

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 620 238**

51 Int. Cl.:

H01M 12/06 (2006.01)

H01M 12/08 (2006.01)

H01M 4/24 (2006.01)

H01M 4/86 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.06.2011 PCT/US2011/041748**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.12.2011 WO2011163553**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.06.2011 E 11730153 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.01.2017 EP 2586092**

54 Título: **Celda electroquímica con ánodo de combustible de andamio escalonado**

30 Prioridad:

24.06.2010 US 358339 P

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

28.06.2017

73 Titular/es:

**FLUIDIC, INC. (100.0%)
8455 North 90th Street Suite 4
Scottsdale, AZ 85258, US**

72 Inventor/es:

**KRISHNAN, RAMKUMAR;
FRIESEN, GRANT y
FRIESEN, CODY A.**

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 620 238 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 con ánodo de combustible de andamio escalonado

5 La presente solicitud reclama prioridad a la Solicitud Provisional de Estados Unidos con núm. de Serie 61/358,339.

Campo

10 La presente solicitud se refiere a una celda electroquímica para generar energía, y más particularmente a una celda que usa combustible electrodepositado.

Antecedentes

15 Las publicaciones de solicitud de patente de Estados Unidos núms. 2009/0284229 A1 y 201 1/0086278 A1 cada una describe una celda de metal-aire con un ánodo formado de una serie de cuerpos de electrodo permeables separados. El combustible de metal se reduce y electrodeposita sobre los cuerpos de electrodo. Un reto con este tipo de diseño es asegurar que la expansión no acorte prematuramente los cuerpos de electrodo adyacentes, reduciendo así la oportunidad de crecimiento denso entre los cuerpos.

20 La presente solicitud intenta proporcionar una configuración mejorada de celda, que puede usarse con celdas tales como las descritas en las solicitudes referenciadas anteriormente, en donde el combustible es electrodepositado sobre los cuerpos de electrodos.

Breve descripción de la invención

25

Un aspecto de la invención proporciona un método para operar una celda electroquímica. La celda comprende un electrodo de combustible que comprende una serie de cuerpos de electrodo permeables dispuestos en relación separada, y un electrodo oxidante separado del electrodo de combustible. Un electrodo de carga está separado del electrodo de combustible. El electrodo de carga se selecciona del grupo que consiste de (a) electrodo oxidante, y (b) un electrodo de carga separado. Es decir, el electrodo de carga puede ser el electrodo oxidante, o puede ser un tercer electrodo en el sistema. Un medio iónicamente conductor comunica los iones entre los electrodos. Los iones pueden estar en forma iónica libre, o en una forma molecular o compleja. Las series de cuerpos de electrodo permeables comprenden un cuerpo de electrodo permeable próximo, cerca del electrodo de carga, y un cuerpo de electrodo permeable distal, lejos del electrodo de carga. A lo largo de al menos una porción de un borde periférico del electrodo de combustible, un borde del cuerpo de electrodo permeable próximo está localizado hacia adentro de un borde del cuerpo de electrodo permeable distal. El método comprende:

35

cargar la celda electroquímica al:

- i. aplicar una corriente eléctrica entre el electrodo de carga y al menos uno de los cuerpos de electrodo permeables con el electrodo de carga que funciona como un ánodo y al menos un cuerpo de electrodo permeables que funciona como un cátodo, de manera que los iones de combustible reducibles se reduzcan y electrodepositen como combustible en forma oxidable sobre al menos un cuerpo de electrodo permeables;
- ii. dicha electrodeposición ocasiona la expansión del combustible entre los cuerpos de electrodo permeables de manera que el combustible electrodepositado establece una conexión eléctrica entre los cuerpos de electrodo permeables; y
- iii. eliminar la corriente eléctrica para discontinuar la carga.

40

45

Otro aspecto de la invención proporciona una celda electroquímica. La celda comprende un electrodo de combustible que comprende una serie de cuerpos de electrodo permeables dispuestos en relación separada, y un electrodo oxidante separado del electrodo de combustible. Un electrodo de carga está separado del electrodo de combustible. El electrodo de carga se selecciona del grupo que consiste de (a) electrodo oxidante y (b) un electrodo de carga separado. Un medio iónicamente conductor ayuda a transportar iones entre los electrodos. La serie de cuerpos de electrodo permeables comprende un cuerpo de electrodo permeable próximo, cerca del electrodo de carga, y un cuerpo de electrodo permeable distal, lejos del electrodo de carga. A lo largo de al menos una porción de borde periférico del electrodo de combustible, un borde del cuerpo de electrodo permeable próximo está localizado hacia adentro de un borde del cuerpo de electrodo permeable distal. Adicionalmente, la relación separada de los cuerpos de electrodo permeables del electrodo de combustible permite que se aplique una corriente eléctrica entre el electrodo de carga y al menos uno de los cuerpos de electrodo permeables. En tal configuración, el electrodo de carga funcionaría como un ánodo y al menos un cuerpo de electrodo permeable funcionaría como un cátodo. Esto resultaría en la reducción de los iones de combustible reducibles y se electrodeposita como combustible en forma oxidable sobre al menos un cuerpo de electrodo permeable (actuando como un cátodo). La electrodeposición ocasiona la expansión del combustible entre los cuerpos de electrodo permeables para que el combustible electrodepositado establezca una conexión eléctrica entre los cuerpos de electrodo permeables.

50

55

60

65

Otro aspecto de la invención proporciona un método para operar una celda electroquímica. La celda comprende un electrodo de combustible que comprende una serie de cuerpos de electrodo permeables dispuestos en relación separada. Un electrodo oxidante está separado del electrodo de combustible. Un electrodo de carga también está

presente. Un medio iónicamente conductor comunica los electrodos. A lo largo de al menos una porción de un borde periférico del electrodo de combustible, los bordes de los cuerpos de electrodo permeables están dispuestos en una configuración escalonada hacia adentro en una primera dirección. El método comprende:

cargar la celda electroquímica al:

- 5 i. aplicar una corriente eléctrica entre el electrodo de carga y al menos uno de los cuerpos de electrodo permeables del electrodo de combustible con el electrodo de carga funcionando como un ánodo y al menos un cuerpo de electrodo permeable funcionando como un cátodo, para que se reduzcan los iones de combustible reducibles y se electrodepositen como combustible en forma oxidable sobre al menos un cuerpo de electrodo permeable;
- 10 ii. dicha electrodeposición ocasiona la expansión del combustible entre los cuerpos de electrodo permeables en la primera dirección para que e l combustible electrodepositado establezca una conexión eléctrica entre los cuerpos de electrodo permeables; y
- iii. eliminar la corriente eléctrica para discontinuar la carga.

