

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 643 439**

51 Int. Cl.:

H01M 8/0271 (2006.01)
H01M 8/00 (2006.01)
H01M 8/0202 (2006.01)
H01M 8/1018 (2006.01)
H01M 8/248 (2006.01)
H01M 8/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.02.2014 PCT/US2014/018996**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.09.2014 WO14134295**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.02.2014 E 14712412 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.08.2017 EP 2962349**

54 Título: **Celda electroquímica que tiene una configuración de sello en cascada y recuperación de hidrógeno**

30 Prioridad:
28.02.2013 US 201361770538 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.11.2017

73 Titular/es:
**NUVERA FUEL CELLS, LLC (100.0%)
129 Concord Road, Building 1
Billerica, MA 01821, US**

72 Inventor/es:
**DOMIT, EDWARD;
BLANCHET, SCOTT;
VAN BOEYEN, ROGER y
BEVERAGE, KEVIN**

74 Agente/Representante:
SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 643 439 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Celda electroquímica que tiene una configuración de sello en cascada y recuperación de hidrógeno

Esta solicitud reivindica el beneficio de la solicitud provisional estadounidense No. 61/770,538, presentada el 28 de febrero de 2013.

5 Campo técnico

La presente divulgación está dirigida a una celda electroquímica y más específicamente a una celda electroquímica que tiene una configuración de sello en cascada y está configurada para recuperación de hidrógeno.

Antecedentes

10 Las celdas electroquímicas que usualmente se clasifican como celdas de combustible o celdas de electrólisis son dispositivos que se usan para generar corriente a partir de reacciones químicas o para inducir una reacción química usando un flujo de corriente. Una celda de combustible convierte la energía química de un combustible (por ejemplo hidrógeno, gas natural, metanol, gasolina, etc.) y un oxidante (aire u oxígeno) en electricidad y productos residuales de calor y agua. Una celda de combustible básica comprende un ánodo cargado negativamente, un cátodo cargado positivamente y un material que conduce iones y que se llama electrólito.

15 Diferentes tecnologías de celda de combustible utilizan diferentes materiales de electrólito. Una celda de combustible de membrana de intercambio de protones (PEM), por ejemplo, utiliza una membrana polimérica conductora de iones en calidad de electrólito. En una celda de combustible PEM de hidrógeno, los átomos de hidrógeno pueden disociarse electroquímicamente en electrones y protones (iones de hidrógeno) en el ánodo. Los electrones fluyen a través del circuito hacia el cátodo y generan electricidad, mientras que los protones se difunden a través de la membrana de electrólito hacia el cátodo. En el cátodo, los protones de hidrógeno pueden reaccionar con electrones y oxígeno (suministrado al cátodo) para producir agua y calor.

20 Una celda de electrólisis representa una celda de combustible que se opera a la inversa. Una celda de electrólisis básica puede funcionar como un generador de hidrógeno descomponiendo agua en hidrógeno y oxígeno gaseosos cuando se aplica un potencial eléctrico externo. La tecnología básica de una celda de combustible de hidrógeno o una celda de electrólisis puede aplicarse a la manipulación electroquímica de hidrógeno, tal como la compresión, compresión, purificación o expansión electroquímicas de hidrógeno.

25 Un compresor electroquímico de hidrógeno (EHC), por ejemplo, puede usarse para transferir selectivamente hidrógeno desde un lado de una celda a otro. Un EHC puede comprender una membrana de intercambio de protones en sándwich entre un primer electrodo (es decir, un ánodo) y un segundo electrodo (es decir, un cátodo). Un gas que contiene hidrógeno puede contactar el primer electrodo y puede aplicarse una diferencia de potencial eléctrico entre el primero y el segundo electrodo. En el primer electrodo, las moléculas de hidrógeno pueden oxidarse y la reacción puede producir dos electrones y dos protones. Los dos protones son impulsados electroquímicamente a través de la membrana al segundo electrodo de la celda, donde se unen de nuevo por dos electrones redirigidos y se reducen para formar una molécula de hidrógeno. Las reacciones que tienen lugar en el primer electrodo y en el segundo electrodo pueden expresarse con ecuaciones químicas, tal como se muestra a continuación.

Reacción de oxidación del primer electrodo: $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$

Reacción de reducción del segundo electrodo: $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$

Reacción electroquímica total: $H^2 \rightarrow H_2$

30 Los EHCs que operan de esta manera a veces se denominan bombas de hidrógeno. Cuando el hidrógeno acumulado en el segundo electrodo se restringe a un espacio confinado, la celda electroquímica comprime el hidrógeno o eleva la presión. La presión máxima o velocidad de flujo que una celda individual es capaz de producir puede limitarse con base en el diseño de la celda.

35 Para lograr compresión mayor o una presión más alta, pueden conectarse celdas múltiples en serie para formar un EHC de múltiples etapas. En un EHC de múltiples etapas, la ruta de flujo del gas puede configurarse, por ejemplo, de modo que el gas de salida comprimido de la primera celda puede ser el gas de entrada de la segunda celda. De modo alternativo, las celdas de etapa individual pueden conectarse en paralelo para incrementar la capacidad de rendimiento (es decir, velocidad de flujo total de gas) de un EHC. En un EHC tanto de etapa individual como de etapas múltiples las celdas pueden apilarse y cada celda puede incluir un cátodo, una membrana de electrólito y un ánodo. Cada montaje de cátodo/membrana/ánodo constituye un "montaje de electrodo de membrana", o "MEM", que normalmente está soportado en ambos lados por placas bipolares. En adición a un suministro de soporte mecánico, las placas bipolares separan físicamente las celdas individuales en una pila mientras que las conecta eléctricamente. Las placas bipolares también actúan como colectores/conductores, y proporcionan canales para el combustible. Típicamente, las placas

bipolares están hechas de metales, por ejemplo acero inoxidable, titanio, etc., y de conductores eléctricos no metales, por ejemplo, grafito.

5 La manipulación electroquímica de hidrógeno ha surgido como una alternativa viable a los sistemas mecánicos que se han usado tradicionalmente para el manejo del hidrógeno. La comercialización exitosa del hidrógeno como portador de energía y sostenibilidad a largo plazo de una "economía de hidrógeno" depende en gran parte de la eficiencia y de la efectividad en costes de las celdas de combustible, celdas de electrólisis y otros sistemas de manipulación/manejo de hidrógeno (es decir, EHCs). El hidrógeno gaseoso es una forma conveniente y común de almacenamiento de energía, usualmente mediante contención presurizada. De manera ventajosa, almacenar hidrógeno a alta presión produce alta densidad de energía.

10 La compresión mecánica es un medio tradicional para lograr compresión. Sin embargo, existen desventajas a la compresión mecánica. Por ejemplo, el uso de energía sustancial, el desgaste y la rasgadura de partes, el ruido excesivo, el equipo voluminoso y el debilitamiento del hidrógeno. La presurización mediante ciclos térmicos es una alternativa a la compresión mecánica pero como en la compresión mecánica, el uso de energía es sustancial. En contraste, la compresión electroquímica es silenciosa, escalable, modular y puede lograr alta eficiencia energética.

15 Un reto para la compresión electroquímica de hidrógeno es la preocupación por la seguridad respecto del gas hidrógeno presurizado. El hidrógeno gaseoso es extremadamente inflamable y a presión alta el hidrógeno gaseoso plantea problemas de seguridad. Una preocupación mayor puede incluir las fugas o la liberación no intencionada de gas a alta presión desde el compresor electroquímico. Una liberación catastrófica puede generar un riesgo de seguridad.

20 Además, incluso una pequeña fuga que puede no crecer al nivel de una preocupación significativa de seguridad, reduce no obstante la eficiencia del compresor electroquímico. Por lo tanto, existe una necesidad de impedir o reducir la fuga de hidrógeno.

25 La publicación US-A1-2009/0075134 se refiere a una pila de celdas de combustible que comprende un segundo conjunto separador metálico para tener una dimensión externa más grande que un primer separador metálico, en cuyo caso el segundo separador metálico comprende, formado integralmente, un primer miembro de sello en contacto con el borde periférico de una primera estructura de membrana de electrólito/electrodo, un segundo miembro de sello en contacto con el borde periférico del primer separador metálico y un tercer miembro de sello en contacto con el borde periférico de un cuarto separador metálico colindante.

Resumen

30 En consideración de las circunstancias antes mencionadas, la presente divulgación se dirige a una celda electroquímica que tiene una configuración de sello en cascada, construida para limitar la fuga no intencionada de hidrógeno desde la celda. Adicionalmente, la configuración de sello en cascada puede permitir la recolección y el reciclaje del hidrógeno fugado desde la celda.

Un aspecto de la presente divulgación se dirige a una celda electroquímica tal como se expone en la reivindicación 1.

35 En otra forma de realización, la celda electroquímica puede comprender además un tercer sello que define una zona de baja presión, configurada para contener un tercer fluido dentro de la zona de baja presión, en cuyo caso el segundo sello se configura para filtrar el segundo fluido a la zona de baja presión cuando se retira el segundo sello. En otra forma de realización, el primer sello puede contenerse dentro del segundo sello y el segundo sello se contiene con el tercer sello. En otra forma de realización, el primer fluido puede estar a una presión más alta que el segundo fluido y el segundo fluido se encuentra a una presión más alta que el tercer fluido. En otra forma de realización, el primer sello, el segundo sello y el tercer sello pueden tener una sección transversal generalmente rectangular.

40 En otra forma de realización, el grosor del tercer sello puede ser más grande que el del segundo sello y el grosor del segundo sello es más grande que el del primer sello. En otra forma de realización, el primer sello, el segundo sello y el tercer sello pueden tener una sección transversal generalmente circular. En otra forma de realización, el primer fluido puede ser hidrógeno a alta presión, el segundo fluido puede ser hidrógeno a presión más baja y el tercer fluido puede ser un fluido refrigerante. En otra forma de realización, el tercer fluido puede ser nitrógeno y la zona de baja presión incluye una manta de nitrógeno que rodea la celda electroquímica, configurada para detectar una fuga de al menos uno del primer fluido y del segundo fluido desde dentro de la celda electroquímica. En otra forma de realización, la presión del tercer fluido puede ser monitoreada, y un incremento en la presión indica el retiro de al menos el segundo sello.

45 En otra forma de realización, la celda electroquímica puede configurarse para apagarse antes que el tercer fluido alcance una presión a la cual se retire el tercer sello. En otra forma de realización, el primer sello, el segundo sello y el tercer sello dentro del par de placas bipolares pueden configurarse para permanecer en su sitio previniendo la fuga del primer fluido, del segundo fluido y del tercer fluido cuando una fuerza de cierre que se aplica al par de placas bipolares es más grande que la fuerza de abertura dentro del par de placas bipolares. En otra forma de realización, el primer sello puede configurarse para retirarse antes que el segundo sello o el tercer sello, lo que causa que el primer fluido se filtre más allá del primer sello a la zona de presión intermedia cuando una fuerza de cierre que se aplica al par de placas

bipolares se aproxima a una fuerza de abertura dentro del par de placas bipolares, lo cual causa una primera separación del par de placas bipolares. En otra forma de realización, el segundo sello puede configurarse para retirarse, lo que causa que el segundo fluido se filtre más allá del segundo sello hacia la zona de baja presión cuando la fuerza de cierre sigue aproximándose a la fuerza de abertura, lo que causa una segunda separación del par de placas bipolares.

5 En otra forma de realización, el primer fluido que se filtra a la zona de presión intermedia se combina con el segundo fluido y puede reciclarse. En otra forma de realización, el segundo fluido se filtra a la zona de presión baja y el segundo fluido se combina con el tercer fluido y fluye fuera de la celda electroquímica y puede recuperarse. En otra forma de realización, la celda electroquímica puede configurarse para recibir una fuerza de cierre aplicada al par de placas bipolares, en cuyo caso la fuerza de cierre es ajustable durante la operación de la celda electroquímica con base en la presión de la zona de presión baja, la zona de presión intermedia y la zona de presión alta. En otra forma de realización, la celda electroquímica puede comprender además un par de sellos secundarios, localizados afuera del primer sello y dentro del segundo sello, en cuyo caso el par de sellos secundarios definen dos zonas secundarias de alta presión en comunicación fluida con la zona de presión alta. En otra forma de realización, al menos una de las placas bipolares puede incluir una pluralidad de componentes y utiliza una configuración de sello en cascada entre la pluralidad de componentes.

