

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 625 172**

51 Int. Cl.:

C25B 15/02	(2006.01) H01M	(2006.01)
C25B 1/08	(2006.01) H01M	(2006.01)
C25B 9/20	(2006.01)	
H01M 8/04	(2006.01)	
H01M	(2006.01)	
H01M	(2006.01)	
H01M	(2006.01)	
C25B 1/02	(2006.01)	
H01M	(2006.01)	
H01M 8/0432	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.07.2014 PCT/US2014/046861**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **22.01.2015 WO15009835**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.07.2014 E 14750397 (3)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.04.2017 EP 3022335**

54 Título: **Celda electroquímica y método para ajustar una pila de celdas electroquímicas**

30 Prioridad:

19.07.2013 US 201361856494 P
14.07.2014 US 201414330474

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
18.07.2017

73 Titular/es:

NUVERA FUEL CELLS, INC. (100.0%)
129 Concord Road, Building 1
Billerica, MA 01821, US

72 Inventor/es:

BLANCHET, SCOTT;
YOON, WONSEOK y
QUET, PIERRE-FRANÇOIS

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 625 172 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 y método para ajustar una pila de celdas electroquímicas

5 Esta solicitud reivindica el beneficio de la solicitud provisional de los Estados Unidos núm. 61/856,494, presentada el 19 de julio de 2013.

Las modalidades de la presente descripción se relacionan con celdas electroquímicas, y más específicamente, con un sistema y método para el ajuste de al menos una celda electroquímica en un pila de celdas electroquímicas.

10

Las celdas electroquímicas, normalmente clasificadas como celdas de combustible o celdas de electrólisis, son dispositivos para generar corriente a partir de reacciones químicas, o 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 (por ejemplo, aire u oxígeno) en electricidad y productos de desecho de calor y agua. Una celda de electrólisis representa una celda de combustible que funciona a la inversa. Una celda de electrólisis funciona como un generador de hidrógeno al descomponer el agua en gases de hidrógeno y oxígeno cuando se aplica un potencial eléctrico externo.

15

20

La tecnología básica de una celda de combustible o una celda de electrólisis puede aplicarse a la manipulación electroquímica del hidrógeno, tal como, compresión electroquímica de hidrógeno, purificación o expansión. Por ejemplo, puede usarse un compresor electroquímico de hidrógeno (EHC) para transferir selectivamente hidrógeno desde un lado de una celda a otro. Un EHC puede comprender una membrana de intercambio de protones emparedado entre un primer electrodo (por ejemplo, un ánodo) y un segundo electrodo (por ejemplo, un cátodo). Un gas que contenga hidrógeno puede hacer contacto con el primer electrodo y se puede aplicar una diferencia de potencial entre el primer y el segundo electrodos. En el primer electrodo, las moléculas de hidrógeno pueden oxidarse y la reacción puede producir dos electrones y dos protones. Los dos protones son accionados electroquímicamente a través de la membrana hasta el segundo electrodo de la celda, donde son reintegrados por dos electrones reorientados y reducidos para formar una molécula hidrógeno. Las reacciones que tienen lugar en el primer electrodo y el segundo electrodo se pueden expresar como ecuaciones químicas, como se muestra más abajo.

25

30

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

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

Reacción electroquímica global: $H_2 \rightarrow H_2$

35

Los EHC que funcionan de esta manera se denominan normalmente como bombas de hidrógeno. Cuando el hidrógeno acumulado en el segundo electrodo está restringido a un espacio confinado, la presión dentro del espacio aumenta, comprimiendo el hidrógeno. La máxima presión o régimen de flujo que una celda individual es capaz de producir puede limitarse sobre la base del diseño de la celda.

40

Para lograr una mayor compresión o una presión mayor, se pueden unir múltiples celdas en paralelo o en serie en una pila EHC para aumentar la capacidad de flujo (es decir, el flujo de gas total) de un EHC. En funcionamiento, una corriente eléctrica se suministra a la pila EHC para hacer que el hidrógeno en cada celda se mueva de un lado de la membrana al otro lado. En una pila con más de una celda, la corriente eléctrica pasa a través de todas las celdas, mientras que la tensión aplicada a la pila se divide entre las celdas en la pila. Mientras que idealmente la tensión se dividiría por igual entre las celdas, en realidad la tensión varía entre las celdas. La tensión de una celda puede ser variada debido a la corrosión bipolar de la placa, la degradación del catalizador, o la degradación de la membrana.

45

50

Las celdas electroquímicas que tienen mayor tensión consumen más energía para comprimir la misma cantidad de hidrógeno. Como consecuencia, estas celdas pueden producir más calor y operar a una mayor temperatura que otras celdas que funcionan a una tensión más baja. Las altas temperaturas pueden hacer que las celdas de alta tensión se degraden con el tiempo, lo que, a su vez, puede además aumentar la tensión de las celdas de alta tensión. Este ciclo de retroalimentación puede continuar conduciendo a un fallo prematuro de la celda. Por otra parte, estas celdas degradadas pueden disminuir la eficiencia general de la pila EHC, afectando negativamente a otras celdas. Si bien esto puede solucionarse desmontando la pila EHC y retirando las celdas de alta tensión, tales métodos son costosos y problemáticos ya que las celdas degradadas están conectadas eléctricamente y ensambladas físicamente en la pila.

55

El documento US-A1-2008/121532 se refiere a un aparato y a métodos operativos para sistemas electromecánicos integrados de separación de hidrógeno y sistemas de compresión. Un potencial eléctrico se proporciona a través de una celda electroquímica, una porción de la cual se deriva a una carga eléctrica cuando el potencial es mayor que un umbral predeterminado. Un diodo Zener puede usarse como un mecanismo de derivación adecuado.

60

El documento EP-A1-0,629,015 se refiere a una celda de combustible que comprende una multiplicidad de elementos celulares, cada elemento formado por placas bipolares, colectores de corriente, electrodos y membranas, en donde la función de transmisión de corriente eléctrica a través de los elementos celulares, la liberación de calor hacia el medio exterior, la distribución de la corriente eléctrica a los electrodos y las membranas, la eliminación del calor de los

65

electrodos y las membranas y la distribución de los reactivos y productos se realizan por distintos componentes, en particular placas bipolares para los dos primeros y colectores electroconductores porosos para los demás.

5 El documento EP-A1-0,834,947 se refiere a un método para reparar electrolizadores de membrana o generadores electroquímicos cuando una celda elemental está funcionando mal, que comprende hacer al menos dos perforaciones en el área periférica de placas bipolares y/o juntas de la celda defectuosa para alcanzar canales de distribución que conectan los compartimentos que contienen los electrodos con ductos longitudinales. Se inyecta un medio de sellado a través de las perforaciones para formar oclusiones adecuadas en los canales de distribución y en las perforaciones, respectivamente. Al sellar los canales de distribución y las perforaciones, las placas bipolares que delimitan la celda defectuosa están cortocircuitadas externamente y el electrolizador o generador está listo para funcionar.

10 En consideración de las circunstancias mencionadas anteriormente, la presente descripción está dirigida a un sistema y método para ajustar el rendimiento de al menos una celda en una pila de celdas electroquímicas. El sistema puede reducir variaciones en las tensiones de la pila de celdas electroquímicas durante el funcionamiento. Además, el sistema puede "afinar" el funcionamiento de una o más celdas deterioradas al tiempo que permite la operación continua de la pila de celdas electroquímicas.