15 Otro aspecto de la invención se refiere a una celda electroquímica. La celda comprende un electrodo de combustible que comprende una serie de cuerpos de electrodo permeables dispuestos en relación separada. Un electrodo oxidante está separado del electrodo de combustible. Un electrodo de carga está presente. Un medio iónicamente conductor comunica los electrodos. A lo largo de al menos una porción de un borde periférico del electrodo de combustible, los bordes de los cuerpos de electrodo permeables están dispuestos en una configuración escalonada hacia adentro en una
20 primera dirección. La relación separada de los cuerpos de electrodo permeables del electrodo de combustible permite que se aplique una corriente eléctrica entre el electrodo de carga y al menos uno de los cuerpos de electrodo permeables del electrodo de combustible con el electrodo de carga funcionando como un ánodo y al menos un cuerpo de electrodo permeable funcionando como un cátodo, para que se reduzcan los iones de combustible reducibles y se electrodepositen como combustible en forma oxidable sobre al menos un cuerpo de electrodo permeable,
25 consecuentemente la electrodeposición ocasiona la expansión del combustible entre los cuerpos de electrodo permeables en la primera dirección para que el combustible electrodepositado establezca una conexión* eléctrica entre los cuerpos de electrodo permeables.

30 Otros aspectos de la presente invención resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada, las figuras anexas, y las reivindicaciones anexas.

Breve descripción de los dibujos

Ahora se describirán modalidades de la invención, a manera de ejemplo únicamente, con referencia a los dibujos esquemáticos anexas en donde símbolos de referencia correspondientes indican partes correspondientes, y en donde:
35 La Figura 1 ilustra una vista transversal de un sistema de celda electroquímica que incluye dos celdas electroquímicas; La Figura 2 ilustra una vista en explosión del sistema de celda electroquímica de la Figura 1; La Figura 3 ilustra un soporte de electrodo de una de las celdas electroquímicas de la Figura 1; La Figura 4 ilustra el soporte de electrodo de la Figura 3 que soporta un electrodo de combustible y una pluralidad de
40 separadores conectados al soporte de electrodo; La Figura 5 ilustra uno de los separadores de la Figura 4 con mayor detalle; La Figura 6 ilustra una conexión entre el separador de la Figura 5 y el soporte de electrodo de la Figura 3 con mayor detalle; La Figura 7 ilustra una zona de fluidización definida en parte por el soporte de electrodo de la Figura 3 con mayor
45 detalle; La Figura 8 es una vista esquemática aislada de una modalidad de una celda electroquímica que muestra una pluralidad de cuerpos de electrodo y la expansión de combustible electrodepositado sobre éstos; La Figura 9 muestra el progreso de la expansión de la Figura 8; La Figura 10 muestra el progreso continuo de la expansión en las Figuras 8 y 9; La Figura 11 es una vista esquemática similar a la Figura 8, pero que muestra una modalidad alternativa; La Figura 12 muestra una vista esquemática similar a la Figura 8, pero que muestra incluso otra modalidad alternativa; La Figura 13 es una vista esquemática aislada de una porción de los cuerpos de electrodo de una celda similar a
50 aquellas en las Figuras 8-12, que muestra la expansión de combustible electrodepositado sobre éstos, y que resalta efectos de borde perjudiciales; La Figura 14 es una vista esquemática aislada de una porción de una modalidad de una celda de la presente invención, en donde los cuerpos de electrodo tienen una configuración de andamio escalonado, que muestra la expansión de combustible electrodepositado sobre éstos; La Figura 15 muestra el progreso de la expansión en la Figura 14; La Figura 16 muestra el progreso continuo de la expansión en las Figuras 14 y 17; La Figura 17 muestra una vista esquemática similar a la Figura 14, pero que muestra incluso otra modalidad alternativa; La Figura 18 es una vista esquemática similar a la Figura 14, pero que muestra una modalidad alternativa; La Figura 19 muestra una vista esquemática similar a la Figura 14, pero que muestra incluso otra modalidad alternativa; La Figura 20 muestra una vista transversal similar a la Figura 1, pero que muestra una modalidad alternativa con la
65 configuración de andamio escalonado; La Figura 21 muestra una vista en explosión de la modalidad de la Figura 20;

Las Figuras 22a a 22c muestran vistas esquemática aisladas de diferentes modalidades de los cuerpos de electrodo en vistas en explosión y transversales; y

Las Figuras 23a a 23c muestran modalidades alternativas de los cuerpos de electrodo en las Figuras 22a a 22c, que tienen una orientación diferente.

5

Descripción detallada

Los principios de la presente invención pueden aplicarse ampliamente a cualquier celda electroquímica en donde un combustible, tal como un combustible de metal, se electrodeposita sobre el ánodo. Tales celdas pueden incluir baterías, tales como baterías de metal-aire, por ejemplo. Las Figuras ilustran modalidades de los varios aspectos de las invenciones reclamadas. Estas modalidades de ninguna forma pretenden ser limitantes, y están hechas únicamente como ejemplos para facilitar un entendimiento de los principios de las invenciones reclamadas.

Por ejemplo una celda electroquímica 10 con la cual los principios de la presente invención pueden usarse puede tener cualquier construcción o configuración, y los ejemplos aquí descritos no pretenden ser limitantes. Por ejemplo, la celda 10 puede construirse de acuerdo con cualquiera de las siguientes solicitudes de patente: Núm. de serie 12/385,217 (Publicación de Solicitud de Patente de Estados Unidos núm. 2011/0039181 A1), núm. de serie 12/385,489 (Publicación de Solicitud de Patente de Estados Unidos núm. 2009/0284229 A1), núm. de serie 12/631,484 (Publicación de Solicitud de Patente de Estados Unidos núm. 2010/0316935 A1), núm. de serie 12/549,617 (Publicación de Solicitud de Patente de Estados Unidos núm. 2010/0119895 A1), núm. de serie 12/776,962 (Publicación de Solicitud de Patente de Estados Unidos núm. 2010/0285375 A1), núm. de serie 12/885,268 (Publicación de Solicitud de Patente de Estados Unidos núm. 2011/0070506 A1), núm. de serie 13/019,923, 12/901,410 (Publicación de Solicitud de Patente de Estados Unidos núm. 2011/0086278 A1), núms. de serie 13/083,929, 13/028,496, 13/085,714, 61/334,047, 61/365,645, 61/378,021, 61/439,759, 61/394,954, y 61/383,510. Las modalidades ilustradas muestran la aplicabilidad de la presente invención a una celda electroquímica 10 que tiene una configuración similar a la encontrada en 12/901,410, sin embargo esto no debe ser considerado como limitante de ninguna forma.

Las Figuras 1 y 2 ilustran un sistema de celda electroquímica 10 que incluye dos celdas electroquímicas 10 de conformidad con una modalidad de la invención. Como se ilustra, cada celda 10 incluye un electrodo de combustible 12 y un electrodo oxidante 14 que está separado del electrodo de combustible 12 (es decir, primeros y segundos electrodos, respectivamente). El electrodo de combustible 12 está soportado con un soporte de electrodo 16. El sistema electroquímico 100 también incluye una cubierta 19 que se utiliza para cubrir las celdas electroquímicas 10 sobre un lado del sistema 100, mientras uno de los soportes de electrodo 16 se utiliza, para cubrir el lado opuesto del sistema 100, como se ilustra en la Figura 1.

