 31 está configurado, por ejemplo, para permitir la entrada de un gas en el compartimento donde está el primer electrodo 1. La cubierta 3 comprende un segundo conducto 32. El segundo conducto 32 conecta fluídicamente el compartimento donde se aloja el primer electrodo 1 con el exterior de la cubierta 3. El segundo conducto 32 está configurado, por ejemplo, para permitir la salida de un gas del compartimento. De este modo, el dispositivo electroquímico 100 puede comprender un conducto para la entrada de gas en el compartimento y otro conducto diferente para la salida de gas del compartimento. El primer conducto 31 y el segundo conducto 32 son, por ejemplo, conductos para paso de hidrógeno. El flujo de hidrógeno por el primer conducto 31 se puede regular con una válvula instalada en el primer conducto 31. El flujo de hidrógeno por el segundo conducto 32 se puede regular con una válvula instalada en el segundo conducto 32.

La primera junta 61 permite formar una unión estanca del primer saliente conductor 21 con la primera membrana 41 de electrolito. La segunda junta 62 permite formar una unión estanca del primer saliente conductor 21 con la cubierta 3. De este modo, la primera junta 61 y la segunda junta 62 mantienen la estanqueidad permitiendo que el primer saliente conductor 21 salga al exterior del dispositivo electroquímico, estando el primer saliente conductor 21 entre la primera junta 61 y la segunda junta 62.

Tal como se deduce de la figura 3, el primer electrodo 1 está en un compartimento, por ejemplo, un compartimento estanco. La estanqueidad del compartimento permite minimizar fugas de hidrógeno del compartimento. El compartimento está delimitado por una pared interior de la cubierta 3, por la primera membrana 41 de electrolito y por la segunda membrana 42 de electrolito. La primera membrana 41 de electrolito está en contacto con la cara 11 del primer electrodo 1 para reducir una resistencia al paso de protones y/o iones entre el primer electrodo 1 y la primera membrana 41. La segunda membrana 42 de electrolito está en contacto con la cara 12 del primer electrodo 1 para reducir una resistencia al paso de protones y/o iones entre el primer electrodo 1 y la segunda membrana 42.

En algunas realizaciones (no ilustradas), el dispositivo electroquímico 100 comprende al menos una junta entre la segunda membrana 42 y la cubierta 3, estando la junta configurada para mejorar la estanqueidad de la unión entre la segunda membrana 42 y la cubierta 3.

Continuando con las figuras 1, 2 y 6, el dispositivo electroquímico 100 comprende un segundo electrodo 81 de difusión de gas, un tercer electrodo 82 de difusión de gas, un segundo colector 91 de corriente y un tercer colector 92 de corriente.

El segundo electrodo 81 es un electrodo para difusión de oxígeno. El segundo electrodo 81 es un electrodo adecuado para:

- generar energía eléctrica a partir de una reacción electroquímica con oxígeno como, por ejemplo, oxígeno del aire exterior, simultánea con la reacción del hidrógeno en el primer electrodo 1 o
- generar oxígeno mediante una reacción electroquímica causada por electrólisis de agua aplicando una diferencia de potencial eléctrico entre el primer colector 2 de corriente y el segundo colector 91 de corriente.

Un segundo electrodo 81 adecuado para generar energía eléctrica a partir de una reacción química es, por ejemplo, un electrodo poroso de tela de carbón o de papel de carbón recubierto con un catalizador. El catalizador es, por ejemplo, un catalizador para reducir oxígeno, tal como platino o, más en particular, nanopartículas de platino. Un ejemplo de una concentración adecuada de platino para reducir oxígeno es una concentración de al menos 0,05 mg de platino por centímetro cuadrado de superficie proyectada del segundo electrodo

81 y como máximo de 0,3 mg de platino por centímetro cuadrado de superficie proyectada del segundo electrodo 81. El dispositivo electroquímico 100 puede comprender un componente para facilitar la captura y eliminación de agua líquida producto de la reacción química. Por ejemplo, el dispositivo electroquímico 100 puede comprender una capa hidrofílica en contacto con el segundo colector 91 de corriente para permitir la entrada de aire ambiental en el segundo electrodo 81 y para capturar el agua producida. La capa hidrofílica es, por ejemplo, papel secante. El componente para capturar un producto de la reacción química está en contacto con el segundo colector 91 de corriente, de manera que una primera superficie del segundo colector 91 de corriente está en contacto con el segundo electrodo 81 y una segunda superficie del segundo colector 91 de corriente está en contacto con el componente para capturar el producto, siendo la segunda superficie del segundo colector 91 de corriente opuesta a la primera superficie del segundo colector 91 de corriente. La captura y eliminación del producto agua es favorecida por columnas hidrofílicas 722, 721 de las placas externas ilustradas en la Fig. 7.

Un segundo electrodo 81 adecuado para generar oxígeno simultáneamente con la generación de hidrógeno en el primer electrodo 1 mediante la reacción de electrólisis de agua al aplicar una diferencia de potencial eléctrico entre el primer colector 2 de corriente y el segundo colector 91 de corriente es, por ejemplo, un electrodo poroso hecho de un material resistente a la oxidación, tal como una espuma metálica de níquel y/o titanio recubierto con un catalizador adecuado para oxidar agua y resistente a los potenciales eléctricos alcanzados en el uso como electrolizador. El catalizador adecuado para oxidar agua es, por ejemplo, un óxido de una aleación de platino y rutenio, un óxido de una aleación de platino e iridio, un óxido de rutenio, un óxido de iridio y/o un óxido de níquel. Un ejemplo de una concentración adecuada de catalizador para oxidar agua es una concentración de al menos 0,05 mg por centímetro cuadrado de superficie del segundo electrodo 81 y como máximo de 0,5 mg por centímetro cuadrado de superficie del segundo electrodo 81.

El catalizador del segundo electrodo 81 puede ser un catalizador no reversible para acelerar:

- la generación de oxígeno mediante una reacción química causada por electrólisis al aplicar una diferencia de potencial eléctrico entre el primer colector 2 de corriente y el segundo colector 91 de corriente o
- la generación de energía eléctrica a partir de una reacción química de gases procedentes del primer electrodo 1 y del segundo electrodo 81.

El tercer electrodo 82 es un electrodo para difusión de oxígeno. El tercer electrodo 82 es un electrodo adecuado para:

- generar energía eléctrica a partir de una reacción química de gases procedentes del primer electrodo 1 y del tercer electrodo 82 o
- 5 • generar oxígeno mediante una reacción química causada por electrólisis aplicando una diferencia de potencial eléctrico entre el primer colector 2 de corriente y el tercer colector 92 de corriente.

Una ventaja de emplear un catalizador no reversible es su menor coste y mayor eficiencia y durabilidad en comparación con catalizadores reversibles.

Un tercer electrodo 82 adecuado para generar energía eléctrica a partir de una reacción química es, por ejemplo, un electrodo poroso de tela de carbón o de papel de carbón recubierto con un catalizador. El catalizador es, por ejemplo, un catalizador para reducir oxígeno, tal como platino o, más en particular, nanopartículas de platino. Un ejemplo de una concentración adecuada de platino para reducir oxígeno es una concentración de al menos 0,05 mg de platino por centímetro cuadrado de superficie proyectada del tercer electrodo 82 y como máximo de 0,3 mg de platino por centímetro cuadrado de superficie proyectada del tercer electrodo 82. El dispositivo electroquímico 100 puede comprender un componente para facilitar la captura y eliminación de agua producto de la reacción química. Por ejemplo, el dispositivo electroquímico 100 puede comprender una capa hidrofílica en contacto con el tercer colector 92 de corriente para permitir la entrada de un gas en el tercer electrodo 82 y para capturar el agua producida. La capa hidrofílica es, por ejemplo, papel secante. El componente para capturar un producto de la reacción química está en contacto con el tercer colector 92 de corriente, de manera que una primera superficie del tercer colector 92 de corriente está en contacto con el tercer electrodo 82 y una segunda superficie del tercer colector 92 de corriente está en contacto con el componente para capturar el producto, siendo la segunda superficie del tercer colector 92 de corriente opuesta a la primera superficie del tercer colector 92 de corriente. La captura y eliminación del producto agua es favorecida por las columnas hidrofílicas 711, 721 de las placas externas ilustradas en la Fig. 7.