15 Al menos un aspecto de la invención se dirige a un método para ajustar el desempeño de al menos una celda electroquímica en una pila de celdas electroquímicas, como se expone en la reivindicación 1.

20 Otro aspecto de la invención se dirige a una celda electroquímica, tal como se expone en la reivindicación 10.

25 Los aspectos y/o las ventajas adicionales de la invención que se exponen en parte en la descripción que sigue y, en parte, serán obvios a partir de la descripción, o pueden aprenderse llevando a la práctica la invención. Las ventajas descritas más abajo se comprenderán y alcanzarán por medio de los elementos y combinaciones particularmente destacadas en las reivindicaciones anexas.

30 Deberá entenderse que la descripción general anterior y la siguiente descripción detallada son sólo ilustrativas y aclaratorias y no limitan la invención, como se reivindica.

Las figuras acompañantes, las cuales se incorporan y constituyen una parte de esta especificación, ilustran varias modalidades de la invención y, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención.

35 La Figura 1 es una vista esquemática de un sistema que incluye una pila de celdas electroquímicas y una resistencia de derivación de acuerdo con una modalidad ilustrativa.

La Figura 2 es una vista esquemática en perspectiva de la pila de celdas electroquímicas, de acuerdo con una modalidad ilustrativa.

40 La Figura 3 es una vista superior de una porción de una celda electroquímica que tiene un área de derivación configurada para recibir el resistor de derivación de acuerdo con una modalidad ilustrativa.

45 La Figura 4 es una vista lateral de la pila de celdas electroquímicas, que tiene un resistor de derivación situado entre dos placas bipolares, de acuerdo con una modalidad ilustrativa.

La Figura 5 es una vista lateral de una porción de la pila de celdas electroquímicas que tiene una derivación variable situada entre dos placas bipolares de acuerdo con otra modalidad ilustrativa.

50 La Figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra un método de ajuste del rendimiento de las celdas en una pila electroquímica, de acuerdo con otra modalidad ilustrativa.

La Figura 7 es un diagrama esquemático de un sistema que incluye convertidores bidireccionales, de de acuerdo con una modalidad ilustrativa.

55 La Figura 8 es un diagrama de un convertidor bidireccional, de acuerdo con una modalidad ilustrativa.

60 Se hará referencia ahora en detalle a las modalidades ilustrativas de la presente descripción, cuyos ejemplos se ilustran en los dibujos acompañantes. Donde quiera que sea posible, los mismos números de referencia se usarán a lo largo de todos los dibujos para referirse a las mismas partes o partes similares. Aunque se describe en relación con las celdas electroquímicas empleando hidrógeno, se entiende que los sistemas y métodos de la presente descripción se pueden emplear con diversos tipos de celdas de combustible y celdas electroquímicas, incluyendo, pero sin limitarse a, celdas de electrólisis, purificadores de hidrógeno, expansores de hidrógeno y compresores de hidrógeno.

65 La Figura 1 muestra una vista lateral de un sistema ilustrativo 20. El sistema 20 incluye una pila de celdas electroquímicas 50 formada de múltiples celdas electroquímicas. Cada celda electroquímica 100 incluye un área activa 80, que se expone a gas de hidrógeno. El área 80 abarca un ánodo 110, un cátodo 120 y una membrana de intercambio

de protones (PEM) 130 dispuesta entre el ánodo 110 y el cátodo 120. La PEM 130 puede comprender una membrana de polímero puro o membrana de material compuesto, donde otro material, por ejemplo, sílice, heteropoliácidos, fosfatos de metal estratificado, fosfatos, y fosfatos de zirconio pueden embeberse en una matriz polimérica. La PEM 130 puede ser permeable a los protones mientras puede no conducir electrones. El ánodo 110 y el cátodo 120 pueden comprender 5 electrodos de carbono porosos que contienen un catalizador de capa (no mostrados). El material catalizador, por ejemplo platino, puede aumentar la velocidad de reacción.

La celda electroquímica 100 puede comprender además dos placas bipolares 150. Las dos placas bipolares 150 pueden actuar como placas de soporte, conductores, proporcionar pasajes para las respectivas superficies de electrodos para el 10 gas de hidrógeno, y proporcionar pasajes para la eliminación del hidrógeno comprimido. Las placas bipolares 150 también pueden incluir canales de acceso para un fluido de refrigeración (es decir, agua, glicol, o mezcla de agua y glicol). Las placas bipolares 150 pueden estar hechas de aluminio, acero, acero inoxidable, titanio, cobre, aleación de Ni-Cr, grafito o cualquier material eléctricamente conductor.

Múltiples celdas electroquímicas 100 se pueden unir en serie o en paralelo para formar una pila de celdas electroquímicas 50. En la modalidad ilustrativa, múltiples celdas electroquímicas 100 están apiladas en paralelo para formar una pila de celdas electroquímicas de una sola etapa 50. La pila de celdas electroquímicas 50 puede comprender cualquier número adecuado de celdas electroquímicas 100. Por ejemplo, en la modalidad mostrada en la Figura 1, la pila de celdas electroquímicas 50 incluye tres celdas electroquímicas 100. Se entiende, sin embargo, que una pila 20 celdas electroquímicas 50 puede incluir un número mayor o menor de celdas electroquímicas.

Las placas bipolares 150 pueden separar cada celda electroquímica 100 de las celdas adyacentes en una pila de celdas electroquímicas 50. En algunas modalidades, cada celda electroquímica 100 en la pila 50 comprende dos placas bipolares 150, una a cada lado del conjunto de la membrana-electrodo (MEA), es decir, si la pila 50 comprende n 25 celdas, entonces el número total de placas bipolares 150 en la pila 50 es $2n$. En algunas otras modalidades, dos celdas electroquímicas adyacentes 100 en la pila 50 comparten una placa bipolar 150, es decir, si la pila 50 comprende n celdas, entonces el número total de placas bipolares 150 en la pila 50 es de $(n + 1)$.

En funcionamiento, de acuerdo con una modalidad ilustrativa, el gas de hidrógeno puede proveerse a la zona activa 30 80. Una tensión se puede aplicar a la pila de celdas electroquímicas 50, de manera que un potencial eléctrico se puede aplicar entre el ánodo 110 y el cátodo 120, en donde el potencial en el ánodo 110 es mayor que el potencial en el cátodo 120. Además, una corriente eléctrica se suministra a la pila de celdas electroquímicas 50 para hacer que el hidrógeno en cada celda sea electroquímicamente transportado o "bombeado" a través del PEM 130 mientras que los electrones son desviados alrededor del PEM 130. En el cátodo 120, en el lado opuesto del PEM 130, los protones transportados y los 35 electrones reorientados se reducen para formar hidrógeno. A medida que más y más hidrógeno se forma en el cátodo 120, el hidrógeno puede ser comprimido y presurizado dentro de un espacio confinado.