En una modalidad, el electrodo de combustible 12 es un electrodo de combustible de metal que funciona como un ánodo cuando la celda 10 opera en un modo de descarga, o de generación de electricidad, se discute con más detalle más abajo. En una modalidad, el electrodo de combustible 12 puede comprender un cuerpo de electrodo permeables 12a, tal como una pantalla que está hecha de cualquier formación capaz de capturar y retener, a través de electrodeposición, o de otra forma, partículas o iones de combustible de metal de un medio iónicamente conductor presente dentro de la celda 10, como se discute con más detalle más abajo. En varias modalidades, el electrodo de combustible 12 puede comprender fibras de carbono, latón, bronce, acero inoxidable, níquel, monel (aleación de níquel-cobre), cualquier otro material de alta conductividad, o cualquier otro material.

El combustible puede ser un metal, tal como hierro, zinc, aluminio, magnesio, o litio. Por metal, este término pretende abarcar todos los elementos considerados como metales en la tabla periódica, que incluyen pero no limitado a metales alcalinos, metales alcalinotérreos, lantánidos, actínidos, y metales de transición, ya sea en forma atómica, molecular (que incluye híbridos de metal), o de aleación cuando se recolectan sobre el cuerpo de electrodo. Sin embargo, la presente invención no pretende estar limitada a cualquier combustible específico, y pueden usarse otros. El combustible puede proporcionarse a la celda 10 como partículas suspendidas en el medio iónicamente conductor.

El medio iónicamente conductor puede ser una solución acuosa. Los ejemplos de medios adecuados incluyen soluciones acuosas que comprenden ácido sulfúrico, ácido fosfórico, ácido trifilíco, ácido nítrico, hidróxido de potasio, hidróxido de sodio, cloruro de sodio, nitrato de potasio, o cloruro de litio. En una modalidad, el medio iónicamente conductor puede comprender un electrólito. El medio puede usar además un solvente no acuoso o un líquido iónico. En la modalidad no limitante aquí descrita, el medio es hidróxido de potasio acuoso.

El combustible puede oxidarse en el electrodo de combustible 12 cuando el electrodo de combustible 12 está operando como un ánodo, y un oxidante, tal como un oxígeno, puede reducirse en el electrodo oxidante 14 cuando el electrodo oxidante 14 está operando como un cátodo, que es cuando la celda 10 se conecta a una carga y la celda 10 está en modo de descarga o de generación de electricidad, como se discute con más detalle más abajo. Las reacciones que ocurren durante el modo de descarga generan precipitados de producto secundario, por ejemplo, una especie de combustible reducible, en el medio iónicamente conductor. Por ejemplo, en modalidades en donde el combustible es zinc, se genera óxido de zinc como una especie de precipitado/combustible reducible de producto secundario. Durante un modo de recarga, el cual se discute con más detalle más abajo, los precipitados de producto secundario, por ejemplo, óxido de zinc, pueden reducirse irreversiblemente y depositarse como el combustible, por ejemplo, zinc sobre

el electrodo de combustible 12, que funciona como un cátodo durante el modo de recarga. Durante el modo de recarga, el electrodo oxidante 14, un electrodo de carga separado 70 (es decir, un tercer electrodo), descrito a continuación, o un cuerpo del mismo electrodo de combustible, también descrito a continuación, funciona como el ánodo. El cambio entre los modos de descarga y recarga se discute con más detalle a continuación.

5 El soporte de electrodo 16 define una cavidad 18 en donde se mantiene el electrodo de combustible 12. El soporte de electrodo 16 también define una entrada 20 y una salida 22 para la celda 10. La entrada 20 está configurada para permitir que el medio iónicamente conductor ingrese a la celda 10 y/o recircule a través de la celda 10. La entrada 20 puede conectarse a la cavidad 18 a través de un canal de entrada 24, y la salida 22 puede conectarse a la cavidad 18 a través de un canal de salida 26. Como se discutió en la Figura 3, el canal de entrada 24 y el canal de salida 26 cada uno puede proporcionar una trayectoria serpenteante tortuosa a través de la cual puede fluir el medio iónicamente conductor. La trayectoria serpenteante definida por el canal de entrada 24 preferentemente no incluye ninguna esquina puntiaguda en la cual el flujo del medio pueda estancarse o en donde pueda recolectarse cualquiera de las partículas en el medio. Como se discute en más detalle a continuación, la longitud de los canales 24, 26 puede diseñarse para proporcionar una resistencia iónica aumentada entre celdas que están conectadas fluidamente en serie. Puede usarse cualquier construcción o configuración, y la modalidad descrita no es limitante.

Para cada celda 10, puede unirse un medio de sello permeable 17 entre superficies de sellado sobre los soportes de electrodo 16 y/o la cubierta 19, según sea apropiado, para abarcar al menos el electrodo de combustible 12 en la cavidad 18. El miembro de sello 17 también cubre los canales de entrada y salida 24, 26. El miembro de sello 17 es no conductor y electroquímicamente inerte, y está preferentemente diseñado para ser permeable al medio iónicamente conductor en la dirección ortogonal (es decir, a través de su grosor), sin permitir el transporte lateral del medio iónicamente conductor. Esto permite que el medio iónicamente conductor permee a través del miembro de sello 17 para permitir que la conductividad del ion con el electrodo oxidante 14 sobre el lado opuesto soporte las reacciones electroquímicas, sin "absorber" el medio iónicamente conductor lateralmente hacia afuera desde la celda 10. Algunos ejemplos no limitantes de un material adecuado para el miembro de sello 17 son EPDM y TEFLON®.

En la modalidad ilustrada, la cavidad 18 tiene una sección transversal generalmente rectangular, o cuadrada que coincide substancialmente con la forma del electrodo de combustible 12. Un lado de la cavidad 18, específicamente, el lado de la cavidad 18 que está conectado al canal de entrada 24, incluye una pluralidad de zonas de fluidización 28 que están conectadas cada una al canal de entrada 24 a través de un colector que incluye una pluralidad de entradas de cavidad 34 de modo que cuando el medio iónicamente conductor y los precipitados o especies de combustible reducibles entren a la cavidad 18, el medio iónicamente conductor y el combustible entran a las zonas de fluidización 28. Como se muestra con mayor detalle en la Figura 7, cada zona de fluidización 28 se define parcialmente por dos superficies 30, 32 que están anguladas con respecto una a la otra pero que no se tocan entre sí para definir superficies divergentes con respecto a un eje que se extiende desde la entrada 34 a través del centro de la zona de fluidización 28. En la modalidad ilustrada, las superficies 30, 32 definen substancialmente una "V" con una parte inferior abierta que está abierta a la entrada 34, como se ilustra en la Figura 3. Aunque la modalidad ilustrada muestra las superficies 30, 32 como siendo relativamente rectas, las superficies pueden ser curvadas o parcialmente curvadas, siempre y cuando las superficies 30, 32 sean divergentes de la entrada 34.