Un tercer electrodo 82 adecuado para generar oxígeno simultáneamente con la generación de hidrógeno en el primer electrodo 1 mediante la reacción de electrólisis de agua al aplicar

una diferencia de potencial eléctrico entre el primer colector 2 de corriente y el tercer colector 92 de corriente es, por ejemplo, un electrodo poroso y hecho de un material resistente a la oxidación, tal como una espuma metálica de níquel y/o titanio recubierto con un catalizador adecuado para oxidar agua y resistente a los potenciales eléctricos alcanzados en el uso como electrolizador. El catalizador adecuado para oxidar agua es, por ejemplo, un óxido de una aleación de platino y rutenio, un óxido de una aleación de platino e iridio, un óxido de rutenio, un óxido de iridio y/o un óxido de níquel.

El catalizador del tercer electrodo 82 puede ser un catalizador no reversible para acelerar:

- la generación de oxígeno mediante una reacción química causada por electrólisis al aplicar una diferencia de potencial eléctrico entre el primer colector 2 de corriente y el tercer colector 92 de corriente o
- la generación energía eléctrica a partir de una reacción química de gases procedentes del primer electrodo 1 y del tercer electrodo 82.

Continuando con las figuras 2 y 6, el segundo colector 91 de corriente comprende una tercera rejilla 911 eléctricamente conductora. La tercera rejilla 911 está en contacto con el segundo electrodo 81. La tercera rejilla 911 está hecha de un material eléctricamente conductor como, por ejemplo, níquel. Para disminuir la resistencia eléctrica del contacto entre la tercera rejilla 911 y el segundo electrodo 81, la tercera rejilla 911 puede tener un recubrimiento de un material de conductividad eléctrica elevada en la cara de la tercera rejilla 911 en contacto con el segundo electrodo 81. Un ejemplo de un material de conductividad eléctrica elevada es el oro. El segundo colector 91 de corriente comprende un segundo saliente conductor 912. El segundo saliente conductor 912 permite conectar el segundo colector 91 de corriente con un circuito eléctrico externo al dispositivo electroquímico 100.

Continuando con las figuras 2 y 6, el tercer colector 92 de corriente comprende una cuarta rejilla 921 eléctricamente conductora. La cuarta rejilla 921 está en contacto con el tercer electrodo 82. La cuarta rejilla 921 está hecha de un material eléctricamente conductor como, por ejemplo, níquel. Para disminuir la resistencia eléctrica del contacto entre la cuarta rejilla 921 y el tercer electrodo 82, la cuarta rejilla 921 puede tener un recubrimiento de un material de conductividad eléctrica elevada en la cara de la cuarta rejilla 921 en contacto con el tercer electrodo 82. Un ejemplo de un material de conductividad eléctrica elevada es el oro. El tercer

colector 92 de corriente comprende un tercer saliente conductor 922. El tercer saliente conductor 922 permite conectar el tercer colector 92 de corriente con un circuito eléctrico externo a el dispositivo electroquímico 100.

5 Para mejorar la eficiencia del dispositivo electroquímico 100 se puede minimizar la resistencia eléctrica del dispositivo electroquímico. En concreto, se puede minimizar la resistencia que ofrecen componentes del dispositivo electroquímico al paso de iones y electrones. Esta resistencia se minimiza, por ejemplo, mejorando: el contacto entre el primer electrodo 1 y el primer colector 2 de corriente, el contacto entre el primer electrodo 1 y la primera membrana
10 41 de electrolito, el contacto entre el primer electrodo 1 y la segunda membrana 42 de electrolito, el contacto entre el segundo electrodo 81 y la primera membrana 41 de electrolito, el contacto entre el tercer electrodo 82 y la segunda membrana 42 de electrolito, el contacto entre el segundo electrodo 81 y el segundo colector 91 de corriente, el contacto entre el tercer electrodo 82 y el tercer colector 92 de corriente.

15

Para mejorar dichos contactos y/o la estanqueidad del compartimento donde está el primer electrodo 1, el dispositivo electroquímico 100 comprende, por ejemplo, unos elementos 101 de sujeción y de compresión. Tal como se ilustra en la figura 1 y en la figura 7, los elementos de sujeción y de compresión comprenden, por ejemplo, una primera placa 71, una segunda
20 placa 72, unos tornillos 52 y unas tuercas 51, 53. La primera placa 71 comprende unas primeras columnas 711. La segunda placa 72 comprende unas segundas columnas 721. La primera placa 71 está hecha de, por ejemplo, aluminio, titanio, un metal poroso y/o un plástico rígido. La segunda placa 72 está hecha de, por ejemplo, aluminio, titanio, un metal poroso y/o un plástico rígido.

25

Tal como se deduce de la figura 2, las primeras columnas 711 están en contacto con la tercera rejilla 911. Las segundas columnas 721 están en contacto con la cuarta rejilla 921.

Los tornillos 52 atraviesan unos orificios pasantes de los componentes del dispositivo
30 electroquímico 100, de manera que sujetan los componentes, además de permitir el cierre estanco de una porción intermedia 102 donde se aloja el primer electrodo 1 y el hidrógeno, y de permitir el ajuste de la presión de contacto entre los componentes eléctricos del dispositivo. Mediante el accionamiento de las tuercas 51 se regula la presión de contacto entre los

componentes del dispositivo electroquímico 100. Por ejemplo, mediante un apriete de las tuercas 51 se aumenta la presión de contacto de los componentes. Al apretar las tuercas 51, se aumenta la presión entre las primeras columnas 711 y la tercera rejilla 911, y se aumenta la presión entre las segundas columnas 721 y la cuarta rejilla 921. De este modo se regula el contacto entre los componentes del dispositivo electroquímico 100. Una compresión adecuada se ejerce mediante aplicación de un torque de apriete entre 0,1 y 1 N·m a ocho tuercas de acero M3 en cada placa.

El accionamiento de las tuercas 53 permite regular la estanqueidad del dispositivo electroquímico. Por ejemplo, el apriete de las tuercas 53 permite aumentar la estanqueidad del dispositivo electroquímico 100. De esta forma, la entrada y/o salida de hidrógeno al compartimento del primer electrodo es por los conductos 31 y 32. Los conductos 31 y 32 deberán tener válvulas de apertura y cierre.

Para maximizar la eficiencia del dispositivo electroquímico 100, los elementos de sujeción y de compresión están configurados para permitir el acceso libre de reactivos como aire y agua desde el exterior del dispositivo hacia un segundo 81 y un tercer electrodo 82.

Para aislar eléctricamente la primera placa 71 y la segunda placa 72 con respecto a los electrodos del dispositivo electroquímico 100, se puede interponer una primera placa aislante 73 entre la primera placa 71 y el segundo colector 91 de corriente y se puede interponer una segunda placa aislante 74 entre la segunda placa 72 y el tercer colector 92 de corriente. Otra forma de aislamiento eléctrico entre las placas 71 y 72 es fabricarlas en un material no conductor, como plástico. Este aislamiento entre placas 71 y 72 es necesario cuando el dispositivo electroquímico funciona como pila de combustible y como electrolizador. En este caso un segundo electrodo 81 y un tercer electrodo 82 tienen que funcionar a distinto potencial eléctrico, ya que uno funciona como cátodo de pila de combustible ($V = 0,4$ a $0,9$ V vs. NHE) y el otro como ánodo de electrolizador ($V = 1,25$ a $2,00$ V vs. NHE).

El dispositivo electroquímico 100 es desmontable y montable, pues se puede desmontar separando las tuercas 51, 53 con respecto a los tornillos 52 y se puede volver a montar acoplando las tuercas 51, 53 a los tornillos 52.