En un ejemplo, una celda electroquímica comprende: un par de placas bipolares y un montaje de electrodo de membrana que se localiza entre el par de placas bipolares, una zona de alta presión localizada entre las placas bipolares que contienen un primer fluido; una zona de presión intermedia localizada entre las placas bipolares que contienen un segundo fluido; y una zona de baja presión que contiene un tercer fluido; en cuyo caso la celda electroquímica se configura para hacer transición entre una primera configuración, una segunda configuración y una tercera configuración con base en al menos una fuerza entre la fuerza de cierre aplicada a las placas bipolares y la fuerza de abertura producida por una presión de al menos uno entre el primer fluido, el segundo fluido y el tercer fluido.

En otro ejemplo, la primera configuración puede proporcionar sustancialmente que no haya fuga de fluido entre la zona de alta presión, las zonas de presión intermedia y la zona de baja presión; la segunda configuración puede proporcionar que haya fuga de una porción del primer fluido desde la zona de alta presión a la zona de presión intermedia; y la tercera configuración puede proporcionar que haya fuga de una porción del primer fluido desde la zona de alta presión a la zona de presión intermedia y fuga de una porción del segundo fluido desde la zona de presión intermedia a la zona de baja presión. En otro ejemplo, la celda electroquímica puede comprender además un aparato de recuperación de hidrógeno en comunicación fluida con la zona de baja presión de la celda electroquímica, en cuyo caso el aparato de recuperación de hidrógeno está configurado para recuperar la porción del segundo fluido filtrado a la zona de baja presión y reintroduce el segundo fluido recuperado a la zona de presión intermedia de la celda electroquímica.

En otro ejemplo, puede monitorearse la presión del tercer fluido en la zona de baja presión y un incremento en la presión del tercer fluido involucra el aparato de recuperación de hidrógeno. En otro ejemplo, la zona de alta presión puede estar contenida dentro de la zona de presión intermedia y la zona de presión intermedia puede estar contenida dentro de la zona de baja presión. En otro ejemplo, la celda electroquímica puede comprender además un primer sello configurado para contener el primer fluido en la zona de presión alta, un segundo sello configurado para contener el segundo fluido en la zona de presión intermedia, y un tercer sello configurado por contener el tercer fluido en la zona de presión baja. En otro ejemplo, la segunda configuración puede incluir una primera separación entre las placas bipolares y la tercera configuración incluye una segunda separación mayor a la primera separación entre las placas bipolares.

Otro aspecto de la presente divulgación se dirige a un método para afinar la fuerza de cierre de una celda electroquímica que tiene una configuración de sello en cascada y el método comprende: proporcionar una celda electroquímica que tiene una pluralidad de sellos en una configuración de sello en cascada; aplicar una fuerza de cierre inicial a la celda electroquímica con base en la presión de operación esperada; operar la celda electroquímica; monitorear la presión de la celda electroquímica; y ajustar la fuerza de cierre aplicada a la celda electroquímica con base en la presión monitoreada.

En otro ejemplo, una placa bipolar para una celda electroquímica comprende al menos dos componentes, un primer sello que define una zona de presión alta, en la cual el primer sello se localiza entre los componentes y se configura para contener un primer fluido dentro de la zona de alta presión, un segundo sello que define una zona de presión intermedia que comprende volumen de presión intermedia y puertos de presión intermedia, en cuyo caso el segundo sello se localiza entre los componentes y se configura para contener un segundo fluido dentro de la zona de presión intermedia, y el primer sello se configura para filtrar el primer fluido a la zona de presión intermedia cuando el primer sello falla y el primer fluido puede recolectarse en el volumen de presión intermedia y se descarga desde los puertos de presión intermedia.

En otro ejemplo, una celda electroquímica comprende un par de placas bipolares y un montaje de electrodo de membrana que se localiza entre el par de placas bipolares y una primera configuración de sello en cascada entre el par de placas bipolares, en cuyo caso cada placa bipolar comprende al menos dos componentes y una segunda configuración de sello en cascada entre los al menos dos componentes.

Debe entenderse que tanto la descripción general anterior como la descripción detallada siguiente son ejemplares y explicar días solamente y no son restrictivas de la divulgación, tal como se reivindica.

Breve descripción de los dibujos

5 Los dibujos acompañantes que se incorporan y constituyen una parte de esta especificación ilustran formas de realización de la presente divulgación y junto con la descripción sirven para explicar los principios de la divulgación.

FIG. 1 es una vista lateral de parte de una celda electroquímica que muestra diversos componentes de una celda electroquímica.

FIG. 2A es una vista frontal de parte de una celda electroquímica que muestra los diversos sellos y zonas de presión de la celda, de acuerdo con una forma ejemplar de realización.

10 FIG. 2B es una vista frontal de una parte de una celda electroquímica que muestra los diversos sellos y la zona de presión de la celda, de acuerdo con una forma ejemplar de realización.

FIG. 3A es una vista de corte transversal de parte de una celda electroquímica, de acuerdo con una forma ejemplar de realización.

15 FIG. 3B es una vista de corte transversal de parte de una celda electroquímica que muestra diversas fuerzas, de acuerdo con una forma ejemplar de realización.

FIG. 4A es una vista de corte transversal de parte de una celda electroquímica que muestra una primera configuración, de acuerdo con una forma ejemplar de realización

FIG. 4B es una vista de corte transversal de parte de una celda electroquímica que muestra una segunda configuración, de acuerdo con una forma ejemplar de realización.

20 FIG. 4C Es una vista de corte transversal de parte de una celda electroquímica que muestra una tercera configuración, de acuerdo con una forma ejemplar de realización.

FIG. 5 es un diagrama esquemático que muestra un sistema electroquímico de recuperación de hidrógeno, de acuerdo con una forma ejemplar de realización.

25 FIG. 6 es un diagrama de flujo que ilustra un método para controlar la presión dentro de una celda electroquímica, de acuerdo con una forma ejemplar de realización.

FIG. 7 es una vista frontal de parte de una celda electroquímica que muestra los diversos sellos y zonas de presión de la celda, de acuerdo con otra forma de realización.

FIG. 8 es una vista isométrica de una placa bipolar de dos piezas, de acuerdo con una forma ejemplar de realización.

Descripción de las formas de realización

30 Ahora se hará referencia en detalle a las presentes formas ejemplares de realización de la presente divulgación, cuyos ejemplos se ilustran en los dibujos acompañantes. Cuando es posible, los mismos números de referencia se usarán en todos los dibujos para referirse a las mismas partes o similares. Aunque se describe en relación con una celda electroquímica que emplea hidrógeno, se entiende que los dispositivos y métodos de la presente divulgación pueden emplearse con diversos tipos de celdas de combustible y celdas electroquímicas que incluyen, pero no se limitan a celdas de electrólisis, purificadores de hidrógeno, expansores de hidrógeno y compresores de hidrógeno.

35 La FIG. 1 muestra una vista lateral despiezada de una celda electroquímica 100, de acuerdo con una forma ejemplar de realización. La celda electroquímica 100 puede comprender un ánodo 110, un cátodo 120 y una membrana de intercambio de protones (PEM) 130 dispuesta entre el ánodo 110 y el cátodo 120. El ánodo 110, el cátodo 120 y la PEM 130 combinados pueden comprender un montaje de electrodo de membrana (MEM) 140. La PEM 130 puede comprender una membrana de polímero puro o una membrana de material composite donde el otro material, por ejemplo sílice, heteropoliácidos, fosfatos de metal en capas, fosfatos y fosfato de zirconio pueden estar incrustados en una matriz polimérica. La PEM 130 puede ser permeable a protones mientras que no a electrones conductores. El ánodo 110 y el cátodo 120 pueden comprender electrodos de carbón poroso que contienen una capa de catalizador. El material catalizador, por ejemplo platino, puede incrementar la reacción de combustible.

45 La celda electroquímica 100 puede comprender además dos placas bipolares 150, 160. Las placas bipolares 150, 160 pueden actuar como placas de soporte, conductores, proporcionar canales para las superficies de electrodo respectivas para el combustible y proporcionar canales para retirar el combustible comprimido. Las placas bipolares 150, 160 también pueden incluir canales de acceso para fluido refrigerante (es decir, agua, glicol o mezclas de agua y glicol). Las

5 placas bipolares pueden estar hechas de aluminio, acero, acero inoxidable, titanio, cobre, aleaciones de Ni-Cr, grafito o cualquier otro material eléctricamente conductor. Las placas bipolares 150, 160 pueden separar la celda electroquímica 100 de las celdas vecinas en una pila electroquímica (no mostrado). Por ejemplo, las celdas electroquímicas 100 múltiples pueden estar conectadas en serie para formar un compresor electroquímico de hidrógeno (EHC) o apilarse en paralelo para formar un EHC de etapa individual.

10 Durante la operación, de acuerdo con una forma ejemplar de realización, el gas de hidrógeno puede suministrarse al ánodo 110 a través de la placa bipolar 150. Puede aplicarse un potencial eléctrico entre el ánodo 110 y el cátodo 120, en cuyo caso el potencial en el ánodo 110 es superior al potencial en el cátodo 120. El hidrógeno en el ánodo 110 puede oxidarse, lo cual causa que el hidrógeno se disocie en electrones y protones. Los protones se transportan de modo electroquímico, o se "bombean", a través del PEM 130 mientras que los electrones se redirigen alrededor de PEM 130. En el cátodo 120 en el lado opuesto de PEM 120, los protones transportados y los electrones redirigidos se reducen para formar hidrógeno. A medida que se forma más y más hidrógeno en el cátodo 120, el hidrógeno puede comprimirse y presurizarse dentro de un espacio confinado.

15 Dentro de la celda electroquímica 100, una pluralidad de diferentes zonas de presión y una pluralidad de sellos pueden definir una o más diferentes zonas de presión. La FIG. 2A muestra la pluralidad de diferentes sellos y zonas de presión dentro de la celda electroquímica 100. Tal como se muestra en la FIG. 2A, la pluralidad de sellos puede incluir un primer sello 171, un segundo sello 181 y un tercer sello 191. El primer sello 171 puede contenerse enteramente dentro del segundo sello 181 y el segundo sello 181 puede contenerse enteramente dentro del tercer sello 191. Adicionalmente, la pluralidad de sellos puede incluir además primeros sellos secundarios 175, 176. Un sello secundario 175 y 176 puede estar en la parte de fuera del primer sello 171, pero dentro del segundo sello 181.

20 El primer sello 171 puede definir una zona de alta presión 170 y puede configurarse para contener un primer fluido 172 (por ejemplo hidrógeno). Dentro de una zona de alta presión 170. Un primer sello 171 puede delimitar las fronteras externas de la zona de alta presión 170. La zona de alta presión 170 puede corresponder al lado del cátodo de alta presión 120 de PEM 130. El hidrógeno formado en el cátodo 130 puede recolectarse en la zona de alta presión 170 y contenerse por el primer sello 171. El hidrógeno dentro de la zona de alta presión 170 puede comprimirse y, como resultado, experimentar un incremento en presión a medida que se forma más y más hidrógeno en la zona de alta presión 170. El hidrógeno en la zona de alta presión 170 puede comprimirse a una presión superior a 15 000 psi.

25 Los primeros sellos secundarios 175, 176 pueden definir dos zonas 177, 178 secundarias de alta presión que pueden estar en comunicación fluida con una zona de alta presión 170. Las zonas secundarias de alta presión 177, 178 pueden ser canales comunes que están configurados para descargar el primer fluido 172 desde la zona de alta presión 170. Las zonas secundarias de alta presión 177, 178 pueden estar en comunicación fluida con canales comunes de una celda electroquímica adyacente en un compresor electroquímico de celdas múltiples.