Las zonas de fluidización 28 están configuradas de manera que el medio iónicamente conductor con partículas fluya dentro de la cavidad 18 a través del canal de entrada 24, las partículas pueden fluir en el medio iónicamente conductor, que permite que las partículas se dispersen más uniformemente en el medio iónicamente conductor a medida que el medio iónicamente conductor contacte el electrodo de combustible 12. Esto es particularmente ventajoso cuando la celda electroquímica 10 está orientada con la parte inferior abierta de las zonas de fluidización con forma de V 28 que están señalando hacia abajo, como se ilustra en la Figura 7. Esto se debe a que la gravedad tenderá a hacer que las partículas se acumulen en el extremo de entrada de la cavidad 18 entre el canal de entrada 24 y el canal de salida 26. Al hacer fluir las partículas en el medio iónicamente conductor, y al proporcionar una caída de presión a través de la cavidad 18, como se discute con más detalle más abajo, las partículas fluirán más uniformemente a través de la cavidad 18, substancialmente con menos o ninguna acumulación en el extremo de entrada de la cavidad 18. Esto puede mejorar la eficiencia de la celda 10 al proporcionar una distribución más uniforme de las partículas a través de la superficie del electrodo de combustible 12.

Como se ilustra en la Figura 4, una pluralidad de separadores 40, cada uno de los cuales se extiende a través del electrodo de combustible 12 en una relación separada entre sí, está conectada al soporte de electrodo 16 para que el electrodo de combustible 12 pueda mantenerse en su lugar con relación al soporte de electrodo 16 y al electrodo oxidante 14. En una modalidad, el electrodo de combustible 12 puede contener una pluralidad de cuerpos de electrodo permeables 12a-12c, como se ilustra en la Figura 2, que pueden separarse por grupos de la pluralidad de separadores 40, para que cada grupo de separadores 40 esté colocado entre cuerpos de electrodo adyacentes para aislar eléctricamente los cuerpos de electrodo 12a-12c entre sí. Dentro de cada grupo de separadores 40 entre los cuerpos de electrodo adyacentes, los separadores 40 están colocados en una relación separada en una forma que crea los así denominados "carriles de flujo" 42 entre ellos, como se discute en mayor detalle a continuación. Los carriles de flujo 42 son tridimensionales y tienen una altura que es substancialmente igual a la altura de los separadores 40. En una modalidad, los separadores pueden proporcionarse por un marco individual tal como recortes correspondientes a los carriles de flujo. En una modalidad, los carriles de flujo pueden incluir una estructura de espuma o tipo panal que está

configurada para permitir que el medio iónicamente conductor fluya a través de ellos. En una modalidad, los carriles de flujo pueden incluir una disposición de pasadores que están configurados para interrumpir el flujo del medio iónicamente conductor a través de los carriles de flujo. La modalidad ilustrada no pretende ser limitante de ninguna forma.

5 Los separadores 40 son no conductores ni electroquímicamente inertes por lo que son inactivos con respecto a las reacciones electroquímicas en la celda 10. Los separadores 40 se dimensionan preferentemente para que cuando se conecten al soporte de electrodo 16, los separadores 40 estén en tensión, lo que permite que los separadores 40 se presionen contra el electrodo de combustible 12, o uno de los cuerpos de electrodo 12a-12c, para soportar el electrodo de combustible 12 o cuerpos del mismo en una relación plana con relación al soporte de electrodo 16. Los separadores 10 40 pueden hacerse de un material de plástico, tal como polipropileno, polietileno, noryl, fluoropolímero, etc. que permite que los separadores 40 se conecten al soporte de electrodo 16 en tensión.

En la modalidad ilustrada en la Figura 5, cada separador tiene una porción media alargada 44, y una porción de conexión formada 46 en cada extremo. Las porciones de conexión formadas 46 están configuradas para soportarse por 15 aperturas 48 que tienen formas substancialmente similares en el soporte de electrodo 16, como se ilustra en la Figura 6. En la modalidad ilustrada, las porciones formadas 46 y las aberturas 48 tienen una forma substancialmente triangular, aunque la forma ilustrada no pretende ser limitante de ninguna forma. La forma substancialmente triangular proporciona superficies 50 sobre los lados opuestos de la porción alargada 44 del separador 40 que están configuradas para 20 contactar superficies correspondientes 52 sobre el soporte de electrodo 16. Debido a que la superficie 50, 52 están anguladas con respecto a un eje mayor MA de la porción alargada 44 del separador 40 y la tensión en el separador 40 será a lo largo del eje mayor MA, las fuerzas creadas por la tensión pueden distribuirse a través de una superficie más grande, cuando se compara con una porción formada que tiene una forma circular o cuadrada con la misma área.

Una vez que los separadores 40 se conectan al soporte de electrodo 16 a través de las porciones de extremo 46, los 25 carriles de flujo 42 se definen a través de la cavidad 18 del soporte de electrodo 16. Los separadores 40 están configurados para sellar esencialmente un carril de flujo 42a desde un carril de flujo adyacente 42b, que está separado por uno de los separadores 40 para que el medio iónicamente conductor se guíe para fluir en general substancialmente en una dirección. Específicamente, el medio iónicamente conductor generalmente puede fluir en una primera dirección 30 FD a través del electrodo de combustible 12, desde el canal de entrada 24 hacia el canal de salida 26. Se genera una caída de presión adecuada entre el canal de entrada 24 y las zonas de fluidización 28 para que el medio iónicamente conductor pueda fluir a través de la cavidad 18 y hacia el canal de salida 26, incluso cuando la celda 10 esté orientada para que el flujo sea substancialmente hacia arriba y contra la gravedad. En una modalidad, el medio iónicamente conductor también puede permear a través del electrodo de combustible 12, o un cuerpo electrodo permeable individual 12a-12c, en una segunda dirección. SD y dentro de un carril de flujo que está sobre el lado opuesto del electrodo de 35 combustible 12 o el cuerpo de electrodo permeable 12a-12c.

De nuevo, la modalidad ilustrada no es limitante y simplemente muestra un ejemplo de trabajo para referencia. La configuración de electrodo de combustible aquí discutida puede usarse con cualquier configuración de celda.

40 En una modalidad, el electrodo de combustible 12 está conectado a una carga externa para que los electrones proporcionados por el combustible como el combustible se oxiden en el electrodo de combustible 12 para fluir a la carga externa. El electrodo oxidante 14 funciona como un cátodo cuando el electrodo oxidante 14 está conectado a la carga externa y la celda 10 opera en modo de descarga. Cuando funciona como un cátodo, el electrodo oxidante 14 está 45 configurado para recibir electrones desde la carga externa y reducir un oxidante que contacta el electrodo oxidante 14. En una modalidad, el electrodo oxidante 14 comprende un electrodo de respiración de aire y el oxidante comprende oxígeno en el aire circundante.