En otras realizaciones (no ilustradas), los componentes del dispositivo electroquímico 100 están unidos mediante adhesivos como, por ejemplo, pegamento, junta térmica y/o termosellado de plástico en lugar de mediante los elementos de sujeción y compresión. En algunas realizaciones (no ilustradas), los componentes unidos mediante adhesivos no son separables reversiblemente. Las realizaciones de dispositivo electroquímico no desmontables reversiblemente permiten un dispositivo electroquímico más ligero en comparación con realizaciones en las que el dispositivo electroquímico es desmontable reversiblemente, es decir, está configurado para ser montable después de desmontarse, porque los elementos de sujeción y compresión de la Fig. 7 pueden simplificarse para solo ejercer la compresión.

Tal como se ilustra en las figuras 8, 9 y 10 el dispositivo electroquímico 100 puede estar configurado para funcionar como pila de combustible, como electrolizador o como pila de combustible y electrolizador simultáneamente.

La figura 8 ilustra un dispositivo electroquímico 100 en el que el segundo electrodo 81 y el tercer electrodo 82 están en contacto con aire. El dispositivo electroquímico 100 de la figura 8 funciona como dos pilas de combustible, una primera pila de combustible que comprende el primer electrodo 1 y el segundo electrodo 81 y una segunda pila de combustible que comprende el primer electrodo 1 y el tercer electrodo 82. El funcionamiento del segundo electrodo 81 y del tercer electrodo 82 como pila de combustible para generar electricidad requiere alimentar el compartimento donde está el primer electrodo 1 con hidrógeno a una pequeña sobrepresión de, por ejemplo, al menos 0,3 bar y como máximo 1,0 bar sobre la presión atmosférica. El primer saliente conductor 21, el segundo saliente conductor 912 y el tercer saliente conductor 922 se pueden conectar a una carga eléctrica o a una aplicación a través de un convertidor CC-CC, es decir, un convertidor de corriente continua en corriente continua.

La figura 11 muestra una curva de polarización (tensión de celda electroquímica vs corriente de celda electroquímica) y de potencia (potencia eléctrica de celda electroquímica vs corriente de celda electroquímica) del funcionamiento del dispositivo electroquímico 100 de la figura 8. Este dispositivo electroquímico comprende un primer electrodo 1, un segundo electrodo 81 y un tercer electrodo 82 hechos de tela de carbón y catalizados con platino, en concreto, con una concentración de 0,30 mg de platino por cada centímetro cuadrado de superficie del electrodo.

La figura 9 ilustra un dispositivo electroquímico 100 en el que el segundo electrodo 81 y el tercer electrodo 82 están en contacto con agua. El dispositivo electroquímico 100 de la figura 9 funciona como dos electrolizadores, un primer electrolizador que comprende el primer electrodo 1 y el segundo electrodo 81 y un segundo electrolizador que comprende el primer electrodo 1 y el tercer electrodo 82. Si el segundo electrodo 81 y el tercer electrodo 82 están sumergidos en agua, como se muestra en la figura 9, la estructura de sujeción y presión está eléctricamente aislada del segundo electrodo 81 y del tercer electrodo 82 mediante, por ejemplo, uso de componentes aislantes adecuados entre los tornillos de sujeción y las placas. Este aislamiento eléctrico no es necesario en esta funcionalidad pero tiene como ventaja que permite monitorizar y controlar independientemente cada electrodo. El primer saliente conductor 21, el segundo saliente conductor 912 y el tercer saliente conductor 922 están conectados a un generador de electricidad como, por ejemplo, un panel solar, un aerogenerador, o cualquier otra fuente de electricidad, externo a el dispositivo electroquímico 100 para proveer energía eléctrica con las características de tensión y corriente adecuadas para la reacción de conversión del agua en hidrógeno y oxígeno. El hidrógeno generado puede quedar almacenado en el propio compartimento donde está el primer electrodo 1 si la cantidad de hidrógeno almacenada se ajusta a los requerimientos de presión máxima que puede soportar el compartimento, por ejemplo, si no se eleva la presión del compartimento por encima de 1 bar sobre presión atmosférica. Para mayores cantidades de energía almacenada se puede conectar el interior del compartimento con un contenedor para hidrógeno, por ejemplo, mediante el segundo conducto 32.

Las figuras 12 y 13 ilustran el funcionamiento del dispositivo electroquímico 100 de la figura 9. La figura 12 ilustra una primera evolución temporal de corriente 121 aplicada al electrolizador para obtener hidrógeno en el primer electrodo 1 y una segunda evolución temporal de corriente 122 generada con el hidrógeno obtenido y almacenado en un compartimento interior de una porción intermedia 102. La figura 13 ilustra una primera evolución temporal de potencia eléctrica 131 aplicada al electrolizador para obtener hidrógeno y una segunda evolución temporal de potencia eléctrica 132 generada con el hidrógeno obtenido y almacenado.

El mismo dispositivo electroquímico puede estar configurado para funcionar como pila de combustible y como electrolizador simultáneamente, por ejemplo, si el segundo electrodo 81 y el tercer electrodo 82 tienen una configuración adecuada según lo descrito anteriormente. En esta funcionalidad el segundo electrodo 81 está eléctricamente aislado del tercer electrodo

82 para estar a distinto potencial eléctrico. Este aislamiento puede hacerse de la forma indicada anteriormente. El funcionamiento como pila-electrolizador simultáneo se puede conseguir mediante inmersión parcial del dispositivo electroquímico 100, tal como se muestra en la figura 10, sumergiendo el tercer electrodo 82 de oxígeno en agua para electrólisis dentro del agua, y dejando el segundo electrodo 81 en contacto con aire.

Las figuras 14 y 15 ilustran el funcionamiento del dispositivo electroquímico 100 de la figura 10. El dispositivo electroquímico 100 de la figura 10 comprende un segundo electrodo 81 de carbón y platino que comprende una concentración de 0,30 mg de platino por cada centímetro cuadrado de superficie del segundo electrodo 81, y el tercer electrodo 82 está formado por una rejilla de níquel. Este tercer electrodo 82 no es óptimo para la función electrolítica pero sirve para mostrar el funcionamiento del dispositivo electroquímico 100 de la figura 10. La pila de combustible se ha dejado polarizada a 0,3 V con objeto de que consuma inmediatamente el hidrógeno producido a causa del tercer electrodo 82. La producción y el consumo de hidrógeno se llevan a cabo simultáneamente en un primer electrodo 1. En la figura 14 se observa que la corriente producida 141 en la pila de combustible es de igual magnitud que la corriente empleada 142 en la generación de hidrógeno lo que refleja una eficiencia faradaica del 100%, es decir, que todo el hidrógeno producido en un primer electrodo 1 es inmediatamente consumido en un primer electrodo 1. Esto es posible gracias a la reversibilidad de la reacción de hidrógeno $H_2 \rightleftharpoons 2H^+ + 2e^-$ y al diseño de un primer electrodo 1. En la figura 15 se muestra la potencia consumida 151 en la electrólisis y la potencia generada 152 por la pila de combustible. La eficiencia energética del proceso es de un 10% en este caso. Mayores eficiencias pueden alcanzarse optimizando el catalizador de electrólisis.

Si bien las figuras ilustran un dispositivo electroquímico con componentes con forma de disco y anillo, en otras realizaciones (no ilustradas) dichos componentes del dispositivo electroquímico tienen una forma distinta de la forma de disco y anillo, por ejemplo, forma de paralelepípedo. Las formas circulares como, por ejemplo, las formas de disco o las formas de anillo permiten mejorar la estanqueidad y la homogeneidad frente a otras formas.

En este texto, el término “comprende” y sus variantes (como “comprendiendo”, etc.) no deben entenderse de forma excluyente, es decir, estos no excluyen la posibilidad de que lo descrito incluya otros elementos, pasos, etc.