30 El segundo sello 181 puede definir una zona de presión intermedia 180 y puede configurarse para contener un segundo fluido 182 dentro de la zona de presión intermedia 180. El segundo sello 181 puede delimitar las fronteras externas de la zona de presión intermedia 180. La zona de presión intermedia 180 puede corresponder al lado del ánodo de presión baja 110 del PEM 130. El segundo fluido 182 (por ejemplo, hidrógeno o mezcla gaseosa que contiene hidrógeno) suministrado al ánodos 110 puede contenerse en una zona de presión intermedia 180 por un segundo sello 181 hasta que se oxida y se "bombee" a través de PEM 130 al cátodo 120 y la zona de alta presión 170. El segundo fluido 182 dentro de la zona de presión intermedia 120 puede variar con base en la presión que se está suministrando. En cualquier caso, generalmente el segundo fluido 182 en la zona de presión intermedia 180 puede ser de presión más baja que el primer fluido 172 en la zona de alta presión 170.

35 El tercer sello 191 puede definir una zona de baja presión 190 y configurarse para contener un tercer fluido 192 dentro de la zona de baja presión 190. Este sello 191 puede delimitar las fronteras externas de la zona de baja presión 190. La zona de baja presión 190 puede comprender canales de fluido refrigerante y el tercer fluido 192 puede comprender fluido refrigerante. El fluido refrigerante puede incluir agua, glicol o combinación de los mismos. En un sistema de alta temperatura puede usarse aceite como fluido refrigerante. El tercer fluido 192 puede mantenerse generalmente a una presión menor a la presión del segundo fluido 182 en la zona de presión intermedia 180 y el primer fluido 172 en la zona de alta presión 170. La zona de presión baja 190 puede incluir un canal de entrada y un canal de salida (no mostrados), configurados para que el tercer fluido 192 pueda circular a través de la zona de presión baja 190.

40 En una forma de realización alterna, tal como se muestra en la FIG. 2B, la zona de baja presión 190 puede localizarse no dentro de la celda electroquímica 100, sino más bien en el área circundante de la celda electroquímica 100 o una pluralidad de celdas que forman una pila. Por ejemplo, la zona de baja presión 190 puede contener nitrógeno 192 que forma una manta de nitrógeno que rodea la celda electroquímica 100 o, en otras formas de realización, que rodea una pila de celdas.

45 La FIG. 3A muestra una vista de corte transversal de una celda electroquímica 100 a lo largo del plano A de la FIG. 2A. Tal como se describe en la FIG. 2A, la celda electroquímica 100 puede comprender MEM 140 y placas bipolares 150, 160. Entre las placas bipolares 150, 170 puede estar un primer sello 171 que define una zona de alta presión 170, un segundo sello 181 que define una zona de presión intermedia 180 y un tercer sello 191 que define una zona de baja

presión 190. En la FIG. 3A, el primer sello 171, el segundo sello 181, y el tercer sello 191 puede mostrarse, cada uno, como dos cortes transversales separados de un sello continuo individual, como se ha mostrado previamente en la FIG. 2A.

- 5 Tal como se ha mostrado en la FIG. 3A, el primer sello 171 puede posicionarse contra un primer arcén 173. El primer arcén 173 puede configurarse para mantener la posición del primer sello 171 a medida que la presión puede formarse dentro de la zona de alta presión 170. La presión dentro de la zona de alta presión 170 puede aplicar una fuerza hacia fuera contra el primer sello 171. La altura del primer arcén 173 puede estar en un intervalo de aproximadamente 98% a aproximadamente 25% del grosor no comprimido del primer sello 171.
- 10 En la forma de realización particular mostrada en la FIG. 3A, no hay un arcén localizado interiormente en el primer sello 171. La ausencia de un arcén interior, tal como se muestra en la FIG. 3A, puede permitir que el primer sello 171 se combine, se una, se conecte, o se integre a MEM 140 o una porción del mismo. Al tener el primer sello 171 integrado al MEM 140, puede facilitarse un montaje consistente, eficiente y simplificado de la celda electroquímica 100. Sin embargo, formas de realización alternas, puede posicionarse un arcén adicional en el interior del primer sello 171 que puede configurarse para crear una ranura en la cual puede posicionarse el primer sello 171.
- 15 Nuevamente en referencia a la FIG. 3A, el segundo sello 181 puede posicionarse en una segunda ranura 183 formada entre dos arceles en la placa bipolar 160. En el interior de la segunda ranura 183 y el segundo sello 181 puede estar la zona de presión intermedia 180 y en el exterior de la segunda ranura 183 y el segundo sello 181 puede estar la zona de baja presión 190. La profundidad de la segunda ranura 183 puede estar en un intervalo desde aproximadamente 98% a aproximadamente 25% del grosor no comprimido del segundo sello 181.
- 20 El tercer sello 191 tal como se muestra en la FIG. 3A, puede posicionarse en una tercera ranura 193 que se forma entre dos arceles en una placa bipolar 160. En el interior de la tercera ranura 193 y el tercer sello 191 puede estar una zona de baja presión 190 y en el exterior de la tercera ranura 193 y el tercer sello 191 puede estar el ambiente circundante de la celda electroquímica 100. La profundidad de la tercera ranura 193 puede estar en un intervalo desde aproximadamente 98% a aproximadamente 25% del grosor no comprimido del tercer sello 191.
- 25 Durante el montaje del primer sello 171, del segundo sello 181 y del tercer sello 191 entre las placas bipolares 150, 160 puede comprimirse en un porcentaje predeterminado de su grosor no comprimido mediante la selección de la altura apropiada de sus arceles 173 respectivos o la profundidad de sus ranuras 183 y 193 respectivas. El primer arcén 173 y los arceles que forman la segunda ranura 183 y la tercera ranura 193 pueden actuar como un tope, tal como se muestra en la FIG. 3A, para una placa bipolar 150. Actuando como un tope, puede reducirse la posibilidad de sobrecomprimir los sellos. La elevación del primer arcén 173 y los arceles que forman la segunda ranura 183 y la tercera ranura 193 puede ser igual de manera tal que la placa bipolar 150 pueda hacer contacto con todas las superficies del arcén de la placa bipolar 160 de una vez cuando las superficies son paralelas.
- 30 En formas de realización alternas (no mostradas), la segunda ranura 183 y la tercera ranura 193 pueden formarse en la placa bipolar 150 antes que en la placa bipolar 160. En otra forma de realización, la segunda ranura 183 puede formarse en cualquier placa bipolar 150, 170 mientras que la tercera ranura 193 se forma en la otra placa. En otra forma de realización, las porciones de la segunda ranura 183 y la tercera ranura 193 pueden formarse en ambas placas bipolares 150, 160.
- 35 La segunda ranura 183 y la tercera ranura 193 pueden tener una geometría de corte transversal que corresponde a la forma del segundo sello 181 y del tercer sello 191. Por ejemplo, la geometría del corte transversal del sello y de la ranura puede ser un cuadrado, un rectángulo, un triángulo, un polígono, un círculo o un óvalo. En diversas formas de realización, el ancho del segundo sello 181 y del tercer sello 191 puede ser menor a la ranura correspondiente. El espacio adicional en las ranuras puede permitir la expansión y la contracción de los sellos, causadas por cambio de temperatura, cambio de presión de los gases internos y cambio de presión de la compresión de placa bipolar. Tal como se muestra en la FIG. 3A, los sellos pueden forzarse normalmente hacia fuera, a la posición más externa dentro de las ranuras debido a que los sellos experimentan una presión más alta desde el lado interior versus el lado exterior.
- 40 En otras formas de realización, la profundidad de las ranuras (por ejemplo la segunda ranura 183 y la tercera ranura 193) puede reducirse a cero o eliminarse y el primer sello 171, el segundo sello 181 y el tercer sello 191 pueden formarse a partir de un material plano de tapón que puede cortarse en un patrón de alargamiento que se configura para mantener la configuración de cascada. Por ejemplo, el primer fluido filtrado más allá del primer sello 171 puede recolectarse en la zona de presión intermedia 180.
- 45 El primer sello 171, el segundo sello 181 y el tercer sello 191 pueden ser una tapa, un anillo O, u otro componente de sellado. El primer sello 171, el segundo sello 181 y el tercer sello 191 pueden estar hechos de un material de sellado elastomérico o polimérico, por ejemplo silicona EPDM (monómeros de etileno-propileno-dieno), fluoroelastómero, goma de nitrilo (Buna-N), PTFE (politetrafluoroetileno), polisulfonas, polieterimidias, sulfuros de poliquenileno, PEEK (poliéter-éter-cetona), poliimida, PET (tereftalato de polietileno), PEN (naftalato de polietileno), HDPE (polietileno de alta densidad), poliuretano, neopreno, acetal, nylon, tereftalato de polibutileno, NBR (goma de acrilonitrilo-butadieno), etc. el
- 50

material de cada sello puede ser diferente del material de los otros sellos; el material puede ser el mismo para sólo dos de los sellos o el material puede ser el mismo para todos los sellos.

5 Como el material, el grosor de cada sello puede ser diferente de los otros sellos. El grosor puede medirse a lo largo de un eje vertical (Y) de la celda electroquímica 100. Tal como se muestra en la FIG. 3A, el grosor del segundo sello 181 es superior al grosor del primer sello 171 y el grosor del tercer sello 191 es superior al grosor del segundo sello 181. En consecuencia, el sello más exterior, el tercer sello 191, puede tener el grosor más grande y el sello más interior, el primer sello 171, puede tener el grosor más pequeño. Por ejemplo, el grosor del primer sello 171 puede estar en un intervalo entre aproximadamente 0.01 mm y aproximadamente 1.0 mm, el grosor del segundo sello 181 puede estar en el intervalo entre aproximadamente 0.02 mm y aproximadamente 2.0 mm, y el grosor del tercer sello 191 puede estar en el intervalo entre aproximadamente about 0.03 mm y 3.0 mm.

10 Para formas de realización en las cuales la geometría del corte transversal del primer sello 171, del segundo sello 181 y el tercer sello 191 puede ser un círculo o un óvalo, el grosor tal como se ha descrito antes puede referirse al diámetro del círculo o del óvalo del corte transversal.

15 Tal como se muestra en la FIG. 3B, durante la operación de la celda electroquímica 100 la presión del primer fluido 172, del segundo fluido 182 y del tercer fluido 192 que se aplica dentro de cada zona correspondiente entre las placas bipolares 150, 160 puede producir una fuerza de abertura 200. La fuerza de abertura 200 sin oposición puede causar que se separe la placa bipolar 150, 160. Para impedir que la fuerza de abertura 200 separe las placas bipolares 150, 160, puede aplicarse una fuerza de cierre 210 a las placas para oponerse y superar la fuerza de abertura 200. Se entiende que la presión del primer fluido 172, del segundo fluido 182 y del tercer fluido 192 produciría más fuerzas que aquellas representadas por la pluralidad de flechas que representan la fuerza de abertura 200. Por ejemplo, se producirían fuerzas laterales (no mostrado) que son perpendiculares a la fuerza de abertura 200 así como otras fuerzas que apuntan hacia fuera desde cada zona de presión en todas las direcciones posibles.

20 La FIG. 4A muestra un corte transversal de la celda electroquímica 100 en una primera configuración. La celda electroquímica 100 puede mantener una primera configuración cuando la fuerza de cierre 210 es suficiente para superar la fuerza de abertura 200 y mantener las placas bipolares 150, 160 sustancialmente juntas. Mientras, en una primera configuración el primer sello 171, el segundo sello 181 y el tercer sello 191 pueden todos mantener contacto con las superficies de sello, tanto superiores como inferiores de la placa bipolar 150, 160, lo cual impide la fuga o la derivación del primer fluido 172, del segundo fluido 182 o del tercer fluido 192. En esta situación particular, todos los sellos están desempeñando su función.

