CÉLULA PARA FORMAR UN ELECTROLIZADOR, ELECTROLIZADOR QUE COMPRENDE TAL CÉLULA, MÉTODO PARA FABRICAR Y OPERAR UN ELECTROLIZADOR

La presente invención se refiere a una célula para formar un electrolizador, un electrolizador que comprende tal célula, y un método para fabricar y operar tal electrolizador.

Con el aumento de la demanda de alternativas a los combustibles fósiles, la demanda de hidrógeno de fuentes de energía renovables es cada vez mayor, al igual que la demanda de equipos para generar dicho hidrógeno. Hasta ahora, la mayor parte del hidrógeno se produce a partir de metano mediante el uso de reformado de metano con vapor (SMR). Los electrolizadores por naturaleza usan electricidad para dividir el agua y, por lo tanto, son la única opción para el hidrógeno verde, como también se llama el hidrógeno que se produce a partir de fuentes de energía renovables.

Los electrolizadores alcalinos (AEL) son el dispositivo común para hacerlo. Estos dispositivos comprenden una pila que se forma de diafragmas (membranas) que tienen un primer lado y un segundo lado opuesto al primer lado, primeras placas de célula que se disponen en cada primer lado de los diafragmas, que se proporcionan con un primer electrodo y con un canal de entrada para alimentar electrolito al electrodo y un primer canal de descarga para descargar oxígeno del electrodo, y segundas placas de célula, que se disponen en el segundo lado de los diafragmas, que se proporcionan con un segundo electrodo y también con un canal de entrada para alimentar electrolito al electrodo y con un segundo canal de descarga para descargar hidrógeno del electrodo.

Las alternativas a los electrolizadores alcalinos son los electrolizadores de membrana de intercambio de protones (PEM) y los electrolizadores de intercambio aniónico (AEM). Sin embargo, su producción requiere materiales escasos, especialmente metales como platino, iridio, titanio y acero inoxidable, lo que forma un cuello de botella de suministro en el mercado actual. Una restricción adicional se forma por el esfuerzo de fabricación debido a la complejidad de los dispositivos y las etapas para componerlos. Adicionalmente, la ampliación de plantas de hidrógeno en las que los electrolizadores se operan a alta presión introduce riesgos de seguridad y una mayor dificultad para satisfacer todos los estándares de seguridad.

Es un objetivo de la presente invención eliminar al menos algunas de las desventajas de las soluciones de la técnica anterior y/o proponer una alternativa útil para las células existentes y los electrolizadores equipados con las mismas. Es un objetivo adicional de la presente invención

proporcionar un método para la fabricación menos compleja de un electrolizador, y proporcionar un método para operar tal electrolizador a una escala industrial con un capital y unos gastos operativos mucho menores.

Para ello, la presente invención propone una célula para formar un electrolizador que comprende al menos un diafragma (membrana) que tiene un primer lado y un segundo lado opuesto al primer lado, una primera placa de célula, que se dispone en el primer lado del diafragma y que se proporciona con un primer electrodo y un canal de entrada para alimentar electrolito al electrodo así como también un primer canal de descarga para descargar oxígeno del electrodo, al menos una segunda placa de célula, que se dispone en el segundo lado del diafragma y que se proporciona con un segundo electrodo un canal de entrada para alimentar electrolito al electrodo y con un segundo canal de descarga para descargar hidrógeno del electrodo en donde la al menos una primera y segunda placa de célula están hechas de un material de polímero no conductor de la electricidad.

Con respecto a la presente invención, el término diafragma (membrana) se usa para indicar tanto un diafragma (que permite el paso de todos los iones, pero bloquea los gases) y/o una membrana (que solo permite de manera selectiva el paso de iones específicos, en dependencia del tipo de membrana que se haya elegido). El término material de polímero no conductor de la electricidad significa que el material plástico no se proporciona con ninguna adición que aumente la conductividad eléctrica, especialmente partículas no conductoras de la electricidad. Preferentemente, el polímero no conductor de la electricidad tiene una resistencia eléctrica infinita.