Por otra parte, la invención no está limitada a las realizaciones concretas que se han descrito sino abarca también, por ejemplo, las variantes que pueden ser realizadas por el experto medio en la materia (por ejemplo, en cuanto a la elección de materiales, dimensiones,
5 componentes, configuración, etc.), dentro de lo que se desprende de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo electroquímico (100) para generar hidrógeno y/o corriente eléctrica, comprendiendo el dispositivo electroquímico un primer electrodo (1) de difusión de gas, un segundo electrodo (81) de difusión de gas y un tercer electrodo (82) de difusión de gas; siendo el primer electrodo (1) para difusión de hidrógeno; siendo el segundo electrodo (81) y el tercer electrodo (82) para difusión de oxígeno; estando el primer electrodo (1) en un compartimento; estando el dispositivo electroquímico **caracterizado por que** comprende un primer colector (2) de corriente, un segundo colector (91) de corriente y un tercer colector (92) de corriente; estando el compartimento delimitado lateralmente por una primera membrana (41) de electrolito y por una segunda membrana (42) de electrolito; estando el primer electrodo (1) entre la primera membrana (41) de electrolito y la segunda membrana (42) de electrolito, estando el primer electrodo (1) en contacto con la primera membrana (41) de electrolito y con la segunda membrana (42) de electrolito y estando el primer electrodo (1) en contacto con el primer colector (2) de corriente; estando el segundo electrodo (81) entre la primera membrana (41) de electrolito y el segundo colector (91) de corriente; estando el tercer electrodo (82) entre la segunda membrana (42) de electrolito y el tercer colector (92) de corriente; estando el segundo electrodo (81) en contacto con la primera membrana (41) de electrolito y con el segundo colector (91) de corriente; estando el tercer electrodo (82) en contacto con la segunda membrana (42) de electrolito y con el tercer colector (92) de corriente.
2. El dispositivo electroquímico (100) de la reivindicación 1, comprendiendo el segundo electrodo (81) y/o el tercer electrodo (82) un catalizador para oxidar agua; en el que el primer electrodo (1) comprende preferiblemente un catalizador para reducir agua o protones.
3. El dispositivo electroquímico (100) de la reivindicación 1, comprendiendo el segundo electrodo (81) un catalizador para oxidar agua y comprendiendo el tercer electrodo (82) un catalizador para reducir oxígeno; en el que el primer electrodo (1) comprende preferiblemente un catalizador para oxidar hidrógeno y para reducir agua.
4. El dispositivo electroquímico (100) de la reivindicación 1, comprendiendo el segundo electrodo (81) y/o el tercer electrodo (82) un catalizador para reducir oxígeno; en el

que el primer electrodo (1) comprende preferiblemente un catalizador para oxidar hidrógeno.

- 5 5. El dispositivo electroquímico (100) de la reivindicación 2 o 3, comprendiendo el catalizador para oxidar agua al menos uno de un óxido de una aleación de platino y rutenio, un óxido de una aleación de platino e iridio, un óxido de rutenio, un óxido de iridio y un óxido de níquel; comprendiendo el segundo electrodo (81) un sustrato de metal, teniendo el sustrato unos poros.
- 10 6. El dispositivo electroquímico (100) de la reivindicación 3 o 4, en el que el catalizador para reducir oxígeno comprende carbón recubierto de nanopartículas de platino con una concentración de al menos 0,1 mg y como máximo 0,3 mg de platino por cada centímetro cuadrado proyectado de electrodo, o en el que el catalizador para reducir oxígeno comprende níquel y/o un material sólido poroso a base de carbón dopado con nitrógeno y hierro, teniendo el material sólido poroso a base de carbón dopado la
15 fórmula FeC_xN_y .
- 20 7. El dispositivo electroquímico (100) de la reivindicación 2 o 3, en el que el catalizador para reducir agua o protones comprende partículas de un carbón microporoso recubiertas de nanopartículas de platino con una concentración de como máximo 0,3 mg de platino por cada centímetro cuadrado proyectado de electrodo.
- 25 8. El dispositivo electroquímico (100) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo el primer electrodo (1) una primera cara (11) y una segunda cara (12), estando la primera cara (11) en contacto con la primera membrana (41) de electrolito y estando la segunda cara (12) en contacto con la segunda membrana (42) de electrolito; comprendiendo el primer colector (2) de corriente una primera rejilla y una segunda rejilla, estando la primera rejilla eléctricamente conectada a la segunda
30 rejilla, estando la primera cara (11) del primer electrodo (1) en contacto con la primera rejilla y estando la segunda cara (12) del primer electrodo (1) en contacto con la segunda rejilla; siendo la primera rejilla y la segunda rejilla para conducción de corriente eléctrica, y conexión al exterior mediante un saliente conductor (21) que mantiene la estanqueidad del compartimento del primer electrodo (1).
- 35 9. El dispositivo electroquímico (100) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo el segundo colector (91) de corriente una tercera rejilla

(911), estando la tercera rejilla (911) en contacto con el segundo electrodo (81); siendo la tercera rejilla (911) para conducción de corriente eléctrica.

10. El dispositivo electroquímico (100) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo el tercer colector (92) de corriente una cuarta rejilla (921), estando la cuarta rejilla (921) en contacto con el tercer electrodo (82); siendo la cuarta rejilla (921) para conducción de corriente eléctrica.

11. El dispositivo electroquímico (100) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, siendo el primer electrodo (1) hidrófobo; siendo el primer electrodo (1) preferiblemente superhidrófobo.

12. El dispositivo electroquímico (100) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo el dispositivo electroquímico un primer conducto (31) para gas y un segundo conducto (32) para gas; estando el primer conducto (31) conectado fluídicamente con el compartimento y estando el segundo conducto (32) conectado fluídicamente con el compartimento, teniendo el primer conducto (31) y el segundo conducto (32) válvulas de apertura y cierre para hidrógeno.

13. El dispositivo electroquímico (100) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo el dispositivo electroquímico una primera placa (71) con unas primeras columnas (711) y una segunda placa (72) con unas segundas columnas (721); estando el segundo colector (91) de corriente entre la primera placa (71) y el segundo electrodo (81); presionando las primeras columnas (711) el segundo colector (91) de corriente contra el segundo electrodo (81); estando el tercer colector (92) de corriente entre la segunda placa (72) y el tercer electrodo (82); presionando las segundas columnas (721) el tercer colector (92) de corriente contra el tercer electrodo (82); en el que preferiblemente las primeras columnas (711) comprenden un material hidrofílico y/o las segundas columnas (721) comprenden un material hidrofílico.

14. El dispositivo electroquímico (100) de la reivindicación 13, en el que la primera placa (71), el segundo colector (91) de corriente, la segunda membrana (42) de electrolito, la primera membrana (41) de electrolito, el tercer colector (92) de corriente y la segunda placa (72) comprenden unos orificios pasantes; comprendiendo el dispositivo electroquímico unos tornillos (52) y unas tuercas (51, 53) acopladas a los tornillos (52); estando los orificios pasantes atravesados por los tornillos (52); estando el dispositivo electroquímico configurado para regular la presión entre las columnas y el segundo y

tercer colector (91, 92) de corriente accionando las tuercas (51), y para regular la estanqueidad del compartimento de un primer electrodo (1) accionando las tuercas (53).