El oxidante puede suministrarse al electrodo oxidante 14 mediante un sistema de transporte pasivo. Por ejemplo, en 50 donde el oxígeno presente en el aire ambiente es el oxidante, que simplemente expone el electrodo oxidante 14 al aire ambiente a través de aberturas en la celda, de manera que las aberturas que se proporcionan mediante ranuras 54 en la cubierta 19 y ranuras 56 en el soporte de electrodo 16 proporcionado en el centro de sistema de celda electroquímica 100, pueden ser suficientes para permitir difusión/permeación de oxígeno dentro del electrodo oxidante 14. Pueden utilizarse otros oxidantes adecuados y las modalidades aquí descritas no están limitadas al uso de oxígeno como el oxidante. Puede colocarse un empaque periférico 15 entre la periferia del electrodo oxidante 14 y la cubierta 19 o el 55 soporte de electrodo 16, según sea apropiado, para prevenir que el medio iónicamente conductor se filtre alrededor del electrodo oxidante 14 y dentro del área en las ranuras 54, 56 para exposición de aire.

En otras modalidades, se puede usar una bomba, tal como un soplador de aire, para suministrar el oxidante al electrodo oxidante 14 bajo presión. La fuente de oxidante puede ser una fuente contenida de oxidante. De forma similar, cuando 60 el oxidante es oxígeno desde el aire ambiente, la fuente de oxidante puede considerarse ampliamente como el mecanismo de suministro, ya sea pasivo o activo (por ejemplo, bombas, sopladores, etc.), con los cuales se permite que el aire fluya al electrodo oxidante 14. De esa forma, el término "fuente de oxidante" pretende abarcar tanto oxidantes contenidos y/o disposiciones para suministrar pasiva o activamente oxígeno del aire ambiente al electrodo oxidante 14.

65 La electricidad que puede extraerse por las cargas externas se genera cuando el oxidante en el electrodo 114 se reduce, mientras el combustible en el electrodo de combustible 12 se oxida a una forma oxidada. El potencial eléctrico

de la celda 10 se vacía una vez que el combustible en el electrodo de combustible 12 se oxida completamente o se detiene la oxidación debido a la pasivación del electrodo de combustible. Un interruptor puede colocarse entre el electrodo oxidante 14 y la carga para que el electrodo oxidante 14 pueda conectarse y desconectarse de la carga, como se desee.

5 Para limitar o suprimir la evolución de hidrógeno en el electrodo de combustible 12 durante el modo de descarga y durante períodos de tiempo de apagado (circuito abierto), pueden agregarse sales para retrasar tal reacción. Pueden utilizarse sales de estaño, plomo, cobre, mercurio, indio, bismuto, y cualquier otro material que tiene un sobre-potencial de hidrógeno alto. Además, pueden agregarse sales de tartrato, fosfato, citrato, succinato, amonio y otros aditivos que suprimen la evolución de hidrógeno. En una modalidad, las aleaciones de combustible de metal, tal como Al/Mg pueden utilizarse para suprimir evolución de hidrógeno.

15 Después que el combustible en la celda 10 se ha oxidado completamente, o en cualquier momento que sea deseable regenerar el combustible dentro de la celda 10 al reducir los iones de combustible oxidados de regreso a combustible, el electrodo de combustible 12 y el electrodo oxidante 14 pueden desacoplarse de la carga externa, y el electrodo de combustible es un electrodo de carga (que puede ser el electrodo oxidante en las mismas modalidades) está acoplado a un suministro de energía con el uso de interruptores adecuados. El suministro de energía está configurado para cargar la celda 10 al aplicar una diferencia potencial entre el electrodo de combustible 12 y el electrodo de carga para que las especies reducibles del combustible se reduzcan y electrodepositen sobre los cuerpos de electrodo permeables 12a-12c y la reacción de oxidación correspondiente se lleva a cabo en el electrodo de carga, que es típicamente la oxidación de una especie oxidable para evolucionar a oxígeno, que puede desgasificarse de la celda 10. Como se describe en detalle en la Solicitud de Patente de los Estados Unidos Serie núm. 12/385,489, presentada el 9 de abril, 2009 e incorporada aquí para referencia, únicamente de los cuerpos de electrodo permeables, tal como 12a, pueden conectarse al suministro de energía para que el combustible se reduzca sobre el cuerpo de electrodo permeable y crezca progresivamente a y sobre otros cuerpos de electrodo permeables 12b-12c, uno por uno. Los interruptores pueden controlar cuando la celda 10 opera en modo de descarga y en modo de carga, como se describe en mayor detalle más abajo.

30 Puede proporcionarse cualquier mecanismo de control adecuado para controlar la acción de los interruptores entre las posiciones abiertas y cerradas. Por ejemplo, puede utilizarse un interruptor de relé que se desvía hacia la posición abierta, con una bobina inductiva acoplada al suministro de energía que causa el cierre del interruptor cuando comienza la carga. Pueden utilizarse también interruptores de estado sólido. Además, podría utilizarse un interruptor más complejo que permita la conexión individual a los cuerpos de electrodo permeables 12a-12c para proporcionar la conexión/desconexión hacia y desde la carga, y hacia y desde uno al otro.

35 Regresando a la Figura 4, después que el medio iónicamente conductor pasa a través del electrodo de combustible 12, el medio puede fluir dentro del canal de salida 26 que está conectado a las salidas 36 de la cavidad 18 del soporte de electrodo 16 y la salida 22. La salida 22 puede conectarse a la entrada 20 en modalidades en donde se recircula el medio en la celda 10, o a una entrada de una celda adyacente, como se discute en mayor detalle a continuación, cuando una pluralidad de celdas 10 está conectada de forma fluida en serie. En una modalidad, la salida 22 puede conectarse a un recipiente para recolectar el medio que ha sido utilizado en la celda 10.

45 Las celdas 10 ilustradas en las Figuras 1 y 2 pueden conectarse de forma fluida en serie. Los detalles de modalidades de celdas que están conectadas en serie se proporcionan en la Solicitud de Patente de los Estados Unidos núm. 12/631,484, presentada el 4 de diciembre, 2009. La salida 22 de una primera celda 10 puede conectarse de forma fluida a la entrada 20 de una segunda celda 10, y la salida 22 de la segunda celda 10 puede conectarse a la entrada 20 de una tercera celda, y así sucesivamente. Aunque la modalidad de las Figuras 1 y 2 ilustra dos celdas 10, pueden apilarse celdas adicionales y conectarse de forma fluida a las celdas ilustradas. Debido a las trayectorias tortuosas, serpenteantes que se crean por el canal de entrada 24 y el canal de salida 26, descritos anteriormente e ilustrados en las Figuras 3 y 4, la longitud de los pasajes de flujo para el medio a través de los canales 24, 26 es mayor que la distancia entre el electrodo de combustible 12 y el electrodo oxidante 14 en cada una de las celdas 10. Esto crea una resistencia iónica entre el par de celdas fluidamente conectadas que es mayor que una resistencia iónica dentro de una celda individual 10. Esto puede reducir o minimizar la pérdida de resistencia iónica interna de la pila de celdas 10, como se discute en la Solicitud de Patente de los Estados Unidos núm. 12/631,484.