Los materiales de polímeros para las placas de células están disponibles en mayores cantidades y a menor coste que los habituales grafito, titanio o acero inoxidable. Adicionalmente, pueden formarse más fácilmente en la forma correcta de una placa de célula, especialmente con técnicas como moldeo por inyección o el conformado por rodillo y prensa o fundición de resina y se pueden incluir geometrías complejas tales como válvulas Tesla y limitadores de flujo para lograr una mejor distribución del flujo. Este método de fabricación no solo permite una producción rápida en grandes cantidades, sino que también permite producir y reproducir diseños muy detallados de las placas de célula y los canales de entrada y salida de las mismas. Otra ventaja es que permite un mayor grado de automatización de la fabricación, lo que conduce a una menor necesidad de mano de obra y, por tanto, a una reducción de los costes. Cuando se moldean por inyección, pueden obtenerse placas herméticas al gas. Estos no necesitan ninguna etapa de procesamiento adicional como el recubrimiento para aplicarse. Especialmente, no se necesita ningún postprocesamiento

para hacer que las placas sean medianamente herméticas. Otra ventaja es que una placa de célula obtenida de este modo y un electrolizador que se forma con ella son ligeros, lo que hace que la manipulación del dispositivo sea mucho más fácil y permite que lo haga una única persona. Finalmente, las propiedades de aislamiento eléctrico de los plásticos son ventajosas para la seguridad general del dispositivo y en la reducción de las corrientes de derivación.

Cuando se sueldan materiales plásticos y, en particular, materiales de polímeros, se prefieren materiales compatibles, que se originan del mismo grupo de polímeros.

El uso de un material de polímero establece límites a la temperatura de operación del electrolizador. Por ejemplo, las temperaturas de operación seguras para (algunos) polímeros de PVC-U se maximizan a 60 grados centígrados, aunque también se conocen generalmente polímeros que pueden soportar temperaturas superiores a 200 grados centígrados. Esto tiene que ver con la resistencia mecánica y la fluencia de los polímeros. No solo los de las placas de célula y/o diafragma, sino que, dado que requieren una temperatura relativamente baja, el resto del electrolizador y (parte de) su entorno también pueden formarse de polímeros. Por ejemplo, la invención permite el uso de PE o PP o PVC (tuberías) regulares.

Los electrolizadores de acuerdo con el estado de la técnica, normalmente se operan a la presión más alta que permiten mecánicamente. Esto se debe a que, como siguiente etapa, el hidrógeno a menudo se comprime para su almacenamiento o transporte. Cuanto mayor sea la presión a la que se suministra, más eficiente será la etapa de compresión adicional.

Sin embargo, un plástico termoplástico (usado para moldeo por inyección) se vuelve más plástico cuando su temperatura aumenta. Si adicionalmente, cuando se aplica una fuerza a altas temperaturas, el polímero puede comenzar a arrastrarse y deformarse. Por esta razón, de acuerdo con la presente invención, el electrolizador se opera a una presión relativamente baja.

Por lo tanto, la presión puede mantenerse más abajo de varios bares. Una presión de operación máxima de 0.5 bar(g) (1.5 bar absoluto) proporciona la ventaja de que la Directiva de Equipos a Presión (PED) no es aplicable, lo que permite más libertad en el diseño y las partes, y elimina la necesidad de exigir a un Organismo Notificado (NOBO) que emita un certificado, lo que hace que la invención sea adecuada para la producción a gran escala y el despliegue rápido.

Una segunda ventaja de esta baja presión que implica el uso de materiales plásticos es la eficiencia energética de un proceso de electrólisis, que es más favorable a baja presión. Entonces requiere menos energía (kWh/kg de H2 producido). Además, el cruce de gases es menor (O2 se difunde

hacia el lado del H2, y viceversa). La difusión es una función de la presión parcial de los gases a ambos lados de la membrana/diafragma. Cuanto mayor sea la diferencia de presión parcial, más rápido será el proceso de difusión. Si a presión atmosférica el flujo de un gas a través de un diafragma o membrana es x mol/s.m2, entonces a 30 bar el flujo es aproximadamente 30 veces x.

La baja presión da como resultado un menor contenido de O2 en el H2 producido (típicamente 0.1-0.4 %). Dado que el O2 puede necesitar eliminarse aguas abajo (purificación) al permitir que el O2 reaccione catalíticamente con el H2 producido (una unidad denominada desoxidante), la operación a baja presión minimiza esta etapa. En los sistemas de la técnica anterior, para eliminar el 0.4 % de O2 en forma de H2O, es necesario sacrificar el 0.8 % del H2 producido. Esta pérdida de eficiencia a lo largo de la cadena se minimiza mediante la presente invención.