- 5 15. El dispositivo electroquímico (100) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, siendo el dispositivo electroquímico desmontable y montable; comprendiendo el dispositivo electroquímico una configuración de desmontaje en la que:
 - el segundo electrodo (81) está separado del segundo colector (91) de corriente,
 - 10 - el segundo electrodo (81) está separado de la primera membrana (41) de electrolito,
 - el tercer electrodo (82) está separado del tercer colector (92) de corriente, y/o
 - el tercer electrodo (82) está separado de la segunda membrana (42) de electrolito.
- 15 16. El dispositivo electroquímico (100) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, siendo la primera membrana (41) de electrolito de polímero y/o siendo la segunda membrana (42) de electrolito de polímero.
- 20 17. El dispositivo electroquímico (100) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores y un panel fotovoltaico, estando el panel fotovoltaico eléctricamente conectado al saliente (21) del primer colector (2) de corriente y a un segundo saliente conductor (912) del segundo colector (91) de corriente y/o estando el panel fotovoltaico eléctricamente conectado al primer colector de corriente y a un tercer saliente conductor (922) del tercer colector de corriente.
- 25 18. El dispositivo electroquímico (100) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16 y un aerogenerador, estando el aerogenerador eléctricamente conectado al saliente (21) del primer colector (2) de corriente y a un segundo saliente conductor (912) del segundo colector (91) de corriente y/o estando el aerogenerador eléctricamente conectado al saliente (21) del primer colector de corriente y a un tercer saliente conductor (922) del tercer colector de corriente.
- 30 19. Uso del dispositivo electroquímico (100) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16 para generar hidrógeno y electricidad; estando el segundo electrodo (81) en contacto con agua, estando el tercer electrodo (82) en contacto con oxígeno y estando
- 35

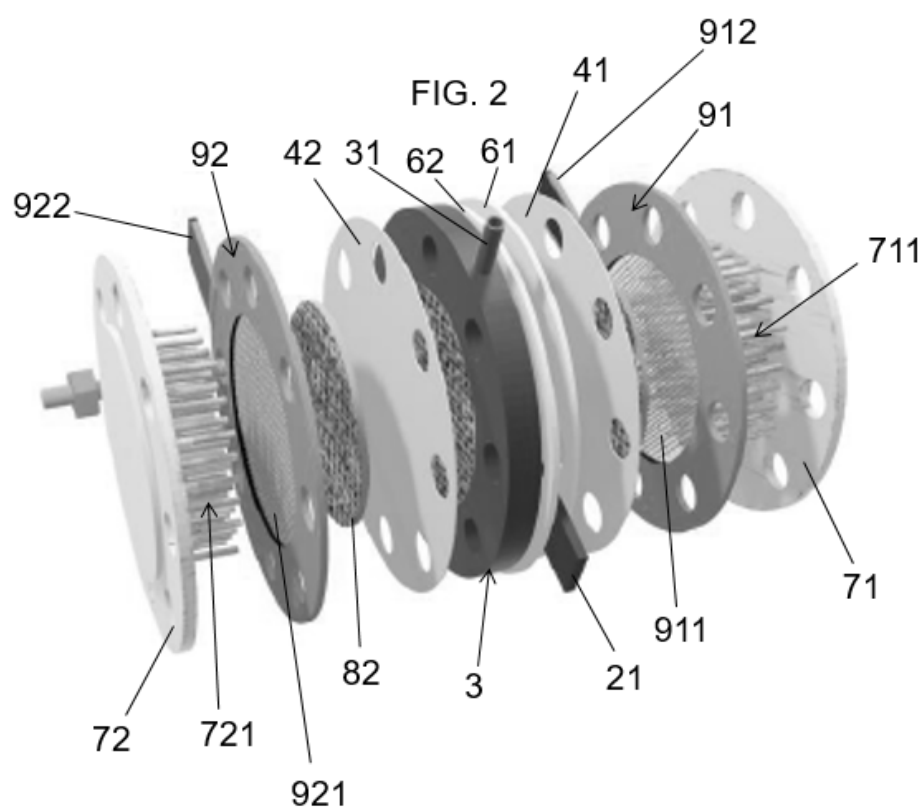
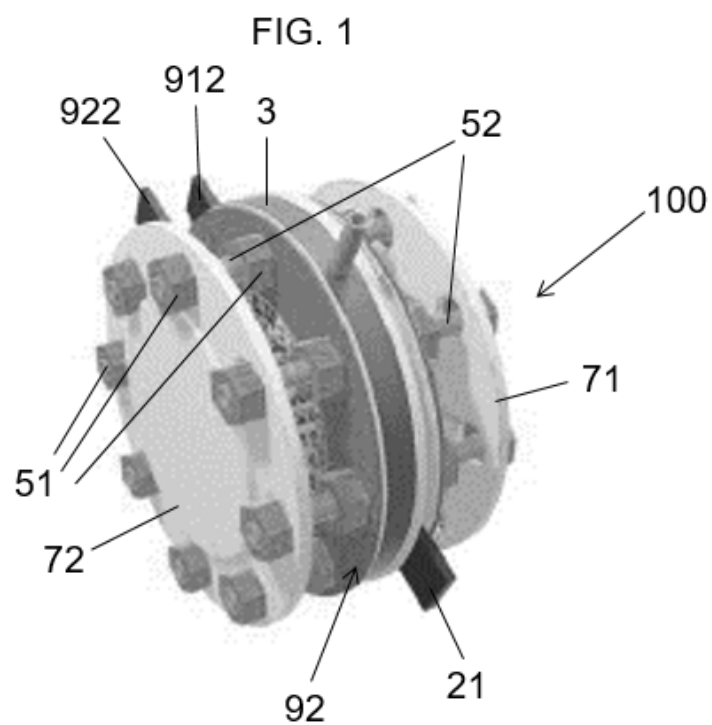
el primer electrodo en contacto con hidrógeno; estando el saliente (21) del primer colector de corriente (22) y un segundo saliente conductor (912) del segundo colector de corriente (91) conectados a los polos negativo (reductor) y positivo (oxidante), respectivamente, de un generador de electricidad de corriente continua (DC); estando el saliente (21) del primer colector de corriente (22) y un tercer saliente conductor (922) del tercer colector de corriente (92) conectados a los polos negativo y positivo, respectivamente, de una carga o aplicación alimentada con corriente continua (DC); comprendiendo el uso hacer pasar una corriente entre el primer colector de corriente (2) y el segundo colector de corriente (91) de manera que tiene lugar la reacción electroquímica no espontánea de disociación de agua $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + 0,5\text{O}_2$ y se genera hidrógeno en el compartimento de un primer electrodo (1); y/o comprendiendo el uso la reacción electroquímica espontánea de hidrógeno y oxígeno para generar agua $\text{H}_2 + 0,5\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ entre el tercer electrodo (82) y el primer electrodo (1), generando la reacción electroquímica una corriente eléctrica entre el primer colector (2) de corriente y el tercer colector (92) de corriente.

20. Uso del dispositivo electroquímico (100) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16 para generar hidrógeno, estando el segundo electrodo (81) y el tercer electrodo (82) en contacto con agua, estando el primer electrodo (1) en contacto con protones y/o agua; conectando un generador externo de electricidad de corriente continua (DC) con el polo negativo (potencial reductor) al saliente (21) del primer colector de corriente (2) y con el polo positivo (potencial oxidante) al segundo y tercer colector (91) y (92) por medio de sus respectivos salientes conductores (912) y (922); comprendiendo el uso la reacción electroquímica $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + 0,5\text{O}_2$ entre el segundo electrodo y el primer electrodo y la misma reacción electroquímica $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + 0,5\text{O}_2$ entre el tercer electrodo y el primer electrodo, generando la reacción electroquímica hidrógeno en el compartimento.

21. Uso del dispositivo electroquímico (100) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16 para generar electricidad; estando el segundo electrodo (81) y el tercer electrodo (82) en contacto con oxígeno, y estando el primer electrodo en contacto con hidrógeno; comprendiendo el uso la reacción electroquímica $\text{H}_2 + 0,5\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ entre el segundo electrodo (81) y el primer electrodo (1) y la misma reacción electroquímica $\text{H}_2 + 0,5\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ entre el tercer electrodo (82) y el primer electrodo (1), generando la reacción electroquímica una corriente eléctrica que circulará por un circuito externo entre el

saliente (21) del primer colector de corriente (2) y los salientes (912) y (922) del segundo y tercer colectores de corriente (91) y (92).