25 Cuando la celda electroquímica 100 se encuentra en la primera configuración al como se ha descrito antes, puede variar la medición real de la separación entre las superficies de las placas bipolares 150, 160. Por ejemplo, las separación puede estar en un intervalo desde aproximadamente 0,00 mm a aproximadamente 0,01 mm, hasta aproximadamente 0,05 mm, hasta aproximadamente 0,10 mm.

30 La FIG. 4B muestra un corte transversal de la celda electroquímica 100 en una segunda configuración. La celda electroquímica 100 puede cambiar a la segunda configuración cuando la fuerza de cierre 210 se reduce o la fuerza de abertura 200 se incrementa (por ejemplo, se incrementa la presión del primer fluido 172), lo que causa que las placas bipolares 150, 160 se separen. Tal como se muestra en la FIG. 4B, la primera separación de las placas bipolares 150, 160 puede causar que el primer sello 171 se retire lo cual permite la derivación del primer fluido 172 de la zona de alta presión 170 a la zona de presión intermedia 180. En la forma particular de realización que se muestra en la FIG. 4B, se muestra que el primer sello 171 se retira de la placa bipolar 160 primero, lo que permite el flujo del primer fluido 172 por debajo y alrededor del primer sello 171. Sin embargo, se entiende que en formas alternas de realización (no mostrado), el primer sello 171 puede retirarse de la placa bipolar 150 primero, lo que permite el flujo del primer fluido 172 por el primer sello 171, bordeando entre el primer sello 171 y MEM 140.

35 El flujo del primer fluido 172 desde la zona de alta presión 170 a la zona de presión intermedia 180 puede ser causada por el diferencial de presión entre el primer fluido 172 y el segundo fluido 182 y puede viajar a lo largo de la trayectoria de menor resistencia. El primer sello 171 puede configurarse para hacer el primero de los sellos en retirarse al tener un grosor menor al segundo sello 181 y al tercer sello 191. Esto puede permitir que el tercer sello 191 y el segundo sello 181 mantengan contacto con ambas superficies de sellado lo cual impide que el fluido borde cualquier sello a pesar de la primera separación de las placas bipolares 150, 160 presentes en la segunda configuración.

40 Cuando la celda electroquímica 100 está en la segunda configuración tal como se ha descrito antes, puede variar la medición real de la primera separación que existe entre las placas bipolares 150, 160. Por ejemplo, la primera separación puede estar en el intervalo de aproximadamente 0,01 mm a aproximadamente 0,05 mm, a aproximadamente 0,10 mm, a aproximadamente 0,25 mm.

45 La FIG. 4C muestra un corte transversal de celda electroquímica 100 en una tercera configuración. La celda electroquímica 100 puede cambiar a la tercera configuración cuando la fuerza de cierre 210 se reduce aún más o la fuerza de abertura 200 se incrementa aún más, lo que causa que las placas bipolares 150, 160 experimenten una segunda separación. Tal como se muestra en la FIG. 4C, la segunda separación de las placas bipolares 150, 160 puede

causar que tanto el primer sello 171 como el segundo sello 181 se retiren lo cual permite la derivación del primer fluido 172 desde la zona de alta presión 170 y del segundo fluido 182 desde la zona de presión intermedia 180 a la zona de baja presión 190. En la forma de realización particular que se muestra en la FIG. 4C, se muestra que el segundo sello 181 se retira de la placa bipolar 150 primero, lo cual permite el flujo del segundo fluido 182 por el segundo sello 181. Sin embargo, se entiende que en forma alternas de realización (no mostradas), el segundo sello 181 puede retirarse de la placa bipolar 160, primero, lo que permite el flujo del segundo fluido 182 por debajo y alrededor del segundo sello 181.

El flujo del segundo fluido 182 de la zona de presión intermedia 180 a la zona baja de presión 190 puede ser causado por la diferencial de presión entre el segundo fluido 182 y el tercer fluido 192. El segundo sello 181 puede configurarse para ser el segundo sello en retirarse por ser más grueso que el primer sello 171, pero no tan grueso como el tercer sello 191. Por lo tanto, debido a que el tercer sello 191 puede ser más grueso que ambos sellos, el primero 171 y el segundo 181, el tercer sello 191 puede mantener contacto con ambas superficies de sellado lo que impide el flujo de bordear a pesar de la segunda separación de las placas bipolares 150, 160.

Cuando la celda electroquímica 100 se encuentra en la tercera configuración tal como se ha descrito antes, puede variar la medición real de la segunda separación. Por ejemplo, la segunda separación puede encontrarse en el intervalo desde aproximadamente 0,05 mm a aproximadamente 0,25 mm, a aproximadamente 0,50 mm.

La celda electroquímica 100 puede configurarse para una transición desde la primera configuración a la segunda configuración y de la segunda configuración a la tercera configuración, con base en la magnitud variable de la fuerza de cierre 210 y la fuerza de abertura 200 durante la operación. Además, la celda electroquímica 100 también puede hacer transición desde la tercera configuración a la segunda configuración y de la segunda configuración a la primera configuración, con base en la magnitud variable de la fuerza de cierre 210 y la fuerza de abertura 200. Se contempla que la transición entre la primera configuración, la segunda configuración y la tercera configuración puede ocurrir continuamente durante la operación en respuesta a la magnitud variable de la fuerza de cierre 210 y la fuerza de abertura 200.

En otras formas de realización se contempla que el módulo de elasticidad de los sellos puede ser diferente en lugar del grosor de los sellos para permitir el retiro dispersado de los sellos. En todavía otra forma de realización, tanto el grosor como el módulo de elasticidad pueden variar.

La disposición de los sellos tal como se ha descrito antes puede clasificarse como una configuración de sello en cascada. La configuración de sello en cascada puede proporcionar varias ventajas. Por ejemplo, la configuración de sello en cascada puede limitar el potencial de que el hidrógeno a presión alta escape de la celda electroquímica 100 proporcionando redundancia de sello en forma de tres niveles de protección de sellado. Reducir el potencial de fugas de hidrógeno puede beneficiar la seguridad y la eficiencia energética.

Además, la configuración de sello en cascada también puede permitir la autorregulación de la presión. La autorregulación de la presión puede lograrse debido a la disparidad en el grosor del sello y la retirada dispersada resultante del primer sello 171, del segundo sello 181 y del tercer sello 191. Por ejemplo, cuando la celda electroquímica 100 está en segunda configuración tal como se muestra en la FIG. 4B, el primer sello 171 puede retirarse lo cual permite que el primer fluido 172 se filtre a una zona de presión intermedia 180. El primer fluido 172 que se filtra a la zona de presión intermedia 180 puede purgar la presión de la zona de alta presión 170. Purgando la presión de la zona de alta presión 170 puede reducirse la fuerza de abertura 200. La disminución de la fuerza de abertura 200 puede permitir que se reverse la primera separación de las placas bipolares 150, 160 lo que causa la transición de la celda electroquímica 100 desde la segunda configuración a la primera configuración y el retiro del primer sello 171.

El primer fluido 172 que se filtra por el primer sello 171 puede combinarse con el segundo fluido 182 y utilizarse por la celda electroquímica 100; en efecto, el primer fluido 172 fugado puede reciclarse. Una consecuencia de esta fuga y del reciclado subsiguiente puede ser una pérdida en la eficiencia de compresión porque el hidrógeno fugado se "bombee" dos veces a través de PEM. Sin embargo, la pérdida potencial en eficiencia de compresión es aún menor de lo que sería la pérdida total en eficiencia si el hidrógeno fugado no se recuperara y en lugar se filtrara al exterior de la celda electroquímica 100 y se perdiera.

En el evento que purgar la presión de la zona de alta presión 170 no sea suficiente para causar la transición desde la segunda configuración a la primera configuración, puede ocurrir la segunda separación lo que causa que la celda electroquímica haga transición desde la segunda configuración a la tercera configuración. En la tercera configuración, tal como se muestra en la FIG. 4C, la segunda separación de las placas bipolares 150, 160 puede causar que el segundo sello 181 se retire, lo que permite al segundo fluido 182 filtrarse a la zona de baja presión 190. El segundo fluido 182 que se filtra a la zona de baja presión 190 puede purgar presión desde la zona de presión intermedia 180. Purgando presión desde la zona de presión intermedia 180, puede reducirse aún más la fuerza de abertura 200. La caída en la fuerza de abertura 200 puede permitir que se reverse la segunda separación de las placas bipolares 150, 160 lo que causa la transición de la celda electroquímica 100 desde la tercera configuración a la segunda configuración y el retiro de al menos el segundo sello 181.

La consecuencia de purgar el segundo fluido 182 desde la zona de presión intermedia 180 a la zona de presión baja 190 puede ser una pérdida de eficiencia de la celda. Sin embargo, un beneficio puede ser reducir la posibilidad de que el segundo fluido 182 (es decir el hidrógeno gaseoso) se escape de la celda electroquímica 100.

5 En diversas formas de realización, puede monitorearse la presión del tercer fluido 192 en la zona de baja presión 190. El retiro del segundo sello 181 puede dar lugar a un incremento de presión en la zona de baja presión 190 causada por la purga de la presión del segundo fluido 182 a la zona de baja presión 190. Por lo tanto, monitoreando la presión del tercer fluido 192 puede detectarse el retiro del segundo sello 181 y la fuga del segundo fluido 182. Además, la celda electroquímica 100 puede configurarse para apagarse antes que la presión en la zona de baja presión 190 alcance una presión crítica. La presión crítica puede ajustarse sólo por debajo de la presión a la cual el tercer sello 191 se retiraría, lo que permitiría que el primer fluido 172, el segundo fluido 182 y el tercer fluido 192 escaparan de la celda electroquímica 100. En otra forma de realización, la composición del tercer fluido 192 puede monitorearse para detectar la presencia de un fluido extraño (por ejemplo, el primer fluido 172 o el segundo fluido 182). Puede usarse un sensor de detección (por ejemplo, un sensor de hidrógeno) para detectar la presencia de fluido extraño en la zona de baja presión 190.

15 El monitoreo de presión puede llevarse a cabo de una variedad de maneras. Por ejemplo, podría configurarse un transmisor de presión para leer la presión en la zona de baja presión 190 y cuando la presión alcance el punto establecido de la presión crítica, el potencial eléctrico hacia el ánodo 110 y el cátodo 120 podría apagarse para prevenir que más hidrógeno se "bombee" a través de PEM 130.

20 En otras formas de realización, también puede monitorearse la presión del segundo fluido 182 en la zona de presión intermedia 180 y el primer fluido 192 en la zona de alta presión 190. Por ejemplo, monitorear la presión del segundo fluido 182 puede permitir que la celda se apague antes que la presión alcance el punto donde el segundo sello 181 podría retirarse.

25 En diversas formas de realización, cuando el primer fluido 172 o el segundo fluido 182 (por ejemplo, hidrógeno de alta o de baja presión) se purga hacia la zona de baja presión 190, puede combinarse con el tercer fluido 192 (por ejemplo, fluido refrigerante) y puede transportarse fuera de la zona de baja presión 190 mediante la circulación del tercer fluido 192.

30 La FIG. 5 muestra un sistema electroquímico de recuperación de hidrógeno (EHRS) 500, según una forma ejemplar de realización. EHRS 500 puede comprender una celda electroquímica 100 tal como se ha descrito antes que tiene una configuración de sello en cascada. Además de la celda electroquímica 100, EHRS 500 puede comprender un aparato 510 de recuperación de hidrógeno. El aparato 510 puede estar en comunicación fluida con la zona de baja presión 190 y la zona de presión intermedia 180 de la celda electroquímica 100. El aparato 510 puede recibir el tercer fluido 192 que se descarga de la zona de baja presión 190 y puede configurarse para recuperar al menos una porción de cualquier segundo fluido 182 contenido en el tercer fluido 192. Después que el tercer fluido 192 pasa a través del aparato 510 de recuperación de hidrógeno, el tercer fluido puede re-suministrarse a la zona de baja presión 190. Cualquier segundo fluido 182 recuperado del tercer fluido 192 por parte del aparato 510 de recuperación de hidrógeno puede introducirse nuevamente a la zona de presión intermedia 180 por medio de una línea 520 de reciclaje que se configura para conectar fluidamente el aparato 510 de recuperación de hidrógeno y la zona de presión intermedia 180. Reciclar el segundo fluido 182 wie de mejorar la eficiencia general del sistema. Cuando el segundo fluido 182 es hidrógeno gaseoso, por ejemplo, reciclar el segundo fluido 182 reduce la cantidad del nuevo hidrógeno requerido.