En una modalidad preferida, el diafragma para separar ambos lados también se hace de un material de polímeros poroso, y en particular del mismo material de polímeros.

Esto aumenta las ventajas de que las placas de células se hagan a partir de un material de polímeros, pero también permite soldar las placas de células y el diafragma entre sí, en particular por medio de soldadura térmica, ultrasónica o por vibración. Para ello, las placas de células y el diafragma pueden proporcionarse con superficies rugosas, al menos en aquellas ubicaciones donde deben adherirse entre sí. El diafragma es poroso para permitir la saturación con el electrolito, que es el portador de los iones hidróxido (que a su vez son el portador de los electrones). Alternativamente, puede aplicarse un diafragma/membrana que se fija dentro de un bastidor de polímero del mismo tipo de polímero que la placa de célula para facilitar la soldadura.

El diafragma saturado actúa como una barrera que mantiene separados el oxígeno y el hidrógeno. Cuando el diafragma está completamente saturado con electrolito, los gases solo pueden difundirse al otro lado a través de la fase electrolítica, es decir, al disolverse en el fluido, la difusión a través del fluido y al evolucionar a la fase gaseosa al otro lado.

Evidentemente, los electrodos de las placas de células deben ser de un material conductor de la electricidad, de manera que un metal, tal como níquel, o aleaciones de níquel que incluyen tipos de acero inoxidable, sea el más directo. De acuerdo con la presente invención, las placas de células comprenden electrodos bipolares. Una placa de célula forma entonces una primera placa de célula para un diafragma adyacente a su primer lado y una segunda placa de célula para un diafragma en su segundo lado, y que comprende un primer canal de descarga para descargar oxígeno del

electrodo unipolar en su primer lado y un segundo canal de descarga para descargar hidrógeno del electrodo bipolar en su segundo lado.

Eso también significa que un electrodo forma un cátodo para una célula que forma con un diafragma en su primer lado, y un ánodo para una placa de célula que forma con una célula en su segundo lado. El ánodo es el lado que es adyacente al primer lado del diafragma, el cátodo es el lado que se dispone en el segundo lado del diafragma. Dicho electrodo bipolar puede formarse por un material del electrodo que se extiende desde un primer lado de la placa de célula hasta un segundo lado, el material del electrodo cubre al menos parcialmente la placa de célula en ambos lados. En otras palabras, la placa de célula está cubierta en ambos lados con el material del electrodo o intercalada entre el material del electrodo. El material del electrodo puede en una modalidad preferida doblarse alrededor de un borde del material de la placa de célula, o alternativamente doblarse alrededor de dos bordes opuestos y tener una costura en un lado de la placa de célula. Este último método reduce la resistencia óhmica del transporte de corriente desde un lado de la placa de célula al otro.

Los electrodos pueden mejorarse electroquímicamente mediante la aplicación de capas catalizadoras superficiales. Las capas catalizadoras pueden ser de un tipo diferente para mejorar específicamente la HER (reacción de evolución del hidrógeno) y la OER (reacción de evolución del oxígeno).

Alternativamente, el electrodo bipolar puede ser de dos aleaciones metálicas diferentes que se fijan juntas (conductoras de electricidad) en un punto donde se doblan alrededor de la placa de célula.

Además, el material del electrodo está en una modalidad preferida perforado y el electrodo se coloca directamente contra el diafragma para formar una configuración de espacio cero. Estos electrolizadores se denominan de "espacio cero" porque prácticamente no hay espacio entre los cátodos, ánodos y el diafragma (membrana). De esta manera, se evita la acumulación de hidrógeno u oxígeno entre el electrodo y el diafragma, que bloquea el proceso de electrólisis, debido a la naturaleza porosa de los electrodos.