- 5 22. Uso según la reivindicación 19, estando un panel fotovoltaico y/o un aerogenerador eléctricamente conectado al saliente (21) del primer colector (2) de corriente (polo negativo-reductor) y al segundo saliente conductor (912) del segundo colector (91) de corriente (polo positivo-oxidante) o eléctricamente conectado(s) al saliente (21) del primer colector (2) de corriente (polo negativo-reductor) y al tercer saliente conductor (922) del tercer colector (92) de corriente (polo positivo-oxidante).
- 10 23. Uso según la reivindicación 20, estando un panel fotovoltaico y/o un aerogenerador eléctricamente conectado(s) al saliente (21) del primer colector (2) de corriente (polo negativo-reductor) y a un segundo saliente conductor (912) del segundo colector (91) de corriente (polo positivo-oxidante) y eléctricamente conectado(s) al saliente (21) del
- 15 primer colector (2) de corriente (polo negativo-reductor) y a un tercer saliente conductor (922) del tercer colector (92) de corriente (polo positivo-oxidante).



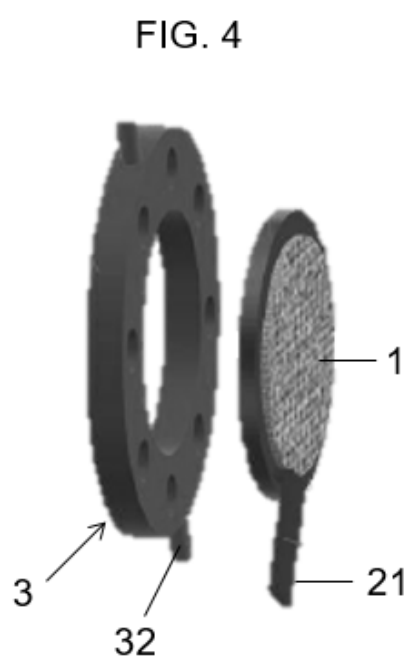
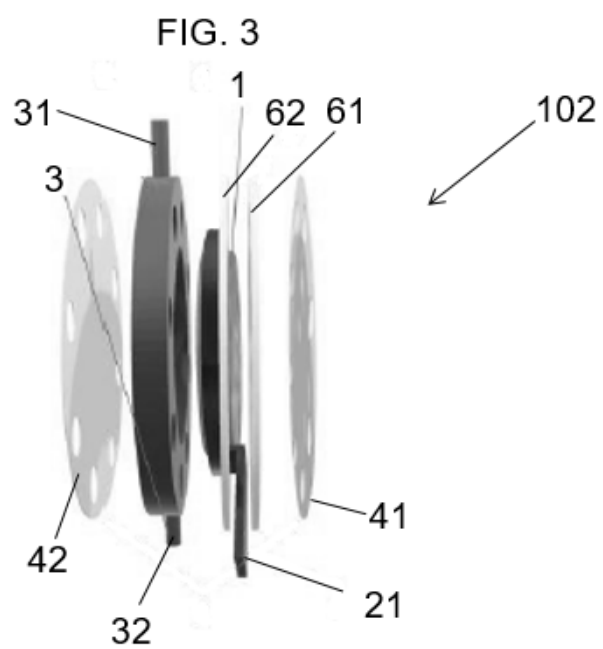