Como se indicó anteriormente, en una pila de celdas electroquímicas con múltiples celdas electroquímicas, la corriente eléctrica suministrada a la pila pasa a través de todas las celdas, mientras que la tensión aplicada a la pila se divide 40 entre las celdas de la pila. Mientras que idealmente la tensión se dividiría por igual entre las celdas, en realidad la tensión varía entre las celdas. Por ejemplo, la tensión de la celda puede variar de 0,01 a 1,0 V/celda en una pila. Como consecuencia, la generación de calor causada por el paso de la corriente a través de la celda (por ejemplo, calentamiento óhmico) también puede variar entre las celdas. El sistema descrito puede reducir variaciones en las tensiones de las celdas y el calentamiento óhmico mediante la derivación de celdas individuales que funcionan a altos 45 voltajes. En la modalidad ilustrativa, la derivación puede incluir el uso de un resistor de derivación 200 de un valor predeterminado (fijo), seleccionable por el usuario, o un valor de resistencia programable.

La Figura 2 es una vista esquemática ilustrativa de la pila de celdas electroquímicas 50. Como se muestra en la Figura 2, cada celda electroquímica 100 puede incluir al menos un área de derivación 220. El área de derivación 220 puede estar 50 ubicada en cualquier porción de la celda electroquímica 100 que es accesible desde fuera de pila de celdas electroquímicas 50. Por ejemplo, el área de derivación 220 puede estar situada fuera de los límites del área activa 80 en una esquina o borde de la celda electroquímica 100. En algunas modalidades, cada celda electroquímica 100 puede incluir múltiples áreas de derivación 220. En dichas modalidades, el área de derivación 220 puede estar situada en algunas o todas las esquinas de la celda electroquímica 100. De manera similar, se contempla que el área de derivación 55 220 pueda situarse en algunos o todos los bordes de la celda electroquímica 100.

Con referencia a la Figura 3, el área de derivación 220 puede dimensionarse para recibir un resistor de derivación 200. El resistor de derivación 200 puede ser cualquier dispositivo de baja resistencia conocido configurado para desviar una fracción de la corriente eléctrica suministrada al área activa 80 de una celda electroquímica individual a las celdas 60 vecinas. El resistor de derivación 200 puede posicionarse en la zona de derivación 220 de cada celda durante la producción, o insertarse en el área de derivación 220 durante el funcionamiento de la pila de celdas electroquímicas 50. La inserción puede completarse de forma manual o a través de medios automatizados.

Como se muestra en la Figura 3, el resistor de derivación 200 puede insertarse o retirarse del área de derivación 220 65 desde afuera de la pila electroquímica 50. Se contempla que el resistor de derivación 200 puede insertarse completa o

parcialmente en el área de derivación 220. Por ejemplo, el resistor de derivación 200 puede insertarse parcialmente en el área de derivación 220 para variar el área de derivación 200a que está en contacto con la celda electroquímica 100.

La Figura 4 es una vista lateral de la pila de celdas electroquímicas 50. Como se muestra en la Figura 4, cuando el resistor de derivación 200 está colocado en la zona de derivación 220, puede extenderse entre las placas bipolares 150 de una celda electroquímica individual. En aquellas modalidades en las que cada celda electroquímica 100 en una pila comprende dos placas bipolares, un resistor de derivación 200 puede colocarse entre las dos placas bipolares. En dichas modalidades (por ejemplo, la Figura 4), cuando dos celdas electroquímicas adyacentes 100 comparten una placa bipolar, el resistor de derivación 200 puede colocarse entre las placas bipolares 150 enlazando la celda electroquímica individual.

El resistor de derivación 200 puede componerse de cualquier material eléctricamente conductor tal como, por ejemplo, cobre, aluminio, acero inoxidable, latón, níquel, etc. El resistor de derivación 200 puede estar recubierto con oro, plata, estaño, un material semiconductor o cualquier otro conocido para minimizar la resistencia de contacto o lograr un valor deseado de resistencia. El tamaño, forma y/o sección transversal del resistor de derivación 200 puede variar. Por ejemplo, el tamaño y la forma del resistor de derivación 200 pueden ser suficientes para extenderse entre las placas bipolares 150 y el flujo de corriente continua a las celdas vecinas. El diseño del resistor de derivación también puede variar para incluir características de resorte para asegurar un contacto adecuado se mantiene entre placas adyacentes con variación en la separación de las placas causada por la fabricación y expansión térmica de la pila/celdas.

En ciertas modalidades, cada celda electroquímica 100 incluye uno o más dispositivos de alineación situados en cada esquina de la celda electroquímica 100. Los dispositivos de alineación pueden ser cualquier dispositivo mecánico conocido configurado para conectar dos celdas electroquímicas adyacentes. Por ejemplo, los dispositivos de alineación pueden comprender al menos un sujetador (por ejemplo, varilla, llave, etc.) configurado para ser recibido en rebajes o cerraduras (no mostradas) de placas bipolares adyacentes 150. Se contempla que los rebajes o cerraduras puedan ser conformados y dimensionados para ser complementarios de al menos un sujetador.

En ciertas modalidades, el resistor de derivación 200 puede insertarse, en lugar de los elementos de sujeción, en las escotaduras o cerraduras de las placas bipolares 150 enlazando una celda electroquímica. En algunas otras modalidades, el resistor de derivación 200 puede incluir uno o más mecanismos de bloqueo para bloquear o agarrar los elementos de fijación entre las placas bipolares 150. En modalidades alternativas, el resistor de derivación 200 puede ser colocado entre placas bipolares de la celda y fijado mecánicamente a la pila de celdas electroquímicas 50 o un bastidor que contiene la pila (no etiquetado) mediante el uso de elementos de fijación tradicionales, por ejemplo pernos, tornillos, etc.

Durante el uso, el resistor de derivación 200 puede usarse para ajustar la tensión través de una celda electroquímica dañada. Una celda electroquímica alterada puede definirse como una celda que tiene una tensión que es superior a un valor de tensión predeterminado. El valor de tensión predeterminado puede ser, por ejemplo, un valor predeterminado por el operador, una tensión promedio por celda de pilas electroquímicas 50, o la tensión mínima de una celda electroquímica 100 en la pila de celdas electroquímicas 50. Adicionalmente y/o alternativamente, la celda electroquímica dañada puede definirse como una celda donde el calentamiento óhmico, por ejemplo, la cantidad de calor liberado desde la celda debido al paso de la corriente a través de la celda, es mayor que un valor óhmico predeterminado. El valor óhmico predeterminado puede ser, por ejemplo, un valor predeterminado por el operador, una cantidad promedio de calor liberado por la pila de celdas electroquímicas 50, o la generación mínima de calor de una celda electroquímica 100 en la pila 50. La celda alterada también puede tener una temperatura, corriente, resistencia u otro parámetro asociado con la celda alterada que sea mayor que un valor umbral de una celda sana.

El resistor de derivación 200 puede tener un valor de resistencia específico distinto de cero para derivar parcialmente la celda electroquímica dañada y disminuir la tensión de dicha célula al valor de tensión predeterminado. En algunas modalidades, el valor de resistencia del resistor de derivación 200 se puede calcular sobre la base de una resistencia deseada y la resistencia real de la celda electroquímica dañada. La fórmula general para determinar el valor de resistencia de derivación es:

$$(1) \quad R_s = \frac{1}{\frac{1}{R_t} - \frac{1}{R_a}}$$

La resistencia deseada (R_t) de la celda puede ser la resistencia de una celda cuya tensión está siendo igualada. La resistencia real (R_a) se puede calcular basándose en la tensión de la celda electroquímica antes de ser derivada.