40 El aparato 510 de recuperación de hidrógeno puede usar una variedad de tecnologías para separar el segundo fluido 182 del tercer fluido 192. Por ejemplo, la separación de gas disuelto del refrigerante líquido o membrana de separación de hidrógeno de una manta de nitrógeno.

45 En diversas formas de realización, el EHRS 500 puede configurarse para monitorear la presión del tercer fluido 192 en la zona de baja presión 190. Monitoreando la presión del tercer fluido 192 en la zona de baja presión 190, puede configurarse el aparato 510 de recuperación de hidrógeno para implicarse solamente o energizarse cuando ha sido detectada una presión incrementada, lo cual puede indicar que el segundo sello 182 ha sido retirado y el segundo fluido se ha filtrado a la zona de baja presión 190. Limitando el uso del aparato de recuperación de hidrógeno, puede incrementarse la eficiencia general del sistema.

50 En otras formas de realización cuando el primer fluido 172 o el segundo fluido 182 (por ejemplo, hidrógeno a alta o baja presión) purga la zona de baja presión 190 y se combina con el tercer fluido 192 (por ejemplo, fluido refrigerante), puede hacerse circular con el tercer fluido 192 y permanece circulando hasta que el tercer fluido 192 se descarga antes que recuperarse desde el tercer fluido 192.

55 La celda electroquímica 100 puede operar a presiones diferenciales superiores a aproximadamente 15 000 psi. Por ejemplo, una presión diferencial puede medirse como la diferencia entre la presión del segundo fluido 182 (es decir la presión de hidrógeno de entrada) que puede estar en el intervalo desde aproximadamente -10 psi a aproximadamente 0 psi, o desde aproximadamente 0 psi a aproximadamente 25 psi, aproximadamente 100 psi, aproximadamente 500 psi, aproximadamente 1 000 psi, o aproximadamente 6 000 psi y la presión del primer fluido 172 (es decir, presión de hidrógeno comprimido) que puede estar en el intervalo desde el límite inferior de la presión de hidrógeno de entrada a

más alta que aproximadamente 15 000 psi. La presión diferencial tal como se ha descrito antes puede ser la presión diferencial experimentada por el primer sello 171. El segundo sello 181 puede experimentar una presión diferencial entre el segundo fluido 182 y el tercer fluido 192 que se encuentra en el intervalo entre aproximadamente 0 psi a aproximadamente 25 psi, aproximadamente 100 psi, aproximadamente 500 psi, aproximadamente 1 000 psi, o aproximadamente 6 000 psi.

La configuración de sello en cascada descrita antes puede permitir que la fuerza de cierre 210 sea ajustada (es decir incrementada o reducida) a una fuerza de abertura 200 particular. Tradicionalmente la fuerza de cierre 210 puede ajustarse para entregar una carga previa sobre el primer sello 171, el segundo sello 181 y el tercer sello 191 suficiente para resistir la fuerza de abertura 200 esperada, causada por la presión interna. Sin embargo, cambiando la carga previa o ajustando la fuerza de cierre 210 durante la operación de la celda electroquímica 100, la presión a la cual el primer sello 171, el segundo sello 181 y el tercer sello 191 se retiran puede ajustarse para que ellos, cada uno, se retiren y se filtren a una presión particular preferida.

El ajuste de la capacidad de la celda electroquímica 100 puede usarse para aumentar la seguridad del dispositivo. Tal como se ha descrito antes, retirar los sellos permite la purga de alta presión y la re inserción de los sellos. Por lo tanto, ajustando la fuerza de cierre 210, la celda electroquímica puede configurarse de manera tal que los sellos sean el primer componente en reaccionar a un incremento de presión en lugar de otro componente cuya falla podría dar lugar a liberación de hidrógeno.

La FIG. 6 muestra un diagrama de flujo 600 para un método de ajuste de los sellos de la celda electroquímica 100. El método puede incluir proporcionar una celda electroquímica 100 que puede tener una pluralidad de sellos en una configuración de sello en cascada tal como se ha descrito antes. A continuación, el método puede incluir aplicar una fuerza de cierre inicial a la celda electroquímica con base en la presión de operación esperada. Después de aplicar una fuerza de cierre inicial, la celda puede energizarse y la operación puede comenzar. Durante la operación, la presión de las zonas bajas, intermedia y alta dentro de la celda electroquímica 100 puede monitorearse de modo continuo o intermitente. Con base en las presiones monitoreadas y la fuerza de abertura resultante, puede ajustarse la fuerza de cierre. Ajustar la fuerza de cierre puede cambiar la presión a la cual se retira al menos uno de la pluralidad de sellos. Este proceso puede continuar durante toda la operación de la celda electroquímica o puede configurarse para correr durante solamente un período finito de tiempo, inicialmente como arranque. Según se requiera puede determinarse la operación de la celda electroquímica.

Se contemplan más o menos sellos y zonas de presión. Por ejemplo, en otra forma de realización tal como se muestra en la FIG. 7, la celda electroquímica 100 puede comprender un primer sello 171 y un segundo sello 181. Por consiguiente, la celda electroquímica 100 tal como se muestra en la FIG. 7 puede comprender un primer sello 171 que define una zona de alta presión 170. El primer sello puede localizarse entre las placas bipolares 150, 160 y configurarse para contener un primer fluido 172 con una zona de alta presión 170. La celda electroquímica 100 puede comprender además un segundo sello 181 que define una zona de presión intermedia 180. El segundo sello 182 puede localizarse entre placas bipolares 150, 160 y configurarse para contener un segundo fluido 182 dentro de la zona de presión intermedia 180. El primer sello 171 puede contenerse enteramente con el segundo sello 181. La celda electroquímica 100 puede comprender además primero sellos secundarios 175, 176. Un sello secundario 175 y 176 puede localizarse afuera del primer sello 171 pero dentro del segundo sello 181.

Además, con respecto a la celda electroquímica 100, un primer fluido 172 puede estar a una presión más alta que el segundo fluido 182. El primer sello 171 y el segundo sello 181 pueden tener un corte transversal generalmente rectangular. El grosor del segundo sello 181 puede ser más grande que el primer sello 171. El primer sello 171 puede configurarse para filtrar el primer fluido 172 a la zona de presión intermedia 180 cuando el primer sello 171 se retira. En una forma de realización de este tipo, la celda electroquímica 100 puede configurarse para pagarse antes de retirarse el segundo sello 181, lo que reduce la posibilidad de que el segundo fluido 182 se filtre desde la zona de presión intermedia 180.

El primer sello 171 y el segundo sello 181 dentro de la celda electroquímica 100 pueden configurarse para mantenerse insertados, lo cual impide la fuga del primer fluido 172 y del segundo fluido 182 cuando se está aplicando una fuerza de cierre a las placas bipolares 150, 160 que es más grande que la fuerza de abertura dentro de las placas bipolares 150, 160 cuando la fuerza de cierre aplicada a las placas bipolares 150, 160 se aproxima a la fuerza de abertura dentro de las placas bipolares 150, 160, el primer sello 171 puede configurarse para retirarse antes que el segundo sello 181 se retire lo que causa que el primer fluido 172 se filtre más allá del primer sello 171 a la zona de presión intermedia 180. El primer fluido 172 que se fuga más allá del primer sello 171 puede combinarse con el segundo fluido 182 y reciclarse.

En otras formas de realización puede utilizarse una configuración de sello en cascada similar a la descripción anterior con una placa bipolar de dos partes. Por ejemplo, la placa bipolar 150 y 170 según algunas formas de realización, pueden cada una formarse de dos partes. Una placa bipolar de dos piezas puede ser ventajosa por varias razones. Por ejemplo, costes reducidos de manufactura, flexibilidad en la manufactura, costes reducidos de material, capacidad de servicio incrementada y capacidad mejorada de selección de material (por ejemplo, conductividad eléctrica y resistencia a la corrosión). En otras formas de realización, la placa bipolar 150 y 160 pueden confirmarse de una pluralidad de partes.

Una configuración de sello en cascada entre las dos partes de la placa bipolar puede configurarse para captura o recuperación de fluido (por ejemplo, hidrógeno, filtrado entre las dos partes, tal como se describe más adelante. De otra manera, el fluido filtrado desde la celda electroquímica o la pila podría crear un problema potencial de seguridad. Además, un volumen de fluido podría formarse entre las dos partes de la placa bipolar si el fluido es incapaz de descargarse. El fluido atrapado alta presión puede causar daños a la placa bipolar y potencialmente causar más fugas.

La FIG. 8 muestra una forma de realización de placas bipolares 150 y 160 que comprende una placa bipolar de dos partes 800 que comprende un primer componente 801 y un segundo componente 802, configurados para un diseño de sello en cascada. El primer componente 801 puede formar un vacío 803 en comunicación fluida con una estructura de flujo 805.

La celda electroquímica 100, tal como se muestra en la FIG. 1, puede comprender además capas de difusión de gas que conducen electricidad (GDLs) (no mostradas) dentro de la celda electroquímica 100 en cada lado de MEM 140. Las GDLs puede servir como medios de difusión que permiten el transporte de gases y líquidos dentro de la celda, proporcionan conducción eléctrica entre las placas bipolares 150 y 160 y PEM 130, ayuda en la remoción de calor y agua del procedimiento proveniente de la celda y, en algunos casos, proporcionan soporte mecánico a PEM 140. Además, unos canales (no mostrado) que se conocen como campos de flujo en las placas bipolares 150 y 160 pueden configurarse para suministrar gases al ánodo 110 y el cátodo 120 de MEM 140. Los gases reactantes en cada lado de PEM 130 pueden fluir a través de campos de flujo y difundir a través de GDLs porosas. Los campos de flujo y las GDLs pueden posicionarse de modo contiguo y acoplarse mediante corrientes internas de fluido. Por consiguiente, el campo de flujo y la GDL pueden formar colectivamente una estructura de flujo 805.

El primer componente 801 y el segundo componente 802 pueden ser generalmente planos y tener un perfil generalmente rectangular. En otras formas de realización, los componentes 801 y 802 pueden tener un perfil con forma de un cuadrado, una "pista de carreras" (es decir, una forma sustancialmente rectangular con lados semi-elípticos), un círculo, un óvalo, elíptica u otra forma. La forma del primer componente 801 y del segundo componente 802 pueden corresponder a los otros componentes de celda electroquímica 100 (por ejemplo, cátodo, ánodo, PEM, estructura de flujo, etc.) o pila de celda electroquímica.

El primer componente 801 y el segundo componente 802 pueden formarse, cada uno, a partir de uno o más materiales. El primer componente 801 y el segundo componente 802 pueden formarse de los mismos materiales o de diferentes materiales. El componente 801 y 802 pueden formarse de un metal tal como acero inoxidable, titanio, aluminio, níquel, hierro, etc., o de una aleación de metales como aleación de cromo níquel, aleación de níquel-estaño, o una combinación de los mismos.

El primer componente 801 y el segundo componente 802 pueden comprender un material enchapado, por ejemplo aluminio enchapado con acero inoxidable en una o más regiones. El enchapado puede proporcionar las ventajas de ambos metales, por ejemplo en el caso de una placa bipolar fabricada de aluminio enchapado con acero inoxidable, el acero inoxidable protege el núcleo de aluminio de la corrosión durante la operación de la celda mientras proporciona las propiedades materiales superiores del aluminio tales como una alta relación de fuerza a peso, una alta conductividad térmica y eléctrica, etc. En otras formas de realización, el primer componente 801 puede comprender aluminio anodizado, sellado e imprimado.

En algunas formas de realización, el primer componente 801 puede formarse a partir de un material composite tal como fibra de carbón, grafito, polímero reforzado con vidrio, materiales composite termoplásticos. En algunas formas de realización, el primer componente 801 puede formarse de un metal que está recubierto para prevenir tanto corrosión como conducción eléctrica.