55 Las celdas también pueden conectarse de forma fluida en paralelo o en serie por el diseño de cámaras de dispensador para eliminar o reducir corrientes de derivación, tal como se describe en la Solicitud de Patente de Estados Unidos Serie núm. 61/439,759. En operación, el electrodo de combustible 12, que ya tiene un combustible de metal depositado en éste, está conectado a la carga y el electrodo oxidante 14 está conectado a la carga. El medio iónicamente conductor entra a la entrada 20 bajo presión positiva y fluye a través del canal de entrada 24, las entradas 34 de la cavidad 18, y dentro de las zonas de fluido 28 de los carriles de flujo 42. El medio iónicamente conductor fluye a través de los cuerpos de electrodo permeables 12a-12c en los carriles de flujo 42 definidos por las porciones medias alargadas 22 de los separadores 40. El medio iónicamente conductor también puede permear a través de los cuerpos de electrodo permeables 12a-12c del electrodo de combustible 12. El medio iónicamente conductor contacta simultáneamente el electrodo de combustible 12 y el electrodo oxidante 14, permitiendo consecuentemente que el combustible se oxide y conduce los electrones a la carga, mientras el oxidante se reduce en el electrodo oxidante 14 a través de los electrones

que se conducen al electrodo oxidante 14 por la carga. Después que el medio iónicamente conductor ha pasado a través de los carriles de flujo 42, el medio fluye fuera de la cavidad 18 a través de las salidas 36 de la cavidad 18, a través del canal de salida 24 y fuera de la salida 22 de la celda 10.

5 Cuando el potencial de la celda 10 se ha vaciado o cuando de otra forma es deseable recargar la celda 10, el electrodo de combustible 12 está conectado a la terminal negativa del suministro de energía y el electrodo de carga, que puede ser el electrodo oxidante 14, el electrodo de carga separado 70, o un cuerpo del mismo electrodo de combustible 12 está conectado a la terminal positiva del suministro de energía. En el modo de carga o recarga, el electrodo de combustible 12 se vuelve el cátodo y el electrodo de carga 14, 70 se vuelve el ánodo. Al proporcionar electrones a la carga de combustible 12, los iones de combustible pueden reducirse en combustible y red depositarse sobre los cuerpos de electrodo permeables 12a-12c, como se describe en mayor detalle a continuación, mientras el medio iónicamente conductor circula a través de la celda 10 de la misma forma como se describió anteriormente con respecto al modo de descarga.

15 Los carriles de flujo opcionales 42 proporcionan direccionalidad y distribución del medio iónicamente conductor a través del electrodo de combustible 12. Las zonas de fluidización opcional 28 agitan las partículas y precipitados que han sido formados durante el modo de descarga de la celda 10 dentro del medio iónicamente conductor y previenen que las partículas se asienten fuera del medio en el fondo de la cavidad, que permite que las partículas fluyan con el medio iónicamente conductor a través del electrodo de combustible 12. Los carriles de flujo 42 también pueden prevenir que las partículas se asienten y/o cubran los electrodos. Cuando la celda 10 está en un modo de carga, la distribución mejorada de las partículas a través del electrodo de combustible 12 puede permitir una deposición más uniforme del combustible reducido sobre el electrodo de combustible 12, que mejora la densidad del combustible sobre el electrodo de combustible 12, y aumenta la capacidad e intensidad de energía de la celda 10, mejorando consecuentemente la vida de ciclo de la celda 10. Además, al tener la capacidad de controlar la distribución de los precipitados o el producto secundario de reacción durante la descarga, la pasivación/deposición temprana del producto secundario sobre el electrodo de combustible 12 puede prevenirse. La pasivación lleva a la utilización de combustible inferior y vida de ciclo inferior, que es indeseable.

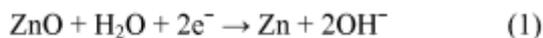
30 La celda 10 descrita anteriormente se presenta aquí para proporcionar contexto para varios aspectos de la presente invención y no pretende ser limitante. De forma similar, las Figuras 8-12 y sus descripciones asociadas a continuación se proporcionan como ejemplos previos para ilustrar en detalle la electrodeposición de combustible de metal sobre el electrodo de combustible 12 en el contexto de configuraciones previas del electrodo de combustible 12 dentro de la celda 10. Siguiendo esta descripción, la Figura 13 ilustra ineficiencias que pueden surgir con la celda 10 cuando el electrodo de combustible 12 tiene una configuración similar a aquellas ilustradas en las Figuras 8-12. Las Figuras 14-22 y sus descripciones asociadas, sin embargo, presentan varios aspectos y modalidades de la presente invención que pueden, entre otras cosas, mitigar las ineficiencias ilustradas en la Figura 13. Como en la celda 10 proporcionada para contexto anteriormente, las últimas Figuras ilustran un electrodo de combustible 12 que tiene una serie de cuerpos de electrodo permeables 12a-c dispuestos en relación separada a lo largo de una trayectoria de flujo. A pesar de la ilustración de tres cuerpos de electrodo permeables 12a-c, puede utilizarse cualquier número de cuerpos de electrodo permeables. Además, la electrodeposición sobre el electrodo de combustible 12 como se describe aquí puede encontrarse en cualquier tipo de celda electroquímica, y no está limitado al tipo ilustrativo de celda 10 descrito anteriormente. De esa forma, aunque la electrodeposición se describe a continuación con referencia a la celda 10, esto no pretende ser limitante. En donde se utilizan números de referencia entre las Figuras, se debe entender que se hace referencia a estructuras similares, y no es necesario repetir la descripción de esas estructuras aquí.

45 Las Figuras 8-10 muestran vistas ampliadas de un electrodo 12 que tiene configuración similar a la descrita anteriormente. La celda 10 de las Figuras 8-10 incluye un electrodo de carga separado del electrodo de combustible 12. Como se muestra, el electrodo de carga puede ser un electrodo de carga separado 70 separado del electrodo de combustible 12 y el electrodo oxidante 14 descrito anteriormente. En algunas modalidades, el electrodo de carga separado 70 puede estar separado del electrodo de combustible 12 sobre el mismo lado que el electrodo oxidante 14, tal como al colocarse entre el electrodo de combustible 12 y el electrodo oxidante 14. En otra modalidad, el electrodo de combustible 12 puede estar entre el electrodo oxidante 14 y el electrodo de carga separado 70. Sin embargo, en algunas modalidades, el electrodo oxidante 14 puede usarse durante la carga como el electrodo de carga, y la presencia de un electrodo separado (es decir, el electrodo de carga separado 70) dedicado a la carga no es necesario. En otra modalidad, uno o más de los cuerpos del electrodo de combustible 12 pueden funcionar como el electrodo de carga, como se discute a continuación. En las Figuras, el electrodo de carga separado 70 se usa debido a que muchos electrodos adecuados para funcionar como un cátodo de respiración de aire no se desempeñan bien en el papel anódico de un electrodo de carga. Sin embargo, la invención no pretende ser limitante, y es posible seleccionar un electrodo oxidante que es bifuncional, que significa que puede realizar tanto el papel de un cátodo de respiración de aire durante la generación de corriente y el papel de un electrodo de carga anódico durante la carga. De esa forma, cualquier referencia de aquí a un electrodo de carga puede considerarse como aplicándose a cualquiera del electrodo oxidante 14 o un electrodo separado 70 que funciona como el ánodo durante la carga. Más específicamente, aunque la modalidad ilustrada se describe con referencia al electrodo de carga como el electrodo de carga separado 70, se debe entender que la misma descripción podría utilizarse en donde el electrodo oxidante 14 es el electrodo de carga; se debe entender fácilmente que el flujo (si se usa) puede orientarse en consecuencia.