FIG. 5

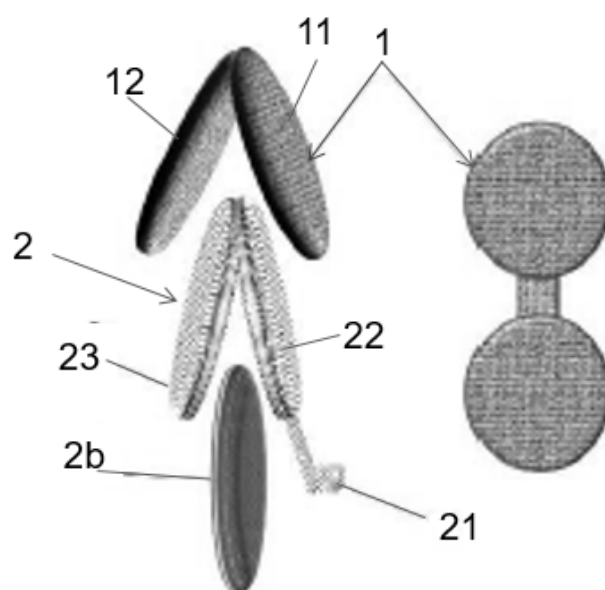


FIG. 6

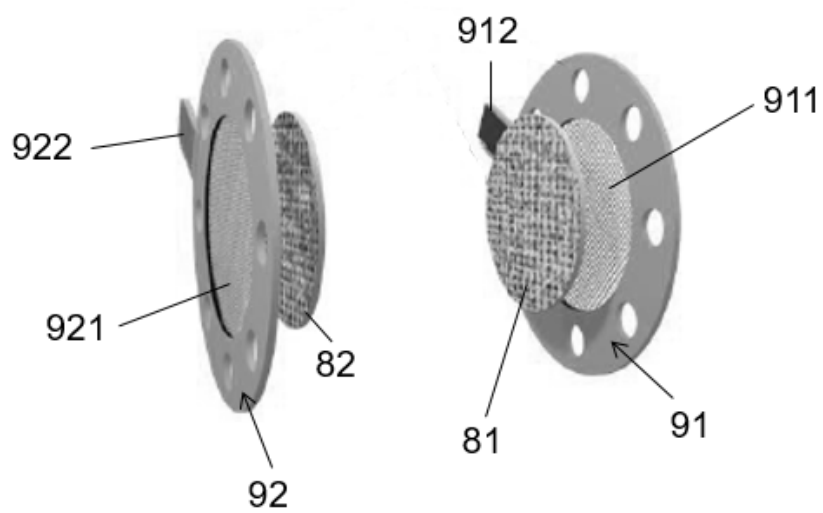


FIG. 7

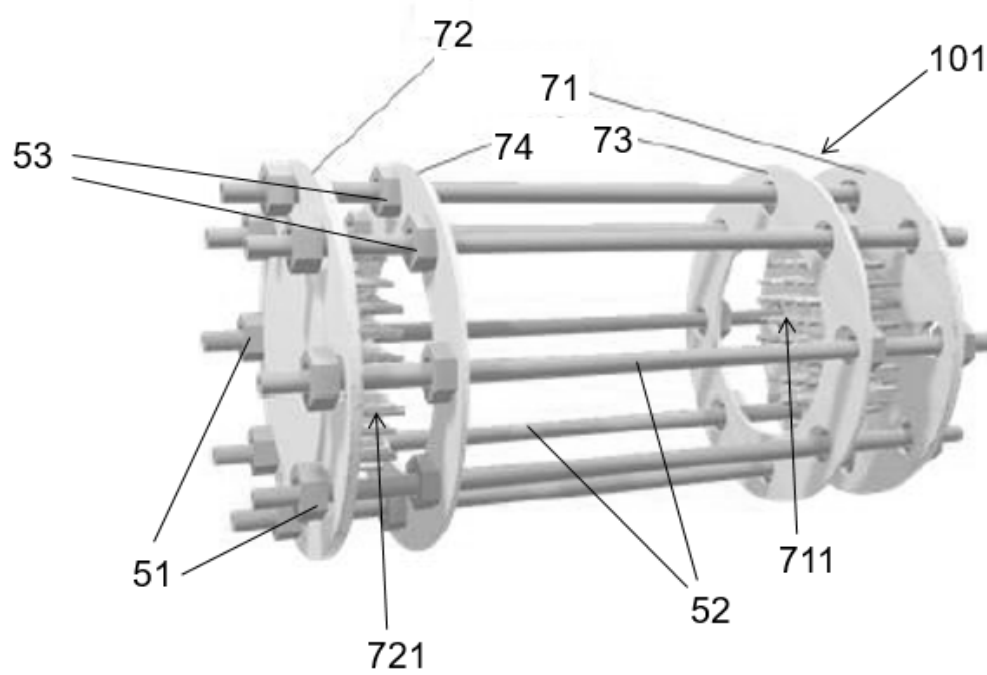


FIG. 8

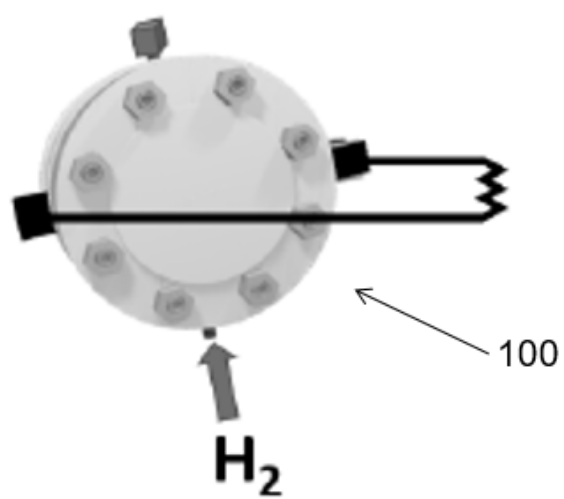


FIG. 9

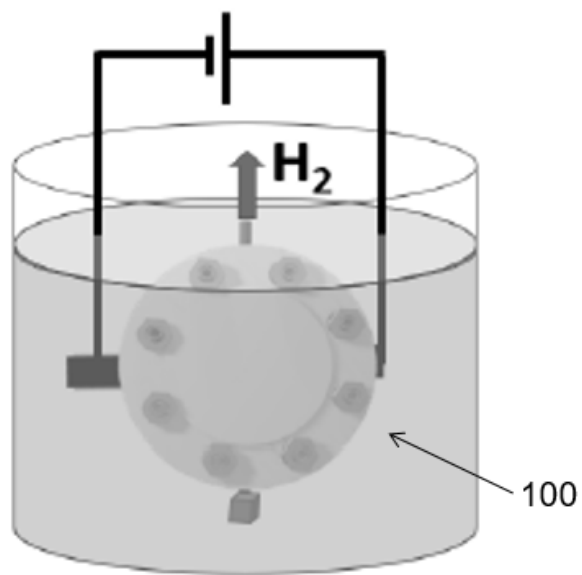


FIG. 10

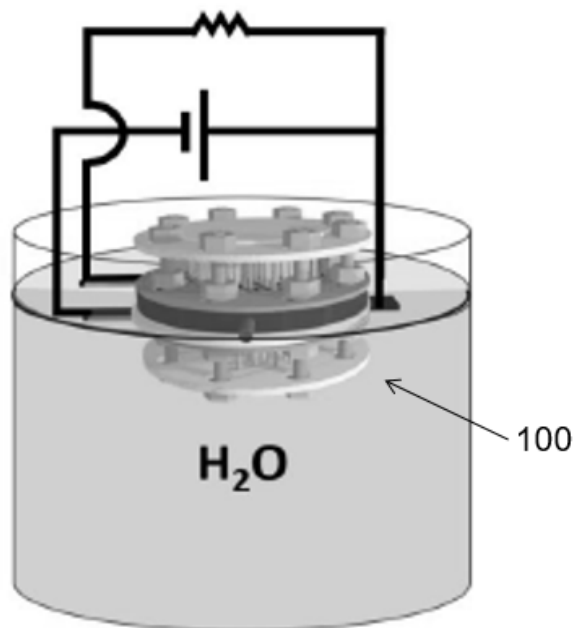


FIG. 11

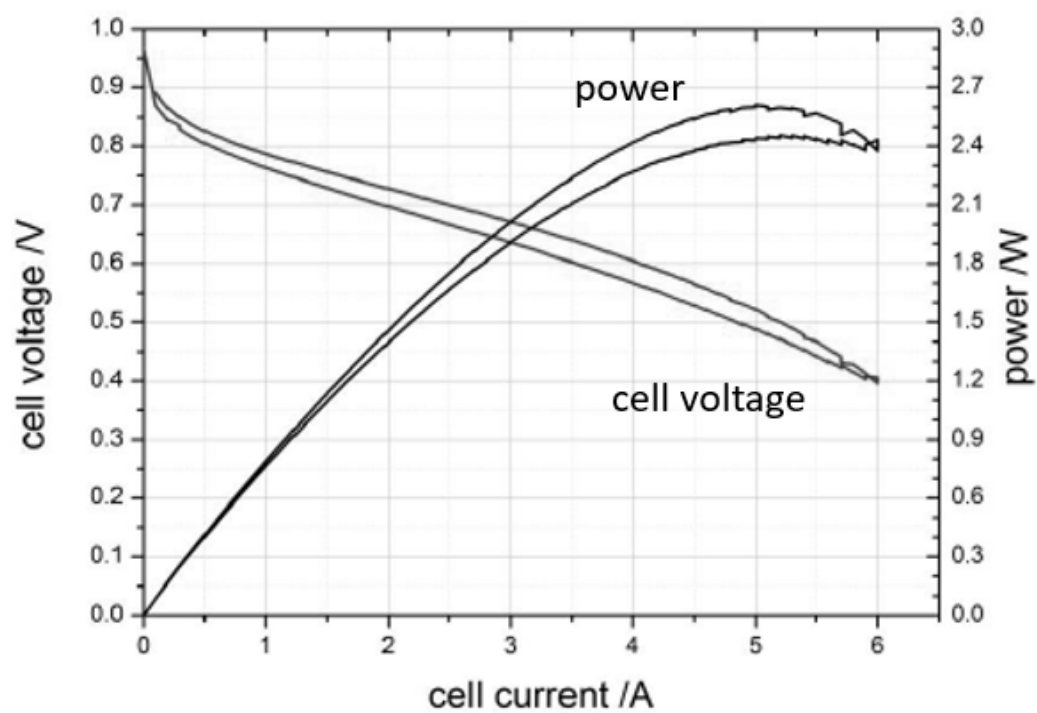


FIG. 12

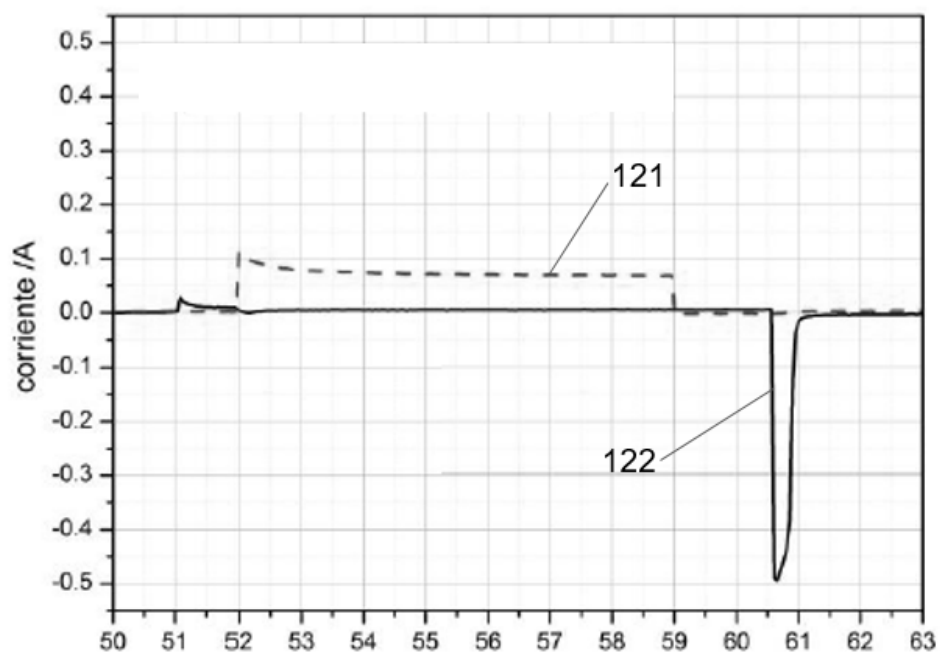


FIG. 13

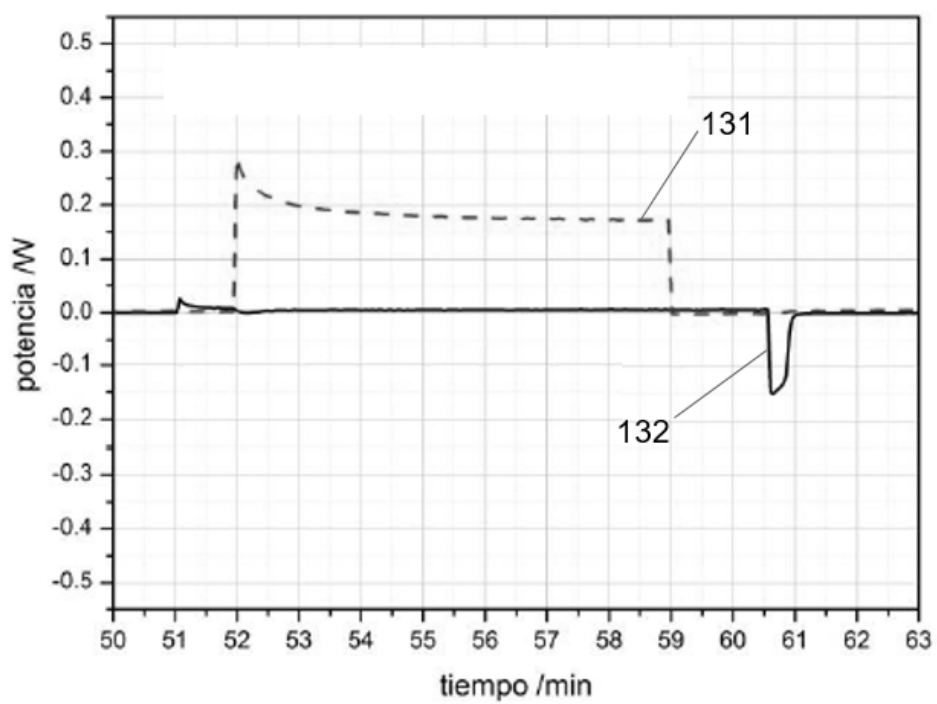


FIG. 14

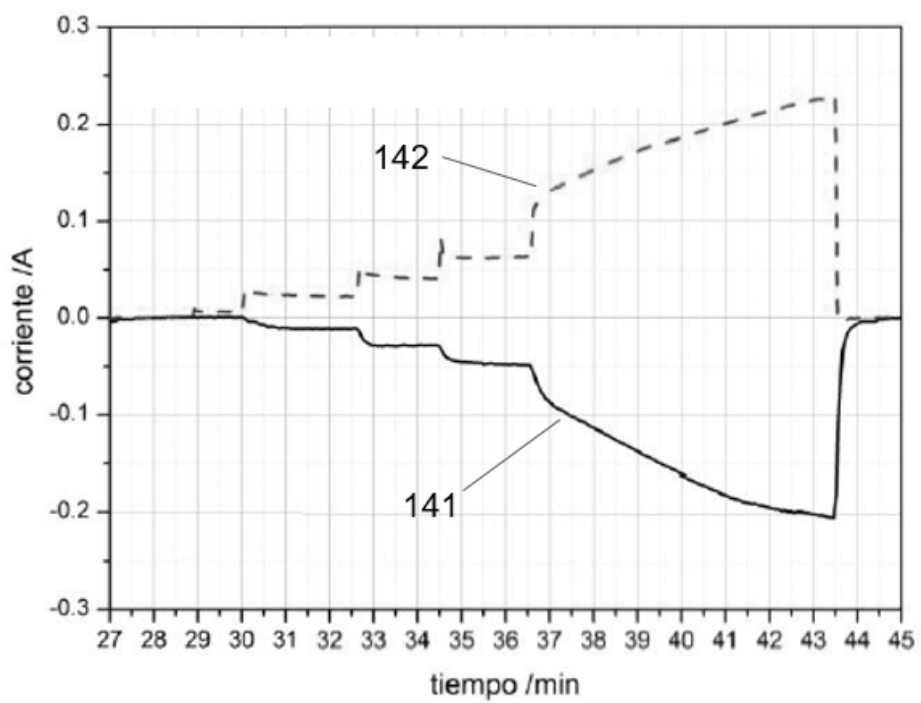
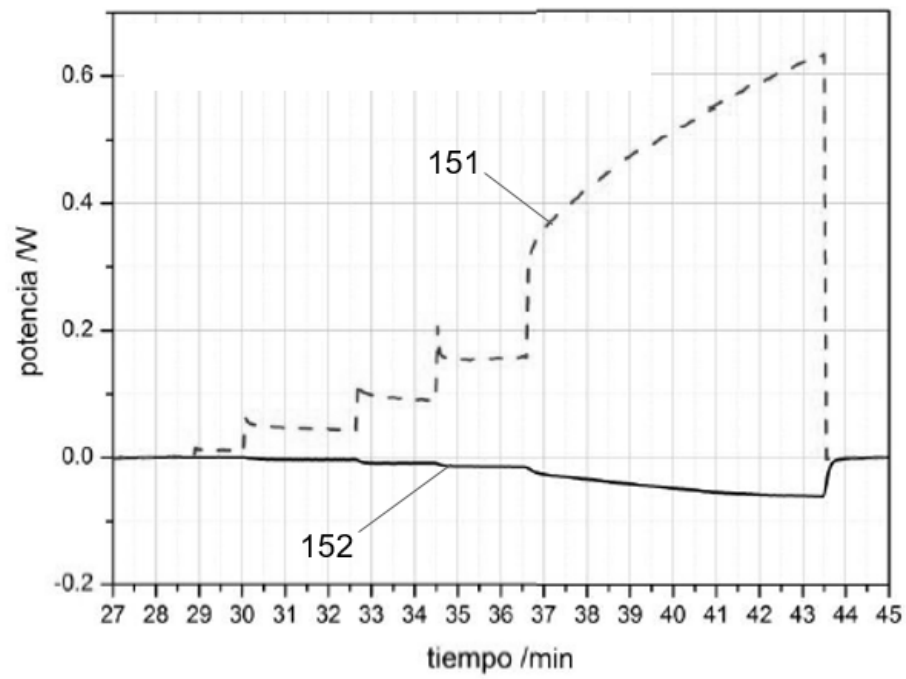


FIG. 15





- ②① N.º solicitud: 202230849
②② Fecha de presentación de la solicitud: 03.10.2022
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	US 2007141415 A1 (YANG HAI et al.) 21/06/2007; resumen; párrafos [0018, 0019, 0024, 0039-0044, 0050]; reivindicaciones 1, 2, 5, 6, 31-34; figura 1.	1-4, 8-15, 17-23
A		5-7, 16
A	EP 3979374 A1 (CENTRO DE INVESTIG ENERGETICAS MEDIOAMBIENTALES Y TECNOLOGICAS CIEMAT) 06/04/2022; resumen; párrafos [0020, 0038, 0047]; figura 2.	1-23
A	US 2014030628 A1 (MCMAHON, JOHN J.) 30/01/2014; resumen; párrafos [0054, 0061, 0066]; figura 6.	1-23
A	WO 2007091050 A1 (UNIV ST ANDREWS et al.) 16/08/2007; resumen;página 8, línea 20; figura 6.	1-23
A	WIKIPEDIA. Proton-exchange membrane fuel cells.11/11/2020 [en línea] [recuperado el 17/01/2023]. Recuperado de Internet <URL: https://web.archive.org/web/20201111234524/https://en.wikipedia.org/wiki/Proton-exchange_membrane_fuel_cell >.	1-23

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia
Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría
A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita
P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud
E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
17.01.2023

Examinador
S. Sánchez Paradinas

Página
1/2

CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

H01M8/22 (2006.01)

H01M8/18 (2006.01)

H01M8/1018 (2016.01)

H01M4/86 (2006.01)

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H01M

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, INTERNET