Según varias formas de realización, el primer componente 801 puede ser generalmente no conductor, lo cual reduce la probabilidad de cortos entre las celdas electroquímicas. El segundo componente 802 puede formarse a partir de uno o varios materiales que proporcionan conductividad eléctrica como también resistencia a la corrosión durante la operación de la celda. Por ejemplo, el segundo componente 802 puede configurarse para hacer eléctricamente conductor en la región donde se insertan los componentes activos de la celda (por ejemplo, estructura de flujo, MEM, etc.).

El primer componente 801 y el segundo componente 802 pueden configurarse para acoplamiento coplanar. El primer componente 801 y el segundo componente 802 pueden acoplarse de manera que puedan soltarse o acoplarse de manera fija. Pueden usarse uno o más mecanismos de unión, por ejemplo material pegante, soldadura, soldadura con latón, soldadura, adhesión por difusión, soldadura ultrasónica, soldadura con láser, troquelado, remachado, soldadura de resistencia o sinterizado. En algunas formas de realización, el material pegante puede incluir un adhesivo. Adhesivos adecuados incluyen, por ejemplo, colas, epóxidos, cianoacrilatos, láminas termoplásticas (incluidas láminas termoplásticas pegadas en caliente), uretanos, anaeróbicas, curadas con UV y otros polímeros. En algunas formas de realización, el primer componente 801 y el segundo componente 802 pueden acoplarse mediante conexión con fricción. Por ejemplo, uno o más sellos entre los componentes pueden producir una fuerza friccional adecuada entre los componentes cuando se comprimen para impedir un deslizamiento no intencionado.

En otras formas de realización, el primer componente 801 y el segundo componente 802 pueden acoplarse, de manera que puedan soltarse, usando sujetadores, por ejemplo tornillos, pernos, ganchos u otros mecanismos similares. En otras formas de realización, varillas de compresión y tuercas pueden pasar por la placa bipolar 800 o a lo largo del lado externo y usarse para comprimir el primer componente 801 y el segundo componente 802 juntos como una celda electroquímica 100 o una pluralidad de celdas electroquímica 100 se comprimen en una pila.

El primer componente 801 y el segundo componente 802 acoplados pueden formar una pluralidad de diferentes zonas de presión y una pluralidad de sellos puede definir una o más zonas de presión diferente. La FIG. 8 muestra la pluralidad de diferentes sellos y zonas de presión. Tal como se muestra en la FIG. 8, la pluralidad de sellos puede incluir un primer sello 871, un segundo sello 881, y un tercer sello 891. El primer sello 871 puede contenerse enteramente dentro del segundo sello 881 y el segundo sello 881 puede contenerse enteramente dentro del tercer sello 891. La forma del primer sello 871, del segundo sello 881 y del tercer sello 891 puede corresponder generalmente a la forma de la placa bipolar 800, tal como se muestra en la FIG. 8.

El primer sello 871, el segundo sello 881 y el tercer sello 891 pueden ser un tapón, un anillo O u otro componente de sello. El primer sello 871, el segundo sello 881 y el tercer sello 891 puede estar hechos de un material sellante elastomérico o polimérico, por ejemplo silicona, EPDM (monómeros de etileno-propileno-dieno), fluoroelastómero, gomas de nitrilo (Buna-N), PTFE (politetrafluoroetileno), polisulfona, polieterimida, sulfuro de poliqlenileno, PEEK (poliéter éter cetona), poli imida, PET (tereftalato de polietileno), PEN (naftalato de polietileno), HDPE (polietileno de alta densidad), poliuretano, neopreno, acetal, nylon, tereftalato de polibutileno, NBR (goma de acrilonitrilo-butadieno), etc. El material de cada sello puede ser diferente del material de los otros sellos, el material puede ser el mismo para solamente dos de los sellos, o el material puede ser el mismo para todos los sellos.

En algunas formas de realización, el primer sello 871, el segundo sello 881 y el tercer sello 891 pueden ser un sello de tipo borde de cuchillo o un sello pegado de modo adhesivo. Por ejemplo, el segundo componente 802 puede incluir protuberancias o proyecciones de tipo "dientes" en el lugar del primer sello 871 que están configuradas para deformar plásticamente el primer sello 871. En otro ejemplo, un sello pegado de modo adhesivo puede formarse mediante una aplicación continua de un adhesivo en un vacío y libre de espacios. En otras formas de realización, el primer sello 171, el segundo sello 181 y el tercer sello 191 pueden formarse de un material plano de tapón que puede cortarse en un patrón de alargamiento que se configura para mantener la configuración en cascada. En otra forma de realización, puede ponerse una lámina plástica delgada entre el primer componente 801 y el segundo componente 802 lo cual forma un sello de tapón debajo de la carga de compresión de la celda electroquímica o pila.

El primer sello 871 puede definir una porción de zona de alta presión 870 y configurarse para contener un primer fluido 872 (por ejemplo hidrógeno) dentro de la zona de alta presión 870. El primer sello 871 puede delimitar los límites externos de la zona de alta presión 870 al menos entre componentes 801 y 802. La zona de alta presión 870 puede incluir una estructura de flujo 805 que se extiende a través del vacío 803 cuando se acoplan el primer componente 801 y el segundo componente 802. El primer fluido 872 puede fluir a través de la zona de alta presión 870 a través de la estructura de flujo 805 desde el cátodo 130.

El hidrógeno formado en el cátodo 130 puede recolectarse en la zona de alta presión 870 y la conexión entre el primer componente 801 y el segundo componente 802 puede sellarse por un primer sello 871. El hidrógeno dentro de la zona de alta presión 870 puede comprimirse y, como resultado, incrementar en presión a medida que se forma más y más hidrógeno en la zona de alta presión 870. El hidrógeno en la zona de alta presión 870 puede comprimirse a una presión que es mayor a 15 000 psi. La presión dentro de la zona de alta presión 870 puede aplicar una fuerza de separación sobre el primer componente 801 y el segundo componente 802.

Tal como se muestra en la FIG. 8, el primer sello 871 puede configurarse para extenderse alrededor del exterior de los canales comunes 804. Los canales comunes 804 pueden configurarse para suministrar o descargar un primer fluido 872 desde la zona de alta presión 870. Los canales comunes 804 pueden estar en comunicación fluida con canales comunes de celdas electroquímica es adyacentes en un compresor electroquímico de celdas múltiples.

El segundo sello 881 puede definir la circunferencia externa de la zona de presión intermedia 880. La zona de presión intermedia 880 puede comprender un volumen de presión intermedio 883 delimitado por el primer sello 871, el segundo sello 881, el primer componente 801 y el segundo componente 802. La zona de presión intermedia 880 puede configurarse para contener un segundo fluido 882. La zona de presión intermedia 880 puede comprender además uno o más puertos de presión intermedia 884.

El volumen de presión intermedia 883 puede configurarse para recolectar y dirigir el segundo fluido 882 a los puertos de presión intermedia 884. Tal como se muestra en la FIG. 8, el volumen de presión intermedia 883 puede extenderse alrededor de la circunferencia de la zona de alta presión 870 separada por el primer sello 871. El área del corte transversal y el volumen del volumen de presión intermedia 883 pueden variar con base en la geometría del primer componente 801, el segundo componente 802, el primer sello 871 y el segundo sello 881.

En otras formas de realización, el volumen de presión intermedio 883 puede separarse en una pluralidad de volúmenes de presión intermedia 883, por ejemplo 2, 3, 4 o más volúmenes de presión intermedia 883. La pluralidad de volúmenes

de presión intermedia 883 puede separarse por una pluralidad de sellos. Tal como se muestra en la FIG. 8, el volumen de presión intermedia 883 puede separarse en dos volúmenes de presión intermedia 883. Por ejemplo, tal como se muestra en la FIG. 8, el primer sello 871 puede extenderse a través del volumen de presión intermedia 883 al segundo sello 881. Las porciones del primer sello 881 que se extienden alrededor de los canales comunes 804 pueden conectarse con el segundo sello 882 que separa el volumen de presión intermedia 883 en dos volúmenes de presión intermedia 883.

Tal como se muestra en la FIG. 8, uno o más volúmenes de presión intermedia 883 pueden, cada uno, estar en comunicación fluida con uno o más puertos de presión intermedia 884. Los puertos de presión intermedia 884 pueden configurarse para descargar el segundo fluido 882 que se contiene dentro de los volúmenes de presión intermedia 883. La forma de puertos de presión intermedia 884 puede variar. Por ejemplo, los puertos de presión intermedia 884 pueden ser cuadrados, rectangulares, triangulares, oligo anales, circulares, ovales o de otra forma. La cantidad de puertos de presión intermedia 884 por volumen de presión intermedia 883 puede variar desde 1 hasta aproximadamente 25 o más. El área del corte transversal de los puertos de presión intermedia 884 puede variar. Por ejemplo, el diámetro de los puertos de presión intermedia 884 circulares puede estar en el intervalo desde menos de aproximadamente 0,1 pulgadas a aproximadamente 1 pulgada o más. Tal como se muestra en la FIG. 8, los puertos de presión intermedia 884 pueden espaciarse uniformemente entre el primer sello 871 y el segundo sello 881 y distribuirse uniformemente a lo largo de la longitud de la placa bipolar 800. En otras formas de realización, los puertos de presión intermedia 884 pueden extender la circunferencia completa de la zona de presión intermedia 880.

El segundo fluido 882 descargado a través de los puertos de presión intermedia 884 puede alimentarse nuevamente a la celda electroquímica 100. Por ejemplo, el segundo fluido 882 puede devolverse a la zona de presión intermedia 180. En otras formas de realización, el segundo fluido 882 que se ha descargado a través de los puertos de presión intermedia 884 puede recolectarse y reciclarse. El segundo fluido 882 en la zona de presión intermedia 880 puede generalmente ser de presión más baja que el primer fluido 872 en la zona de alta presión 870.

El tercer sello 891 puede definir una zona de baja presión 890 y configurarse para contener un tercer fluido 892 dentro de la zona de baja presión 890. La zona de baja presión 890 puede comprender un volumen de presión baja 893 que está delimitado por el segundo sello 881, el tercer sello 891, el primer componente 801 y el segundo componente 802. La zona de baja presión 890 puede configurarse para contener un tercer fluido 892. La zona de baja presión 890 puede comprender además uno o más puertos de baja presión 894.

El volumen de baja presión 893 puede configurarse para recolectar y dirigir el tercer fluido 892 a los puertos de baja presión 894. Tal como se muestra en la FIG. 8, el volumen de baja presión 893 puede extenderse alrededor de la circunferencia de la zona de presión intermedia 880 que se separa por el segundo sello 881. El área y el volumen del corte transversal del volumen de presión baja 893 pueden variar con base en la geometría del primer componente 801, del segundo componente 802, del segundo sello 801 y del tercer sello 891. Según diversas formas de realización, el volumen de presión intermedia 883 puede ser más o menos que el volumen del volumen de baja presión 893.

En otras formas de realización, el volumen de baja presión 893 puede separarse en una pluralidad de volúmenes de presión intermedia 893, por ejemplo 2, 3, 4 o más volúmenes de baja presión 893. La pluralidad de volúmenes de baja presión 893 puede separarse por una pluralidad de sellos. Tal como se muestra en la FIG. 9, el volumen de baja presión 893 puede separarse en dos volúmenes de baja presión 893. Por ejemplo, uno o más sellos de puente 895 pueden extenderse a través del volumen de baja presión 883 desde un segundo sello 881 hasta un tercer sello 891.