La carga de la celda electroquímica 10 puede realizarse al hacer fluir el medio iónicamente conductor que comprende iones de combustible de metal reducibles a lo largo de la trayectoria de flujo a lo largo de los cuerpos de electrodo permeables 12a-c. En otra modalidad, el medio iónicamente conductor puede fluir a través de los cuerpos de electrodo permeables 12a-c. Cualquier dirección adecuada de flujo puede utilizarse en la presente invención. Los iones de combustible reducibles pueden estar presentes en el medio iónicamente conductor en cualquier forma adecuada, tal como en forma iónica, atómica, molecular o compleja.

Aunque el medio iónicamente conductor que comprende iones de metal reducibles fluye a lo largo de los cuerpos de electrodo permeables 12a-c, una corriente eléctrica desde una fuente externa, que puede ser cualquier fuente de energía capaz de suministrar corriente eléctrica, se aplica entre el electrodo de carga 70 y un terminal 12a de los cuerpos de electrodo permeables 12a-c con el electrodo de carga funcionando como un ánodo y el cuerpo de electrodo permeable de terminal funcionando como un cátodo. Como un resultado, se reducen los iones de combustible de metal reducibles y se electrodepositan como combustible de metal en forma oxidable sobre el cuerpo de electrodo permeable de terminal 12a. En la modalidad ilustrada, el cuerpo de electrodo permeable de terminal 12a es el cuerpo de electrodo distal al electrodo de carga 70. Aunque esto es preferido en el contexto de la modalidad ilustrada, en otras disposiciones uno de los cuerpos de electrodo permeable 12a-c diferente puede servir como el cuerpo de electrodo permeable de terminal, como se discute más abajo.

En una modalidad no limitante, en donde el combustible es zinc y el medio iónicamente conductor es hidróxido de potasio (KOH), los iones de zinc en el medio iónicamente conductor pueden proporcionarse en cualquier forma reducible adecuada, y preferentemente en la forma de óxido de zinc (ZnO). Esto es ventajoso, ya que el óxido de zinc es el producto secundario de la operación de generación de corriente descrita anteriormente con respecto a la modalidad previa, y de esa forma la celda puede recargarse usando el producto secundario reversible de su propia operación de generación de corriente. Esto elimina la necesidad de suministrar el combustible de una fuente nueva para cada carga, ya que la operación de generación de corriente ya ha creado el óxido de zinc reducible en el medio iónicamente conductor. En tal modalidad, la reacción de reducción ocurre como sigue en el sitio de reducción:



Y la oxidación correspondiente ocurre en el electrodo de carga 70 que funciona como un ánodo (también denominado como un electrodo que produce oxígeno) como sigue, oxidando las especies de oxígeno para producir gas de oxígeno que puede desgasificarse opcionalmente en cualquier forma adecuada:



Sin embargo, el combustible no necesita estar limitado a zinc, y puede usarse cualquier otro combustible de metal, incluyendo cualquiera de los mencionados anteriormente en esta solicitud. De forma similar, el medio iónicamente conductor puede ser diferente, y puede ser alcalino o ácido en varias modalidades. También, no es necesario que los iones de combustible reducibles se proporcionen por el producto secundario de la operación de generación de corriente, y está dentro del alcance de la invención utilizar combustibles que crean productos secundarios que no son reversibles fácilmente. De esa forma, está dentro del alcance de la invención que el medio iónicamente conductor utilizado para carga se suministre desde una fuente de combustible separada con los iones de combustible en una forma adecuada para reducción y electrodeposición, cuya fuente de combustible está separada del medio iónicamente conductor utilizado durante la generación de corriente y que acumula el producto secundario. De forma similar, el mismo medio iónicamente conductor podría utilizarse en ambos procedimientos, pero el combustible podría proporcionarse separadamente de su propia fuente durante la recarga.

Durante la carga, la electrodeposición ocasiona la expansión del combustible de metal en una morfología permeable de flujo entre los cuerpos de electrodo permeables 12a-12c para que el combustible de metal electro depositado establezca una conexión eléctrica entre el cuerpo permeable de terminal 12a y cada cuerpo de electrodo permeable subsecuente 12b-c. Como un resultado de este crecimiento, la reducción y la electrodeposición ocurren en cada cuerpo de electrodo permeable subsecuente 12b-c con el establecimiento de la conexión eléctrica.

Por morfología permeable de flujo, se entiende que la morfología de la expansión de metal entre los cuerpos de electrodo 12a-c está configurada para que el medio iónicamente conductor siga siendo capaz de fluir a lo largo de los cuerpos de electrodo 12a-c. De esa forma, se permite que el flujo continúe, y la expansión no exhibe características laterales dominantes con respecto a la dirección de flujo que causarían atascamiento o bloqueo completo entre los cuerpos de electrodo permeables 12a-c. La expansión puede tener cualquier configuración, y el flujo permitido puede ser en cualquier dirección. Es posible hacer que la expansión ocurra sin ningún flujo. Como tal, la expansión puede ser hacia o lejos o en ambas direcciones desde el ánodo dependiendo del campo eléctrico, dirección de flujo, u otras condiciones electroquímicas. En varias modalidades, la expansión puede ocurrir como morfología de ramificación densa, morfologías de crecimiento detritico, u otras morfologías conocidas por surgir bajo condiciones de expansión limitadas de transporte. La expansión puede tener una direccionalidad suficiente hacia el siguiente cuerpo de electrodo permeable, puede ocurrir como una expansión de distribución generalmente uniforme, o de cualquier otra forma.

En la modalidad ilustrada, la expansión exhibida es dendrítica, y la expansión es en la dirección hacia el electrodo de carga 70. Las Figuras ilustran la morfología de expansión en un formato exagerado para entender mejor los principios básicos de operación. En una ejecución práctica, la expansión típicamente será significativamente más densa a través de los cuerpos de electrodo 12a-c.