En otras modalidades, la resistencia del resistor de derivación 200 se puede calcular de manera que una cantidad de calor liberado de la celda electroquímica dañada pueda ser corregido para ser el mismo que para las celdas sanas. La fórmula para determinar el valor de resistencia de una derivación para que coincida con la generación de calor óhmico entre las celdas sanas y alteradas es:

(2)
$$R_s = \frac{R_a}{\sqrt{\frac{R_a}{R_t} - 1}}$$

5

Como anteriormente, R_t corresponde a una resistencia deseada de la celda, que puede ser la resistencia de una celda cuya tensión está siendo igualada. De manera similar, R_a corresponde a una resistencia real de la celda, que puede calcularse en base a la tensión de la celda electroquímica dañada antes de ser derivada. Usando la fórmula (2), el valor de resistencia calculado puede ser mayor que un valor de resistencia calculado derivado de la fórmula (1), discutida anteriormente. Esto puede ser efectivo para prolongar la vida útil de la celda de bajo rendimiento mientras se alcanza el rendimiento deseado de la pila 50 que de otra manera sería reducido mediante el uso de la fórmula (1) discutida anteriormente.

10

15

En ciertas modalidades, el resistor de derivación 200 puede ser una resistencia estática que tiene un valor de resistencia fijo. En algunas de estas modalidades, el resistor de derivación 200 puede insertarse parcialmente en el área de derivación 220. El área 200a del resistor de derivación 200 en contacto con la celda puede ajustarse para proporcionar la resistencia calculada. En algunas otras modalidades, un usuario puede seleccionar un resistor de derivación 200 de una pluralidad de resistores de derivación estáticos 200 que tienen un intervalo de valores de resistencia. El resistor de derivación seleccionado 200 puede tener una resistencia que coincida con la resistencia calculada, y puede ser insertado totalmente en el área de derivación 220.

20

25

En algunas otras modalidades como la modalidad ilustrativa de la Figura 5, el resistor de derivación puede comprender un resistor de derivación variable 210. El resistor de derivación variable 210 puede incluir circuitos electrónicos y circuitos integrados apropiados para permitir el cambio del valor de resistencia. El resistor de derivación variable 210 se puede construir para incluir, por ejemplo, la electrónica y los circuitos integrados entre dos contactos hechos de material eléctricamente conductor. La electrónica y los circuitos pueden diseñarse para recibir una entrada del usuario o programarse para tener una resistencia que varíe en función de la temperatura de la celda electroquímica dañada, la corriente suministrada, de la tensión través de la celda afectada o del valor de tensión predeterminado. En esta modalidad, el resistor de derivación 210 puede situarse en el área de derivación 220 durante la producción o puede insertarse en el área derivación 220 durante el funcionamiento de la pila de celdas electroquímicas 50. Los resistores de derivación variables ilustrativos incluyen transistores de unión bipolar (BJT) o transistores de efecto de campo de puerta de unión (JFET).

30

35

Los valores de resistencia requeridos para derivar las celdas electroquímicas dañadas pueden variar. Se contempla que, en algunas modalidades, la resistividad de las celdas electroquímicas 100 en la pila de celdas electroquímicas 50 puede variar entre 5 y 1000 mΩ-cm². Las celdas que tienen un área activa que varía de 5 a 1000 cm² pueden por lo tanto tener una resistencia global que varía de 0,005 a 200 mΩ. Como la densidad de la corriente puede variar de aproximadamente 0,05 a aproximadamente 10 A/cm², el resistor de derivación puede variar de aproximadamente 0,005 a 1000 mΩ.

40

45

En otras modalidades, el resistor de derivación 200 puede tener resistencia cero y actuar como un conductor puro. En estas modalidades, el resistor de derivación 200 puede usarse para desviar el flujo total de corriente eléctrica a la celda a través de resistor de derivación 200. Esto puede ser efectivo para cortocircuitar la celda afectada y aislar completamente la celda alterada de otras celdas en la pila de celdas electroquímicas 50.

50

La Figura 6 muestra un diagrama de flujo 300, para un método para ajustar el rendimiento de al menos una celda electroquímica en una pila de celdas electroquímicas. El método incluye proporcionar una pila de celdas electroquímicas 50, que puede tener múltiples celdas electroquímicas 100 como se describió anteriormente (etapa 310). A continuación, el método puede incluir suministrar gas de hidrógeno a la pila de celdas electroquímicas 50. También se puede aplicar una potencia a la pila 50 (etapa 320) y puede comenzar la operación (etapa 330).

55

Durante el funcionamiento, se puede controlar al menos un parámetro de una celda electroquímica 100 (etapa 340). El parámetro puede ser, por ejemplo, una tensión a través de al menos una celda, la resistencia de al menos una celda, la temperatura de al menos una celda, la densidad de corriente, etc. La monitorización del parámetro puede realizarse mediante variados medios, por ejemplo, un voltímetro, un ohmímetro, un sensor de temperatura, etc.

60

Adicionalmente y/o alternativamente se puede configurar un procesador para controlar un parámetro de cada celda electroquímica de la pila 50. El procesador puede ser cualquier procesador conocido que incluya memoria. La memoria puede ser cualquiera o más de una variedad de tipos de medios de almacenamiento internos o externos tales como, sin limitación, RAM, ROM, EPROM(es), EEPROM(es) y similares que proporcionan un registro de almacenamiento para almacenamiento de datos tal como en la forma de un área de almacenamiento interna de un ordenador, y puede ser memoria volátil o memoria no volátil. La memoria puede almacenar en ella varias rutinas que son ejecutables en el procesador. El procesador recibe señales de entrada de sensores asociadas con cada celda electroquímica y procesa las señales de salida enviadas a un aparato de salida.

65

5 En un ejemplo, un voltímetro podría estar asociado con cada celda y configurado para leer la tensión de cada celda durante el funcionamiento de la pila 50. Si la tensión de una celda individual es más alta que un punto de referencia de tensión crítica (etapa 350), el operador podría ser alertado para derivar la celda. El punto crítico de tensión puede, por ejemplo, corresponder al valor de tensión predeterminado. Si la tensión de una celda individual es mayor que el valor de tensión predeterminado, el operador puede ser alertado para reducir la tensión de la celda alterada mediante la celda electroquímica dañada (etapa 360). Como se ha descrito anteriormente, el valor de resistencia del resistor de derivación 200 puede calcularse sobre la base de una resistencia deseada y de la resistencia real de la celda a desviar.

10 En otra modalidad, un sensor de temperatura podría estar asociado con cada celda y configurado para detectar la temperatura de cada celda durante el funcionamiento de la pila 50. Si la temperatura de una celda individual es mayor que un punto de temperatura crítico, el operador podría ser alertado para derivar la celda. En esta modalidad, el valor de resistencia del resistor de derivación 200 puede calcularse basado en la fórmula (2) de manera que la celda alterada libera la misma cantidad de calor que las celdas sanas.

15 Una vez que se ha calculado el valor de la resistencia, el operador puede seleccionar un resistor de derivación 200 para posicionar en el área de derivación 220 de la celda a desviar. Como se ha descrito anteriormente, el resistor de derivación 200 puede ser un resistor estático que tiene un valor de resistencia fijo o un resistor de derivación variable 210 programado para tener el valor de resistencia calculado. El resistor de derivación seleccionado 200 puede colocarse entonces en el área de derivación 220 desde el exterior de la pila de celdas electroquímicas 50 durante el funcionamiento de la pila de celdas de electroquímicas 50. Alternativamente, si el resistor de derivación 200 se coloca en el área de derivación durante la producción, el operador puede hacer que el resistor de derivación funcione.