Sin embargo, el material del electrodo puede estar acanalado para aumentar el área superficial efectiva y crear canales para guiar el drenaje de hidrógeno y oxígeno. Se ha demostrado que estos electrodos acanalados o en zig-zag aumentan la eficiencia del electrolizador. Esto se debe a que la superficie efectiva es mayor en comparación con un electrodo plano y los canales que se forman exhiben un efecto chimenea, lo que facilita así la rápida descarga vertical de los gases que se

forman. Una ventaja adicional es que proporciona resistencia al electrodo y/o a la placa de célula. Otra ventaja es que la naturaleza acanalada compensa las diferencias en los coeficientes mecánicos de expansión térmica de los materiales de polímero y metal (electrodo). Aún una ventaja adicional es que la forma acanalada o en zig-zag garantiza la integridad constructiva durante el proceso de fabricación, y en particular durante la soldadura por vibración.

En aún una modalidad preferida adicional, la placa de célula se proporciona con un dispositivo de distribución de flujo para distribuir el electrolito suministrado de manera más uniforme sobre el ancho de la célula. Tal dispositivo de distribución de flujo puede comprender un número de canales que conducen hacia el electrodo y compensan la diferencia en la longitud de la trayectoria con una diferencia adecuada en el ancho del canal. También puede consistir en elementos que inducen la caída de presión en la trayectoria de flujo que también dan como resultado una distribución más uniforme del flujo de electrolito sobre el ancho de la célula. También puede consistir de elementos direccionales de flujo tales como las válvulas Tesla. Combinado con el efecto chimenea de los canales verticales en los acanalados, esto asegura una distribución uniforme del flujo del ancho total de la célula sin acumulación de bolsas de gas que pueden bloquear áreas de los electrodos.

Además, el diafragma puede formarse por medio de moldeo por inyección, fundición de resina, mecanizado, pero alternativamente puede formarse a partir de un polímero sinterizado. Con este método, un resultado poroso, como se requiere para el diafragma, se obtiene automáticamente, y ha aparecido que sus propiedades con aberturas de 50 micras hasta un tamaño submicrónico pueden reproducirse muy bien. Además, requiere menos compuestos raros que los diafragmas comunes comercializados como Zirfon.

La invención también se refiere a un electrolizador que comprende un conjunto de múltiples células compuesto por las células descritas anteriormente, en donde se alternan placas bipolares y diafragmas.

El número de células puede seleccionarse de manera que el peso total, que incluye la placa de cabeza y cola, sea inferior a 22 kg, que es un peso máximo que puede llevar un hombre de acuerdo con las regulaciones de salud y seguridad (holandés actual). Esto se hace posible en particular mediante el uso de técnicas de fabricación de plásticos de pared delgadas, que permiten una zona de reacción (la pila de placas y membranas de células) con bajo peso y, por lo tanto, permite alojar una pila de más elementos en el mismo volumen.

Específicamente, se ha vuelto factible fabricar un dispositivo de electrólisis con una carcasa que tiene menos de 850 mm de longitud, lo que permite colocar dos de ellos a ambos lados en un contenedor con un pasillo central.

El dispositivo de electrólisis puede comprender un dispositivo de ventilación para ventilar el exterior de las células. Preferentemente, la presión del hidrógeno producido en las células es relativamente baja y comparable con la presión ambiental. En caso de una fuga accidental, cuando el hidrógeno escapa del electrolizador de manera incontrolada, su concentración siempre puede mantenerse por debajo del requisito de seguridad (holandés actual) LEL (Límite de explosión inferior) del 4 % en volumen al garantizar un régimen de flujo de ventilación que siempre es un mínimo de 25 veces mayor que el régimen de flujo máximo anticipado de fuga de hidrógeno.

La invención también se refiere a un método de fabricación de un electrolizador que comprende proporcionar una primera placa de célula en el primer lado de un diafragma, una segunda placa de célula en un segundo lado del diafragma, en donde la al menos una primera y segunda placas de célula están hechas de material de polímeros, y unir la primera y segunda placas de célula al diafragma mediante soldadura térmica, ultrasónica o por vibración.

La invención se refiere además a un método para operar un dispositivo como se reivindicó en una cualquiera de las reivindicaciones 1-10, que comprende operar el dispositivo bajo una presión entre 1 y 1.5 bar, aunque son posibles presiones más altas.