Tal como se muestra en la FIG. 8, uno o más volúmenes de baja presión 893 pueden estar, cada uno, en comunicación fluida con uno o más puertos de baja presión 894. Los puertos de baja presión 894 pueden configurarse para descargar el tercer fluido 892 que está contenido dentro de los volúmenes de baja presión 893. La forma de los puertos de baja presión 894 puede variar. Por ejemplo, los puertos de baja presión 894 pueden ser cuadrados, rectangulares, triangulares, poligonales, circulares, ovales o de otra forma. El número de puertos de baja presión 894 por volumen de baja presión 893 puede variar de 1 a aproximadamente 50 o más. El área de corte transversal de los puertos de baja presión 894 puede variar. Por ejemplo, el diámetro de los puertos de baja presión 894 circulares puede estar en un intervalo de menos de aproximadamente 0,1 pulgada a aproximadamente 1 pulgada o más. Tal como se muestra en la FIG. 8, los puertos de baja presión 894 pueden estar espaciados entre el segundo sello 881 y el tercer sello 891 y escalonarse de modo uniforme a lo largo de la longitud de la placa bipolar 800. En otras formas de realización, los puertos de baja presión 894 pueden extender la circunferencia completa de la zona de baja presión 890.

El tercer fluido 892 que se descarga a través de los puertos de baja presión 894 puede suministrarse nuevamente a la celda electroquímica 100. Por ejemplo, el tercer fluido 892 puede volver a la zona de baja presión 190. En otras formas de realización, el tercer fluido 892 que se descarga a través de puertos de presión intermedia 894 puede recolectarse y reciclarse. El tercer fluido 892 en la zona de baja presión 890 puede ser generalmente de presión más baja que el primer fluido 872 en la zona de alta presión 870 y el segundo fluido 882 en la zona de presión intermedia 880.

La configuración de sello en cascada entre primer componente 801 y el segundo componente 802, tal como se ha descrito antes, puede ponerse en práctica en la placa bipolar 150 y 160 de la celda electroquímica 100, tal como se ha descrito antes. En otras formas de realización, la configuración de sello en cascada entre los componentes 801 y 802

puede ponerse en práctica en otras celdas electroquímicas como en las cuales no se utiliza una configuración de sello en cascada entre las dos placas bipolares. Por lo tanto, ambas configuraciones de sello en cascada, tal como se han descrito antes, pueden ser independientes una de otra de manera tal que cualquiera pueda utilizarse individualmente en una celda electroquímica o pueda utilizarse conjuntamente en la misma celda electroquímica.

5 En algunas formas de realización, el primer componente 801 y el segundo componente 802 pueden incluir características de enganche. Las características de enganche pueden formar una geometría de emparejamiento que es suficiente para asegurar conjuntamente el primer componente 801 y el segundo componente 802. Por ejemplo, el primer componente 801 puede comprender una o más protuberancias y el segundo componente 802 puede comprender una o más hendiduras. Sin embargo, se contempla además que el primer componente 801 y el segundo componente 802
10 puedan comprender diversos mecanismos de unión. Las características de enganche pueden comprender diversas formas y tamaños. Por ejemplo, pueden formarse protuberancias y hendiduras con forma cilíndrica, redonda, elíptica, rectangular o cuadrada. De manera adicional, las protuberancias y hendiduras pueden incluir diversas formas poligonales.

15 Tal como se muestra en la FIG. 8, las características de enganche pueden incluir diversas conexiones que se configuran para sellar el primer componente 801 y el segundo componente 802. Por ejemplo, las características de enganche pueden incluir un primer sello 871, un segundo sello 881 y un tercer sello 891 y la cavidad de sello correspondiente en la cual estos pueden descansar. El primer componente 801 y el segundo componente 802 pueden incluir una pluralidad de cavidades de sello que se configuran para recibir al menos una porción de un primer sello 871, un segundo sello 881 y un tercer sello 891. Cada cavidad de sello puede comprender una extrusión en el primer componente 801, el segundo
20 componente 802 o ambos componentes 801 y 802. Las dimensiones de extrusión y la geometría pueden corresponder a las dimensiones y a la geometría de corte transversal del primer sello 871, del segundo sello 881 y del tercer sello 891.

En otras formas de realización, la cantidad de zonas de presión entre el primer componente 801 y el segundo componente 802 puede ser mayor o menor a tres (es decir, alta, intermedia y baja). Por ejemplo, un primer componente 801 y un segundo componente 802 podrían comprender sólo dos zonas de presión (por ejemplo, alta y baja) o podrían comprender cuatro, zonas de presión (por ejemplo, alta-alta, alta, intermedia y baja). En otra forma de realización, las zonas de presión pueden organizarse en cascada, pero no caer en cascada secuencialmente en presión.

[Pueden proporcionarse más detalles]

Una placa bipolar similar a la placa bipolar 800 que tiene solamente dos zonas de presión podría comprender un primer componente, un segundo componente, un sello formado entre los dos componentes que separan las dos zonas de presión, un volumen que rodea el sello y al menos un puerto en comunicación fluida con el volumen configurado para el fluido descargado, recolectado en el volumen.
30

En otras formas de realización, se contempla que el volumen circundante pueda configurarse para extenderse alrededor de sólo una porción del sello. Por ejemplo, las cámaras de volumen podrían distribuirse alrededor de la circunferencia de cada sello dentro de cada zona de presión.

35 Durante la operación, la configuración de sello en cascada entre primer componente 801 y el segundo componente 802, tal como se ha descrito antes, puede habilitar la recolección y el reciclaje o la recuperación del líquido filtrado desde la zona de alta presión 870 a la zona de presión intermedia 880 y la zona de baja presión 890 entre los componentes 801 y 802. Tal como se ha mencionado antes, el primer fluido 872 dentro de la zona de alta presión 870 puede comprimirse a presiones que exceden 15 000 psi. La presión del primer fluido 872 puede aplicar a una fuerza de separación sobre el primer sello 871, el primer componente 801, y un segundo componente 802. Cuando la fuerza de acoplamiento del primer componente 801 y el segundo componente 802 es suficiente para contrarrestar la fuerza de separación y mantener la conexión, y el primer sello 871 está funcionando apropiadamente, entonces puede impedirse que el primer fluido 871 se filtren desde la zona de alta presión 870 más allá del primer sello 871 a la zona de presión intermedia 880.
40

45 Por otra parte, cuando la fuerza de acoplamiento es insuficiente para mantener la conexión, o el primer sello 871 funciona mal, el primer fluido 872 puede filtrarse desde la zona de alta presión 870 más allá del primer sello 871 a la zona de presión intermedia 880. El primer fluido 872 filtrado a la zona de presión intermedia 880 puede recolectarse en volumen de presión intermedio 883 y constituir un segundo fluido 882. El primer fluido 872/el segundo fluido 882 que se recolectan en el volumen de presión intermedia 883 pueden fluir dentro y fuera a través de puertos de presión intermedia 884. El fluido descargado (es decir, el primer fluido 872/el segundo fluido 882) puede reciclarse o recuperarse antes que perderse, lo cual era tradicionalmente el caso en otros diseños bipolares de dos partes.
50

La zona de baja presión 890 puede proporcionar un nivel adicional de protección ante las fugas. El segundo fluido 882 que se filtra más allá del segundo sello 881 puede recolectarse en el volumen de baja presión 893 y constituir el tercer fluido 892. El segundo fluido 882/el tercer fluido 892 que se recolectan pueden fluir dentro y fuera a través de los puertos de baja presión 894. Como el otro fluido descargado, el segundo fluido 882/el tercer fluido 892 pueden reciclarse o recuperarse. El flujo a través de los puertos de presión intermedia 884 y los puertos de baja presión 894 pueden controlarse corriente abajo. Por ejemplo, una o más válvulas pueden abrir o cerrar para permitir que se descargue el fluido. El flujo a través de puertos de presión intermedia 884 puede ser continuo o intermitente.
55

5 El método para usar la configuración de sello en cascada puede comprender recolectar el fluido (por ejemplo, el primer fluido 872, el segundo fluido 882 y el tercer fluido 892) con diferentes volúmenes (por ejemplo volumen de presión intermedia 883 o volumen de baja presión 893) separados por una pluralidad de sellos (por ejemplo, el primer sello 871, el segundo sello 881 y el tercer sello 891) y descargar el fluido recolectado a través de los puertos de presión (por ejemplo, puertos de presión intermedia 884 y puertos de baja presión 894) y luego reciclar el fluido descargado.

Otras formas de realización de la presente divulgación serán obvias para aquellos expertos en la técnica a partir de la consideración de la especificación y de la práctica de la presente divulgación. Se pretende que la especificación y los ejemplos sean considerados solamente como ejemplos, en cuyo caso el verdadero alcance de la presente divulgación se indica en las reivindicaciones siguientes.

10

REIVINDICACIONES

1. Una celda electroquímica (100) que comprende:
 - un par de placas bipolares (150, 160) y un montaje de electrodo de membrana (140) localizado entre el par de placas bipolares, en la cual el montaje de electrodo de membrana comprende un ánodo (110), un cátodo (120), y una membrana de intercambio de protones (130) dispuesta en medio de las mismas;
 - un primer sello (171) que define una zona de alta presión (170), en la cual el primer sello se localiza entre las placas bipolares y se configura para contener un primer fluido (172) dentro de la zona de alta presión;
 - un segundo sello (181) que define una zona de presión intermedia (180), en la cual el segundo sello se localiza entre las placas bipolares y se configura para contener un segundo fluido (182) dentro de la zona de presión intermedia; y
 - un par de estructuras de flujo (805) que tienen capas de difusión de gas, en la cual las estructuras de flujo se posicionan entre las placas bipolares a cada lado del montaje de electrodo de membrana (140);
 - en la cual el primer sello (171) se configura para filtrar el primer fluido (172) hacia la zona de presión intermedia (180) cuando se retira el primer sello; y
 - en la cual al menos una de las placas bipolares incluye un primer componente (801) y un segundo componente (802) y tiene una configuración de sello en cascada dispuesta entre el primer componente y el segundo componente, y el primer componente y el segundo componente definen un vacío (803) que alberga una porción de una de las estructuras de flujo.
2. La celda electroquímica (100) de la reivindicación 1, que comprende además un tercer sello (191) que define una zona de baja presión (190) configurada para contener un tercer fluido (192) dentro de la zona de baja presión, en la cual el segundo sello (181) se configura para filtrar el segundo fluido (182) en la zona de baja presión cuando se retira el segundo sello.
3. La celda electroquímica (100) de la reivindicación 2, en la cual el primer sello (171) se contiene dentro del segundo sello (181) y el segundo sello se contiene con el tercer sello.
4. La celda electroquímica (100) de la reivindicación 2, en la cual el primer sello (171), el segundo sello (181), y el tercer sello tienen un corte transversal generalmente rectangular cuando no están comprimidos.
5. La celda electroquímica (100) de la reivindicación 2, en la cual el grosor del tercer sello es superior al del segundo sello (181) y el grosor del segundo sello es más grande que el primer sello (171).
6. La celda electroquímica (100) de la reivindicación 2, en la cual el primer fluido (172) es hidrógeno a alta presión, el segundo fluido (182) es hidrógeno a baja presión y el tercer fluido es fluido refrigerante.
7. La celda electroquímica (100) de la reivindicación 2, en la cual el tercer fluido es nitrógeno y la zona de baja presión incluye una manta de nitrógeno que rodea la celda electroquímica configurada para detectar una fuga de al menos uno del primer fluido (172) y el segundo fluido (182) desde dentro de la celda electroquímica.
8. La celda electroquímica (100) de la reivindicación 2, que además comprende un transmisor de presión que monitorea una presión del tercer fluido y en cuyo caso la celda electroquímica se configura para pagarse antes que el tercer fluido alcance una presión a la cual se retira el tercer sello.
9. La celda electroquímica (100) de la reivindicación 2, en la cual el primer sello (171), el segundo sello (181), y el tercer sello dentro del par de placas bipolares (150, 160) se configuran para permanecer insertados, lo cual previene la fuga del primer fluido (172), del segundo fluido (182), y el tercer fluido, cuando una fuerza de cierre que se está aplicando al par de placas bipolares (150, 160) es mayor a la fuerza de abertura dentro del par de placas bipolares.
10. La celda electroquímica (100) de la reivindicación 2, en la cual el primer sello (171) se configura para retirar antes que el segundo sello (181) o el tercer sello lo que causa que el primer fluido (172) se filtra más allá del primer sello a la zona de presión intermedia (180) cuando una fuerza de cierre aplicada al par de placas bipolares (150, 160) se aproxima a una fuerza de abertura dentro del par de placas bipolares, lo cual causa una primera separación del par de placas bipolares.
11. La celda electroquímica (100) de la reivindicación 10, en la cual el segundo sello (181) se configura para retirarse, lo cual causa que el segundo fluido (182) se filtre más allá del segundo sello hacia la zona de baja presión cuando la fuerza de cierre se aproxima además a la fuerza de abertura, lo que causa una segunda separación del par de placas bipolares (150, 160).