25 Una vez en contacto con la celda alterada, el resistor de derivación 200 puede desviar una fracción de la corriente suministrada a la celda alrededor de las celdas vecinas. La corriente que no se desvía a través del resistor de derivación 200 puede usarse por la celda para bombear hidrógeno a través del PEM 130. De esta manera, la densidad de corriente y la tensión de la celda, así como también la generación de calor, se pueden disminuir para reparar el funcionamiento de la celda. Este proceso puede continuar durante toda la operación de la celda de pilas electroquímicas 50 (etapas 370 y 380). En algunos casos, puede ser necesario aislar una celda electroquímica de las celdas electroquímicas adyacentes 100. Por ejemplo, puede ser necesario aislar una celda electroquímica cuando la resistencia de la celda se vuelve alta debido a la corrosión de la placa bipolar, la degradación del catalizador, la degradación de la membrana, etc., típicamente causadas por continuas altas tensiones a lo largo del tiempo. En estos casos, el punto de referencia de tensión crítico puede, por ejemplo, corresponder a un valor de tensión defectuoso que es más alto que el valor de tensión predeterminado. El valor de tensión defectuoso es una tensión que puede conducir a la degradación total de la celda. Si la tensión de una celda individual es mayor que el valor de tensión defectuoso, el operador puede ser alertado para aislar la celda defectuosa.

35 En algunas modalidades, como consecuencia de desviar una fracción de la corriente, la celda reparada puede bombear menos hidrógeno. Esto, a su vez, puede reducir el rendimiento de la pila de celdas electroquímicas 50. En estas modalidades, la corriente global suministrada a la pila de celdas electroquímicas 50 puede aumentarse para mantener el rendimiento global de la pila de celdas electroquímicas 50. Por ejemplo, en una pila de celdas electroquímicas con n celdas, el aumento de la corriente total para compensar una celda derivada puede ser $1/n$ veces la cantidad de corriente desviada a través del resistor de derivación 200.

45 La corriente de desviación a través del resistor de derivación 200 puede dar lugar a una generación de calor óhmica significativa por el resistor de derivación 200. Esto, a su vez, puede reducir la eficiencia del sistema 20 y aumentar la carga sobre los componentes de refrigeración del sistema 20. Para superar tales problemas, pueden usarse convertidores bidireccionales en lugar de un resistor de derivación 200. Los convertidores bidireccionales pueden configurarse para ajustar el flujo de corriente a través de una celda de bajo rendimiento desviando el flujo de corriente alrededor de la celda de bajo rendimiento en la pila de celdas electroquímicas 50. En comparación, un sistema que utiliza convertidores bidireccionales puede ser más eficiente que un sistema que utiliza uno o más resistores shunt 200.

50 La Figura 7 es un diagrama esquemático de un sistema ejemplar 20 que incluye convertidores bidireccionales. Como se muestra en la figura 7, el sistema 20 incluye una fuente de alimentación externa y al menos un convertidor bidireccional 400. El al menos un convertidor bidireccional 400 puede ser cualquier circuito o dispositivo conocido configurado para desviar una fracción de la corriente eléctrica suministrada a una celda a celdas vecinas. En la modalidad ilustrativa, el al menos un convertidor bidireccional es un convertidor de CC a CC.

60 En la modalidad ilustrativa, el al menos un convertidor bidireccional 400 puede incluir dos convertidores bidireccionales dispuestos para realizar ajustes de corriente en una celda electroquímica individual 100. Cada convertidor bidireccional 400 puede estar dispuesto entre dos celdas electroquímicas adyacentes 100 en la pila 50 de manera que si la pila 50 comprende n celdas, entonces el número total de convertidores bidireccionales en la pila 50 es $(n - 1)$. Por ejemplo, en la Figura 7, el sistema 20 incluye una pila 50 que tiene tres celdas electroquímicas 100, e incluye además dos convertidores bidireccionales 400.

65 En ciertas modalidades, se contempla que se pueden proporcionar convertidores bidireccionales 400 en la pila 50 y dispuestos para realizar ajustes de corriente en múltiples celdas a la vez.

Un convertidor bidireccional ilustrativo 400 se muestra en la Figura 8. Como se muestra en la figura 8, el convertidor bidireccional 400 puede incluir un circuito convertidor de impulso de carga. El convertidor bidireccional 400 puede configurarse para funcionar en un modo impulso cuando T1 se abre y T2 se conmuta, para desviar alguna corriente a través de la alteración de la celda electroquímica. El convertidor bidireccional 400 puede configurarse para operar en un modo convertidor cuando T2 está abierto y T1 conmuta, para transmitir corriente a una celda "sana" vecina.

Con referencia a las Figuras 7 y 8, el suministro de energía de alimentación puede proporcionar corriente a la pila electroquímica 50, y los convertidores bidireccionales 400 pueden configurarse para ajustar el flujo corriente. Cuando la pila 50 está sana, la corriente puede originarse desde el suministro de energía de alimentación y pasar a través de las celdas electroquímicas 100 de la pila 50 sin pasar a través de los convertidores bidireccionales 400. Cuando se determina que una o más de las celdas electroquímicas 100 están deterioradas, los convertidores bidireccionales 400 pueden encenderse. En ciertas modalidades, un convertidor bidireccional 400 puede operar en un modo de refuerzo para desviar cierta corriente de la celda electroquímica dañada y otro convertidor bidireccional 400 puede operar en modo convertidor para enviar la misma cantidad de corriente a una celda electroquímica. La cantidad de salida de corriente por cada convertidor bidireccional 400 se puede calcular sobre la base de la ecuación siguiente:

$$(3) \quad I_{Bi} = I_{i+1} - I_i \text{ para } i = 1, \dots, n - 1$$

en donde I_{Bi} corresponde a la salida de corriente del convertidor bidireccional, e I_1, I_2, \dots, I_n corresponden a las corrientes de celda deseadas.

Como se indicó anteriormente, el sistema descrito que usa uno o más convertidores bidireccionales 400 puede ser más eficiente que un sistema que utiliza una o más resistencias de derivación. Cuando los convertidores bidireccionales 400 están en funcionamiento, la salida de corriente de la fuente de energía se puede calcular sobre la base de la siguiente ecuación:

$$(4) \quad I_{PS} = I_1 + \sum_{i=1}^{n-1} \eta I_{Bi} \frac{\sum_{j=i+1}^n R_j I_j}{\sum_{j=1}^n R_j I_j}$$

donde I_{PS} corresponde a la salida de corriente de una fuente de suministro de energía, R_j corresponde a la resistencia de la celda j , y η corresponde a la eficiencia de un convertidor si está funcionando en modo de refuerzo y el recíproco de la eficiencia de un convertidor si está funcionando en modo convertidor. Asumiendo que los convertidores tienen eficiencias de aproximadamente 95%, la pérdida de energía del sistema mediante el uso de los convertidores bidireccionales 400 puede ser inferior a un sistema mediante el uso de resistencias de derivación que experimentan pérdida de energía debida al calentamiento óhmico.