La invención también se refiere a un método para operar un dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-10, que comprende operar el dispositivo a una temperatura entre la temperatura ambiente y preferentemente 60 grados centígrados, aunque son posibles temperaturas más altas en dependencia de la elección de polímeros.

La invención se explicará ahora con más detalle con referencia a los siguientes dibujos. En la presente descripción:

– La Figura 1 muestra una vista en perspectiva de una placa de célula de acuerdo con la invención;

– La Figura 2 muestra una sección transversal de un electrolizador que comprende múltiples placas de células y diafragmas de acuerdo con la invención; y

– La Figura 3 muestra un flujo medio esquemático a través de un electrolizador de acuerdo con la invención.

La Figura 1 muestra una vista en perspectiva de una placa de célula 1 de acuerdo con la invención que comprende un primer electrodo 2, que se proporciona con un canal de entrada 3 para suministrar o drenar electrolito hacia o desde el electrodo y que se proporciona con un primer canal de descarga 4 para descargar oxígeno del electrodo, que se dispone en su primer lado A. El lado A también se denomina lado de oxígeno o primer lado. La placa de célula está hecha de un material de polímeros, y el electrodo 2 es un electrodo bipolar como resultado del material del electrodo que se extiende desde un primer lado A de la placa de célula hasta un segundo lado B, el material del electrodo 2 cubre al menos parcialmente la placa de célula 1 en ambos lados, y en donde cada placa de célula forma una primera placa de célula para un diafragma adyacente a su primer lado y una segunda placa de célula para un diafragma en su segundo lado. En el segundo lado B, se proporciona un canal similar para descargar hidrógeno desde el electrodo (no visible), al igual que un canal de entrada para suministrar o drenar electrolito hacia o desde el electrodo. Como es visible, el material del electrodo 2 está acanalado para aumentar el área superficial efectiva y crear los canales 5 para la eliminación de hidrógeno y oxígeno. Estos acanalados pueden ser de cualquier forma, tal como triangular, rectangular pero preferentemente sinusoidal. La placa de célula se proporciona con un dispositivo de distribución de flujo para distribuir el electrolito suministrado.

La Figura 2 muestra una pila 2 de células que comprenden placas de células 1 y diafragmas 6 de acuerdo con la invención, en donde se alternan las placas bipolares 1 y los diafragmas 6. Los diafragmas 6 también se hacen de un material de polímero, y las placas de célula y el diafragma se sueldan entre sí por medio de soldadura térmica, ultrasónica o por vibración. Los electrodos 1 se colocan directamente contra los diafragmas 6 para formar un sistema de espacio semicero.

La Figura 3 muestra un flujo medio esquemático 7 a través de un electrolizador de acuerdo con la invención. La Figura muestra que hay un flujo de recirculación de electrolito separado de los separadores de oxígeno y de hidrógeno gas/líquido 8, 9 como se muestra esquemáticamente en la Figura. El separador de oxígeno gas/líquido se acopla a las primeras placas de célula de cada diafragma. Esto da el cruce más bajo de los gases (disueltos) de oxígeno e hidrógeno. Sin embargo, se induce un desequilibrio en la concentración de electrolito en ambos circuitos porque el agua desaparece en el lado del hidrógeno, que aparece de la fórmula:

$$4\ H_2O + 4\ e^- \rightarrow 2\ H_2 + 4\ OH^-$$

El OH- migra al lado del oxígeno para reaccionar más allí:

$$4\ H_2O + 4\ e^- \rightarrow 2\ H_2 + 4\ OH^-$$

Por lo tanto, se consumen 4 H_2O en el lado del hidrógeno (lado del cátodo o segunda placa de célula vista desde un diafragma) y se forman 2 H_2O en el lado del oxígeno, y eso da 2 H_2 en el lado del hidrógeno y 1 02 en el lado del oxígeno (lado del ánodo o primera placa de célula vista desde un diafragma).

Para que el electrolito vuelva a estar equilibrado en términos de concentración, los flujos de electrolito deben mezclarse periódicamente 10. Con la mezcla 10 se obtiene un mayor cruce de gases porque una solución de O_2 saturada se mezcla con una solución saturada de H_2. Por lo tanto, esto debe hacerse lo más breve posible y los flujos se mantienen separados siempre que sea posible. Para adaptarse a ambas situaciones, las pilas de placas de célula y diafragmas tienen entradas de electrolito separadas para los lados de O_2 y H_2 de las células.