12. La celda electroquímica (100) de la reivindicación 10, en la cual la celda se dispone de manera tal que el primer fluido (172) que se filtra a la zona de presión intermedia (180) se combina con el segundo fluido (182) y se recicla y el segundo fluido que se filtra a la zona de baja presión se combina con el tercer fluido y fluye fuera de la celda electroquímica y se recupera.
- 5 13. La celda electroquímica (100) de la reivindicación 2, que comprende además un par de sello secundarios, localizados afuera del primer sello (171) y adentro del segundo sello (181), en la cual el par de sello secundarios define dos zonas secundarias de alta presión en comunicación fluida con la zona de alta presión (170).
14. Un método de ajuste de la fuerza de cierre de una celda electroquímica (100) que tiene una configuración de sello en cascada y el método comprende:
- 10 proporcionar una celda electroquímica que tiene una pluralidad de sellos en una configuración de sello en cascada;
- aplicar una fuerza de cierre inicial a la celda electroquímica con base en la presión de operación esperada;
- operar la celda electroquímica;
- monitorear la presión de la celda electroquímica; y
- ajustar la fuerza de cierre aplicada a la celda electroquímica con base en la presión monitoreada.

15

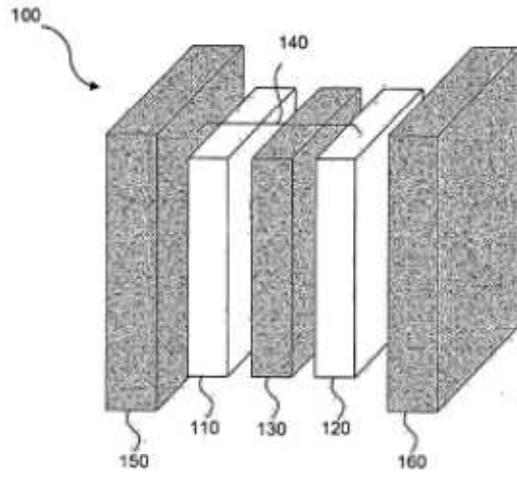


FIG. 1

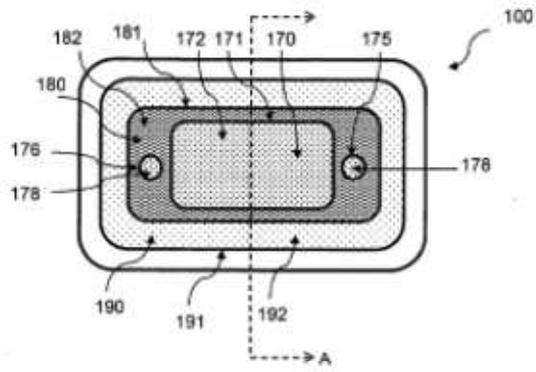


FIG. 2A

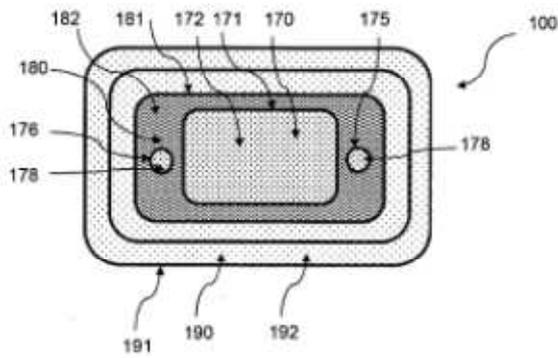


FIG. 2B

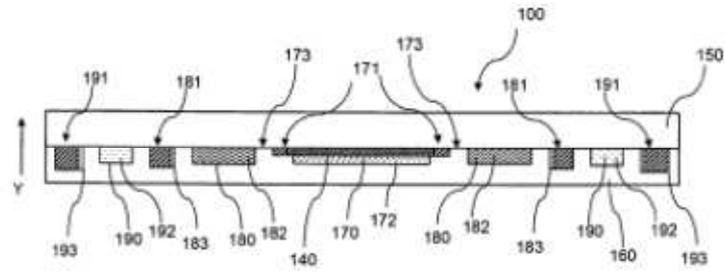


FIG. 3A

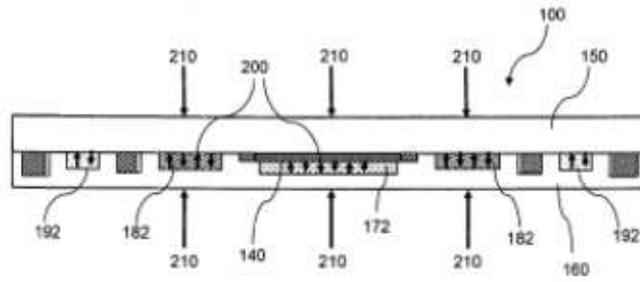


FIG. 3B

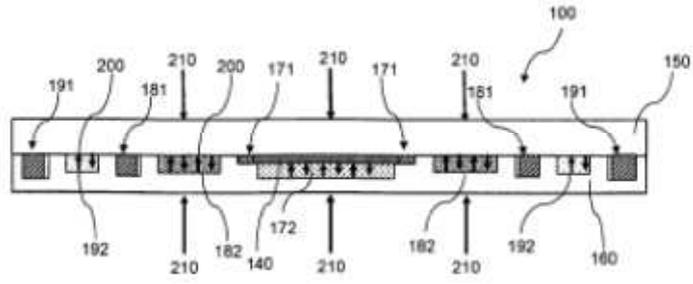


FIG. 4A

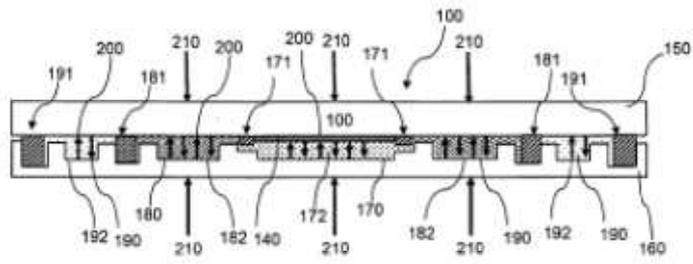


FIG. 4B

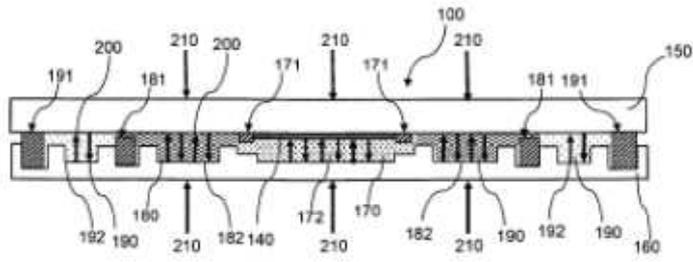


FIG. 4C

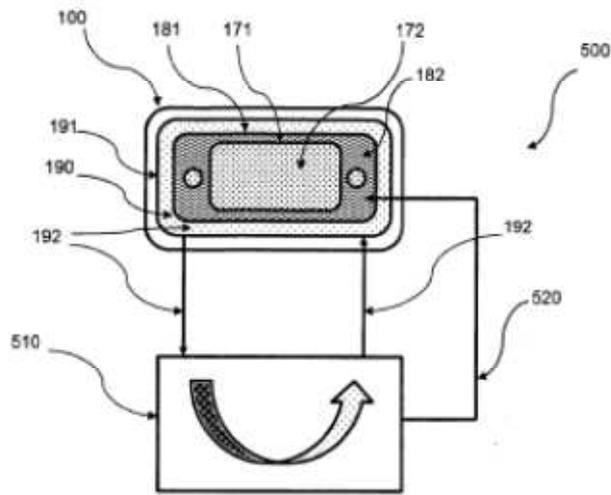


FIG. 5

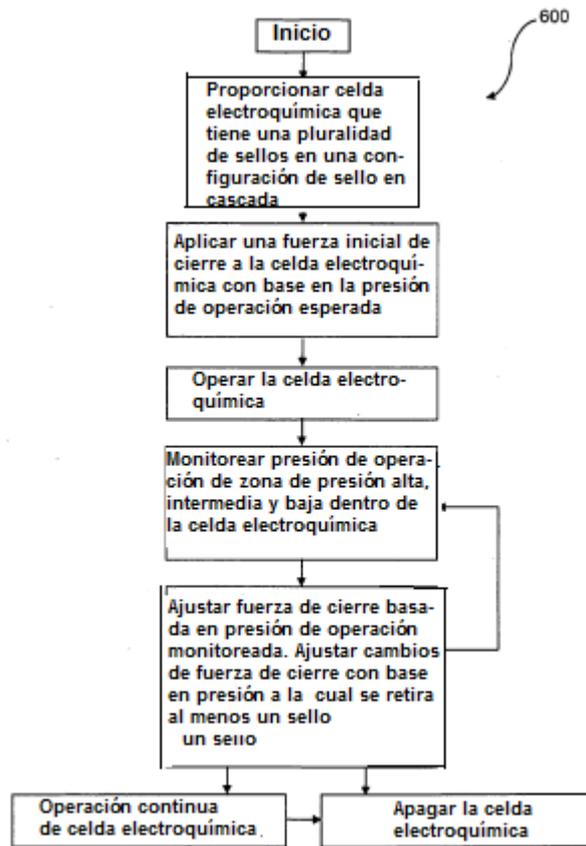


FIG. 6

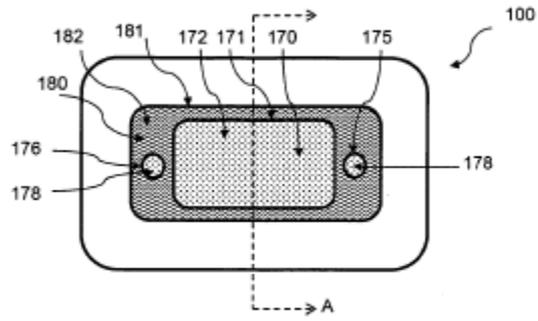


FIG. 7

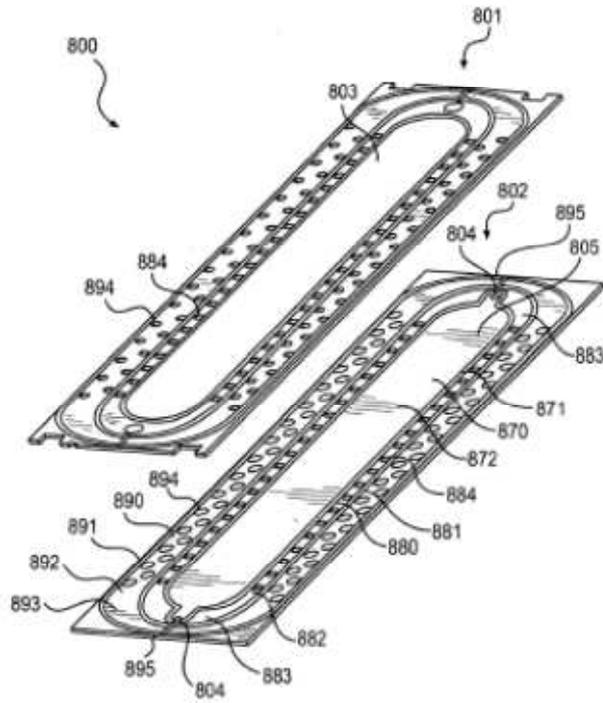


FIG. 8