Otras modalidades de la invención serán evidentes para aquellos con experiencia en la técnica a partir de la consideración de la descripción y la práctica de la invención descrita en la presente. Se pretende que la descripción y los ejemplos se consideren solo como ilustrativos, con un alcance y espíritu verdadero de la invención indicados por las siguientes reivindicaciones.

Reivindicaciones

1. Un método para ajustar el d de al menos una celda electroquímica en una pila de celdas electroquímicas, el método comprende:
 5 suministrar energía a una pila de celdas electroquímicas, en donde la pila de celdas electroquímicas incluye una pluralidad de celdas electroquímicas;
 controlar un parámetro de al menos una de la pluralidad de celdas electroquímicas;
 determinar si una celda electroquímica se daña, y
 10 desviar una fracción del flujo de corriente de la celda electroquímica deteriorada durante el funcionamiento de la pila de celdas electroquímicas;
 en donde el desvío de una fracción del flujo de corriente desde la celda electroquímica dañada incluye una derivación instalando una resistencia de derivación en un área de derivación de la celda electroquímica dañada durante el funcionamiento de la pila de celdas electroquímicas; y
 15 ajustar un área de la resistencia de derivación en contacto con la celda electroquímica dañada para ajustar el flujo actual a través de la celda electroquímica.
2. El método de la reivindicación 1, en donde la celda electroquímica incluye reducir la tensión a través de la celda electroquímica dañada.
- 20 3. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el parámetro es al menos uno de una tensión, una corriente y una temperatura.
4. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la determinación de si una celda electroquímica se deteriora incluye determinar si una tensión a través de la celda electroquímica es mayor que un punto de
 25 consigna de tensión crítico.
5. El método de la reivindicación 4 que incluye además:
 calcular un valor de resistencia que es suficiente para disminuir la tensión a través de la celda electroquímica
 30 dañada a un valor de tensión predeterminado; y
 seleccionar una resistencia de derivación para derivar la celda electroquímica dañada en base al valor de resistencia calculado.
6. El método de acuerdo con la reivindicación 5, en donde el valor de tensión predeterminado corresponde a al
 35 menos uno de una tensión promedio por celda electroquímica de la pila de celdas electroquímicas y una tensión mínima de una celda electroquímica de la pila de celdas electroquímicas.
7. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la determinación de si una celda electroquímica se deteriora incluye determinar si una temperatura de la celda electroquímica es mayor que un punto de consigna
 40 crítico de temperatura.
8. El método de la reivindicación 7 que incluye además:
 calcular un valor de resistencia que es suficiente para dejar caer el calor generado por la celda electroquímica
 45 dañada a un valor predeterminado; y
 seleccionar una resistencia de derivación para derivar la celda electroquímica dañada en base al valor de resistencia calculado.
9. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la celda electroquímica dañada incluye desviar una fracción de la celda electroquímica dañada a través de un resistor de derivación para reducir el calor generado
 50 por la celda electroquímica dañada.
10. Una celda electroquímica que comprende :
 una zona activa configurada para generar hidrógeno; y
 un área de derivación fuera del límite del área activa, estando configurada la zona de derivación para recibir una
 55 derivación;
 en donde la derivación está parcialmente insertada en el área de derivación para ajustar un área de la celda electroquímica en contacto con la celda electroquímica para ajustar el flujo de corriente a través de la celda electroquímica.
11. La celda de la reivindicación 10, en donde el área de derivación se dispone en una esquina o borde de la celda
 60 electroquímica.