Las modalidades descritas anteriormente son solo ejemplos y no limitan en modo alguno el alcance de la protección de la invención tal como se define en las reivindicaciones siguientes.

REIVINDICACIONES

1. La célula para formar un electrolizador que comprende:

– al menos un diafragma o membrana que tiene un primer lado y un segundo lado opuesto al primer lado;

– una primera placa de célula;

  - que se dispone en el primer lado del diafragma;
  - que se proporciona con un primer electrodo;
  - que se proporciona con un canal de entrada para suministrar o drenar electrolito hacia o desde el electrodo;
  - que se proporciona con un primer canal de descarga para descargar oxígeno del electrodo;

– Al menos una segunda placa de célula,

  - que se dispone en el segundo lado del diafragma;
  - que se proporciona con un segundo electrodo;
  - que se proporciona con un canal de entrada para suministrar o drenar electrolito hacia o desde el electrodo;
  - o que se proporciona con un segundo canal de descarga para descargar hidrógeno del electrodo;

caracterizada porque

– la al menos una primera y segunda placa de células están hechas de un material de polímero no conductor de la electricidad.

2. La célula de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el diafragma también se hace de un material de polímero poroso, en donde las placas de célula y el diafragma se sueldan entre sí, en particular por medio de soldadura térmica, ultrasónica o por vibración, en particular de manera que se realiza una conexión electroquímica y hermética a las fugas de gas que rodea la entrada opuesta y los canales de descarga opuestos.

3. La célula de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las placas de célula comprenden electrodos bipolares que se forman por un material de electrodo que se extiende desde un primer lado.

4. La célula de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el material del electrodo se perfora y en donde el electrodo se coloca directamente o muy cerca contra el diafragma para formar un sistema de espacio semicero.

5. La célula de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el material del electrodo está acanalado para aumentar el área superficial efectiva y crear los canales para la eliminación de hidrógeno y oxígeno.

6. La célula de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la placa de célula se proporciona con un dispositivo de distribución de flujo para distribuir el electrolito suministrado.

7. La célula de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que se fabrica por medio de moldeo por inyección o rodillo y prensa o fundición de resina.

8. La célula de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el diafragma se forma a partir de un polímero sinterizado.

9. Un electrolizador que comprende un conjunto de múltiples células de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde se alternan las placas bipolares y los diafragmas.

10. Un dispositivo de electrólisis de acuerdo con la reivindicación 9, en donde el número de células se selecciona de manera que el peso total sea inferior a 22 kg.

11. Un dispositivo de electrólisis de acuerdo con la reivindicación 9 o 10, que comprende un dispositivo de ventilación para ventilar un espacio que rodea las células.

12. Un método de fabricación de un electrolizador que comprende la etapa de proporcionar una primera placa de célula en el primer lado de un diafragma, una segunda placa de célula en un segundo lado del diafragma, en donde la al menos una primera y segunda placas de célula

están hechas de material de polímeros, y unir la primera y segunda placas de célula al diafragma (membrana) mediante soldadura térmica, ultrasónica o por vibración.

13. Un método para operar un dispositivo como se reivindicó en una cualquiera de las reivindicaciones 1-0, que comprende operar el dispositivo bajo una presión entre 1 y 1.5 bar absolutos.

14. Un método para operar un dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-9, que comprende operar el dispositivo a una temperatura entre ambiente y 132 grados centígrados y a presiones entre 1-30 bar absolutos.

RESUMEN

La célula para formar un electrolizador que comprende al menos un diafragma o membrana que tiene un primer lado y un segundo lado opuesto al primer lado, una primera placa de célula, que se dispone en el primer lado del diafragma, que se proporciona con un primer electrodo, que se proporciona con un canal de entrada para suministrar o drenar electrolito hacia o desde el electrodo, que se proporciona con un primer canal de descarga para descargar oxígeno desde el electrodo, al menos una segunda placa de célula, que se dispone en el segundo lado del diafragma, que se proporciona con un segundo electrodo y que se proporciona con un segundo canal de descarga para descargar hidrógeno desde el electrodo en donde la al menos una primera y segunda placas de célula están hechas de un material de polímero.