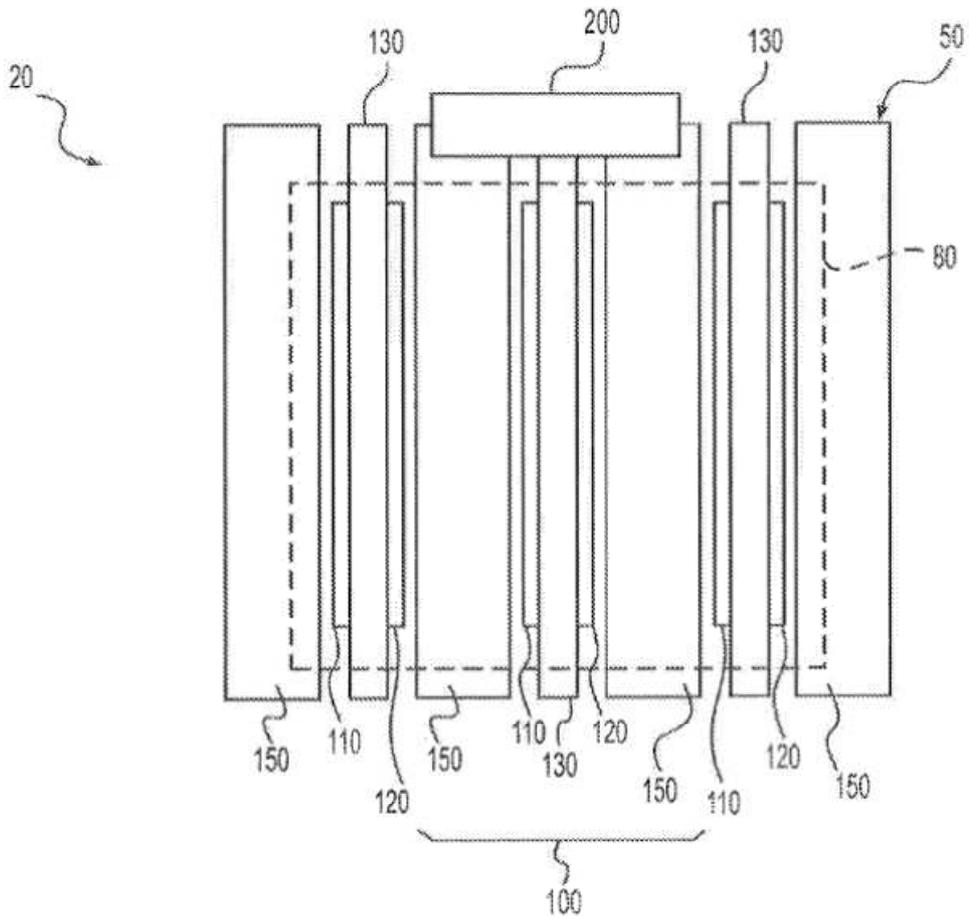


FIG. 1

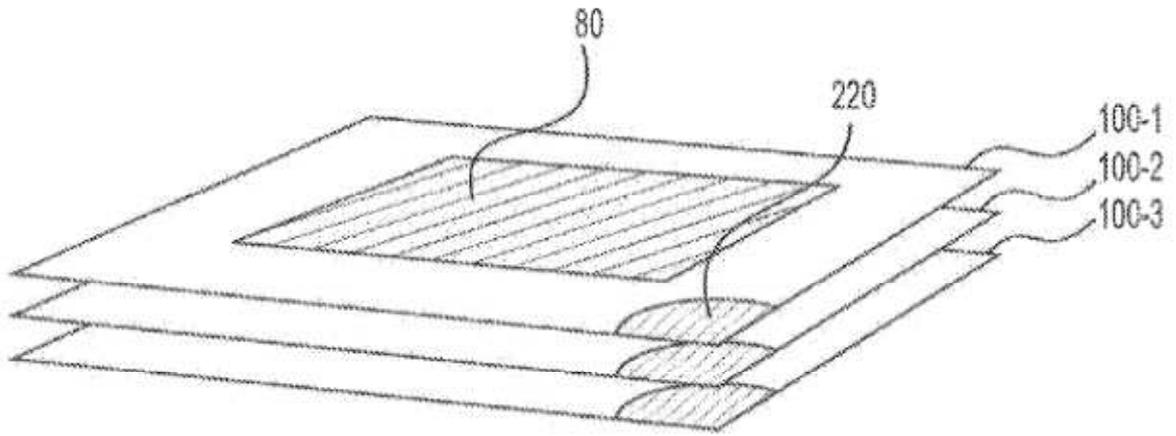


FIG. 2

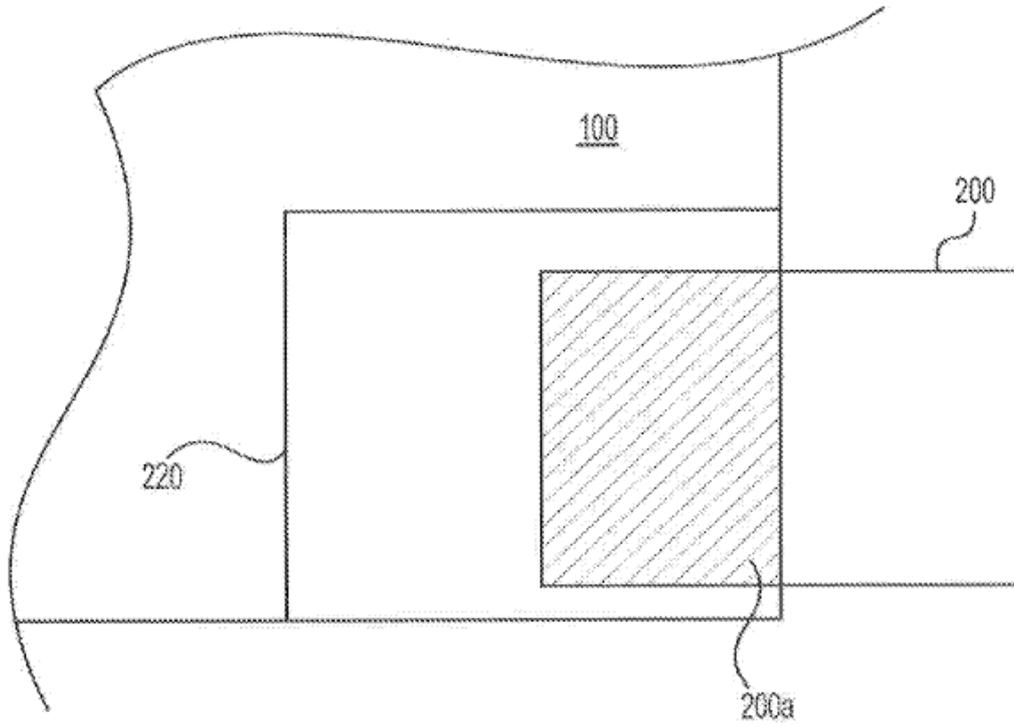


FIG. 3

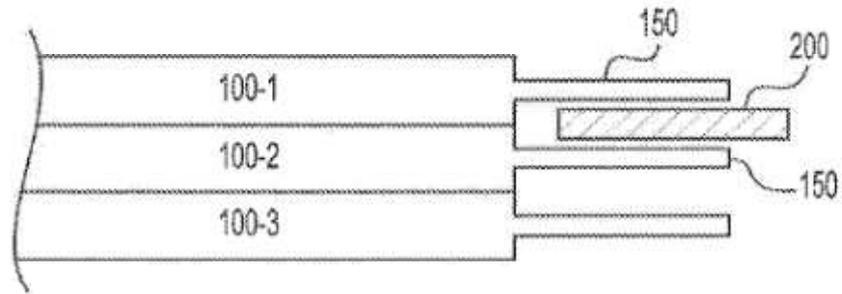


FIG. 4

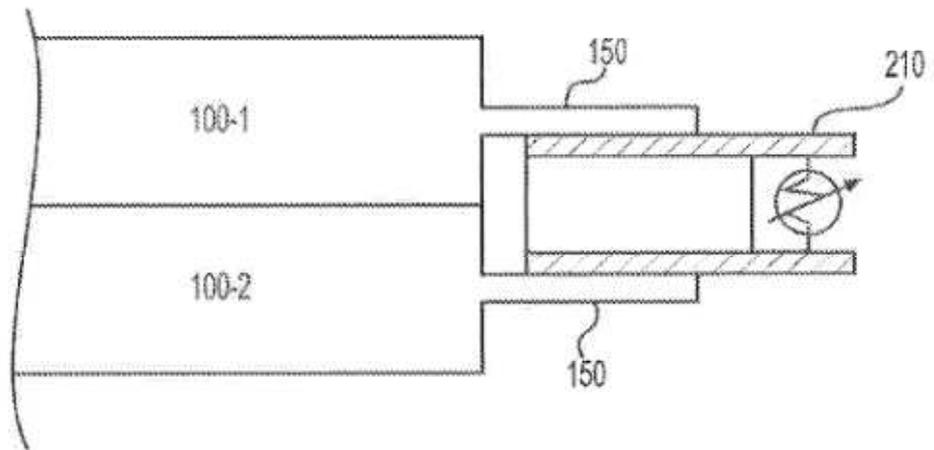


FIG. 5

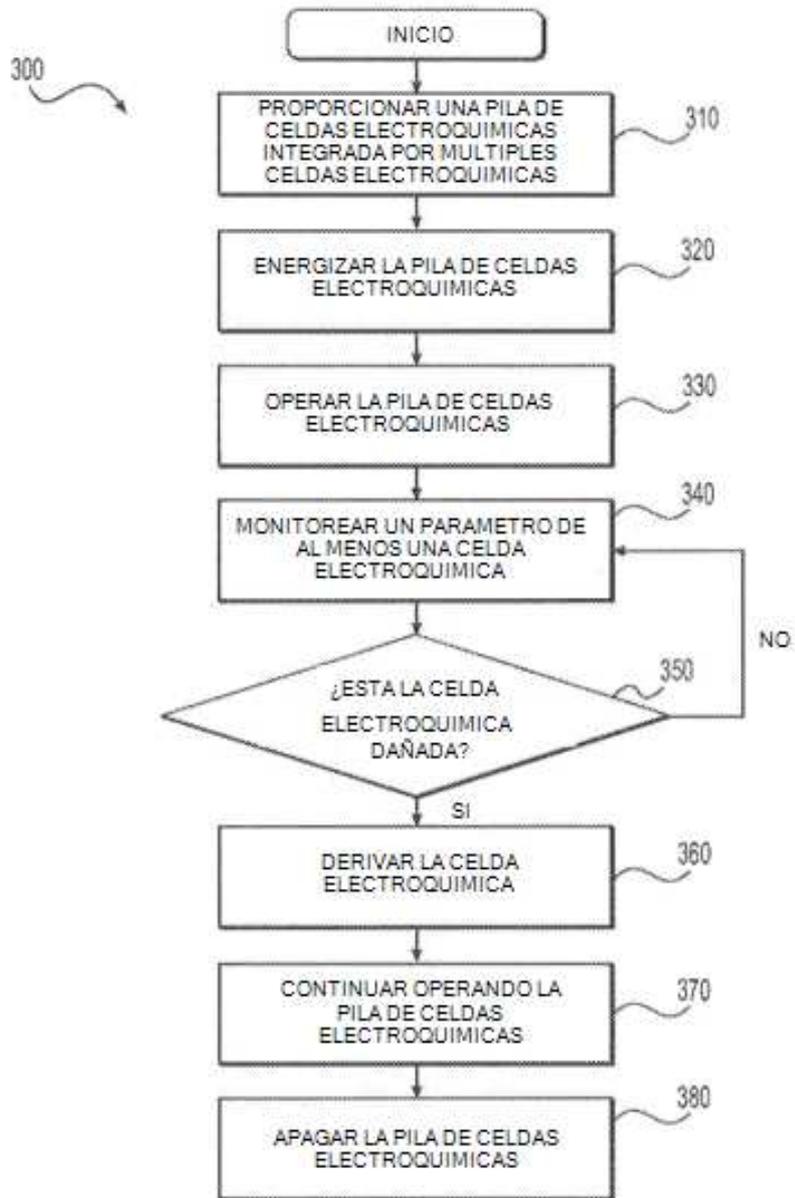


FIG. 6

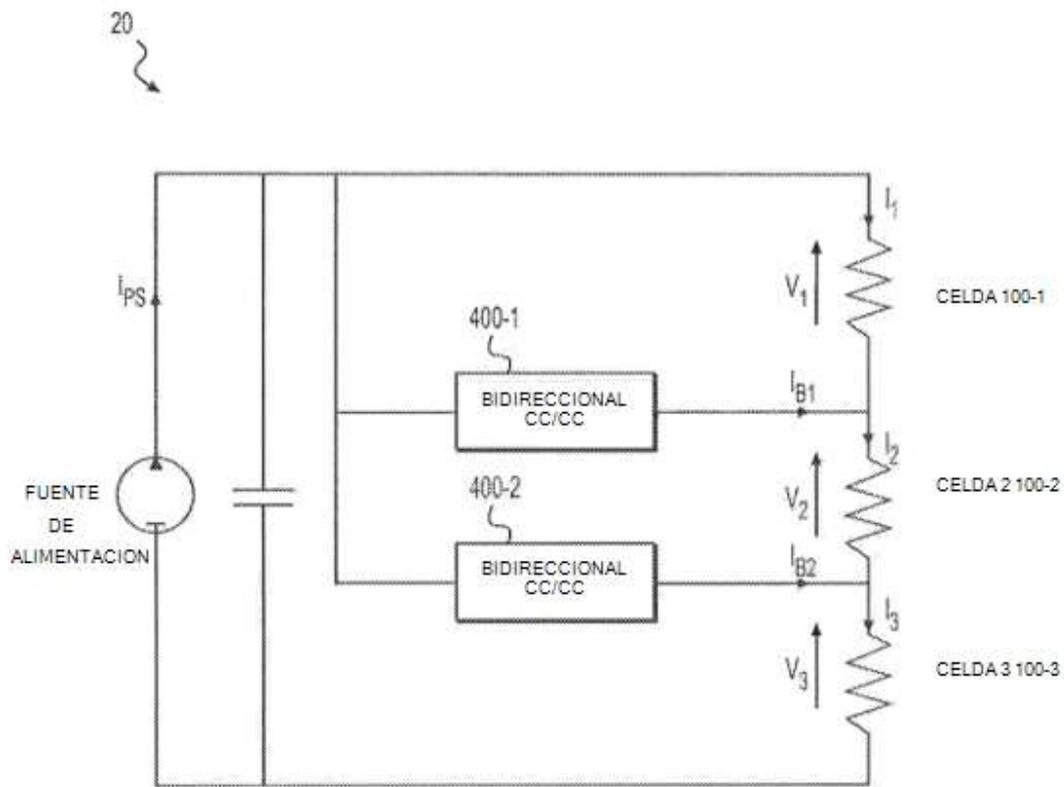


FIG. 7

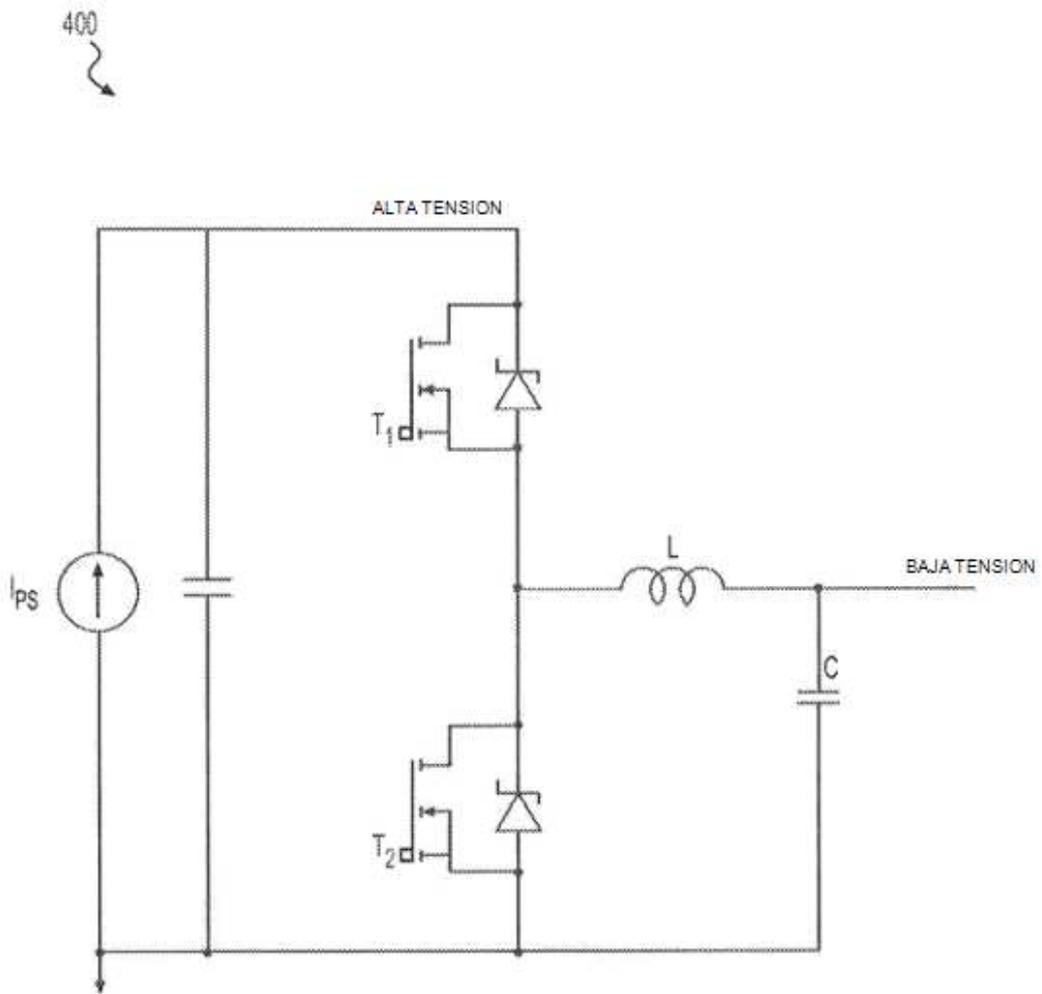


FIG. 8