La Figura 8, se muestra la reducción inicial de los iones de combustible y electrodeposición del combustible de metal en una configuración previa del electrodo de combustible 12. Las dendritas se electrodepositan inicialmente sobre y comienzan su crecimiento sobre el cuerpo de electrodo de terminal 12a. Esto es debido a que el cuerpo de electrodo 12a está conectado a la corriente externa, y tiene un potencial catódico que causa la reducción de los iones de combustible y la electrodeposición del combustible sobre éstos (mientras el electrodo de carga 70 está conectado a la carga externa y funciona como el ánodo). En contraste, los cuerpos de electrodo restantes 12b-c están inicialmente inactivos y no funcionan como un sitio de reducción debido a que no están conectados a la corriente externa. El crecimiento continúa con la expansión de metal como una serie de dendritas desde el cuerpo de electrodo 12a hacia el cuerpo de electrodo 12b. Entonces esto establece una conexión eléctrica entre los cuerpos de electrodo 12a y 12b, que a su vez causa que el cuerpo de electrodo 12b ahora también tenga el potencial catódico aplicado a éste.

El crecimiento después de eso continúa con los iones de combustible que se reducen y electrodepositan como combustible de metal sobre el cuerpo de electrodo 12b, como se muestra en la Figura 9. Este crecimiento continúa con la expansión del metal como otra serie de dendritas desde el cuerpo de electrodo 12b hacia el cupo electrodo 12c. Entonces esto establece una conexión eléctrica entre los cuerpos de electrodo 12a, 12b, y 12c, que a su vez causa que el cuerpo de electrodo 12c ahora también tenga el potencial catódico aplicado a éste.

El crecimiento después de eso continúa con los iones de combustible que se reducen y electrodepositan como combustible de metal sobre el cuerpo de electrodo 12c, como se muestra en la Figura 10. Este crecimiento continúa con el metal que se desarrolla como otra serie de dendritas desde el cuerpo de electrodo 12c hacia el electrodo de carga (es decir, electrodo de carga separado 70). Sin importar el número de cuerpos de electrodo permeables, el patrón de expansión continuará a través de los cuerpos de electrodo permeables en el electrodo de combustible 12. Eventualmente, la expansión sobre el último cuerpo 12c puede alcanzar el electrodo de carga, acortando de esa forma el circuito e indicando la finalización de la expansión.

En modalidades en donde el flujo es paralelo a los cuerpos de electrodo 12a, 12c, o en donde no existe flujo, sería preferible que el cuerpo de electrodo de terminal sea el distal del electrodo de carga (es decir, el electrodo que funciona como el ánodo durante la recarga) para que la expansión hacia el electrodo de carga progrese a través de múltiples cuerpos de electrodo 12a-12c por su tendencia natural a crecer hacia el potencial anódico. En otras modalidades, en donde el flujo pasa a través de los cuerpos de electrodo 12a-c: puede ser preferible alterar la ubicación del cuerpo del electrodo de terminal para que el flujo crezca alternativamente hacia o lejos del electrodo de carga.

Las Figuras 11 y 12 muestran modalidades alternativas de la configuración previa en donde cada uno de los cuerpos 12a-12c están acoplados a la carga. La utilización de dicho aspecto es deseable, ya que durante la generación de energía (es decir, descarga), la oxidación puede estar ocurriendo a través del electrodo 12, liberando de esa forma electrones para conducción a la carga. Al conectar terminales para propósitos de recolección de corriente a todos los cuerpos de electrodo 12a-12c, estos electrones pueden recolectarse directamente desde cada cuerpo de electrodo. Además, esta disposición es deseable debido a que aún permite la recolección de corriente de las reacciones de oxidación en curso en cuerpos de electrodo que se han "desconectados" de los otros cuerpos de electrodo por consumo del crecimiento entre los cuerpos. Tal condición puede ocurrir durante la generación de energía o la descarga basándose en varios factores. En algunas modalidades, esto puede ser preferido con respecto a usar un terminal individual para propósitos de conexión a la carga, como se discutió anteriormente.

La Figura 11 muestra una modalidad similar a la Figura 8, pero con la carga selectivamente acoplada a cada uno de los cuerpos de electrodo 12a-12c del electrodo de combustible 12, y también al electrodo oxidable 14 (que en este caso no es igual al electrodo de carga 70 que está separado como se muestra). De esa forma, durante la generación de corriente, el combustible sobre el electrodo de combustible 12 se oxida, generando electrones que se conducen para alimentar la carga y después se conducen al electrodo oxidante 14 para reducción del oxidante (como se discutió en más detalle anteriormente). La Figura 11 también ilustra esquemáticamente un suministro de energía utilizado para propósitos de carga acoplado entre el electrodo de carga 70 y el cuerpo de electrodo 12a. Como se discutió anteriormente en más detalle, el suministro de energía aplica una diferencia potencial entre el cuerpo de electrodo de terminal 12a y el electrodo de carga 70 para que se reduzca el combustible y se electrodeposite sobre el cuerpo de electrodo de terminal 12a y la reacción de oxidación correspondiente se lleve a cabo en el electrodo de carga 70. Para asegurar que la expansión ocurra en la forma progresiva opcional desde el cuerpo de electrodo 12a en la dirección hacia el cuerpo de electrodo 12c como se discutió anteriormente, se proporcionan uno o más aislantes de corriente 90 para aislar los otros cuerpos de electrodo 12b-12c del circuito conectado al suministro de energía.

Los aislantes de corriente 90 previenen que la corriente fluya entre los cuerpos de electrodo 12a-12c, excepto según sea permitido por la expansión progresiva del combustible durante carga. Los aislantes de corriente 90 también aíslan los cuerpos de electrodo 12b-12c de la conexión directa con el suministro de energía, para que sea la única conexión que se establece por la expansión progresiva. Dicho de otra forma, los aislantes 90 previenen que se aplique

directamente el potencial de suministro de energía a aquellos cuerpos de electrodo 12b-12c a través del circuito durante la carga. Como tal, la única forma de que la corriente/potencial eléctrico se aplique a aquellos cuerpos de electrodo 12b-12c es a través de la expansión electrodepositada como se describió anteriormente.

5 Los aislantes de corriente 90 pueden tomar cualquier forma, y no debe considerarse ningún aislante particular como limitante. Por ejemplo, el aislante de corriente 90 puede proporcionarse por uno o más diodos que están orientados para permitir que los electrones fluyan desde uno de los cuerpos de electrodo 12a-12c a la porción de circuito que comprende la carga, pero previenen cualquier flujo de corriente en la dirección opuesta. De forma similar, un aislante de corriente 90 puede ser un interruptor que está cerrado durante la generación/descarga de energía para conectar un cuerpo de electrodo 12a-12c a la porción de circuito que comprende la carga, y que se abre durante la carga para desconectar y aislar el cuerpo de electrodo 12a-12c de ese circuito. Cualquier mecanismo de control adecuado puede proporcionarse para controlar la acción del interruptor entre las posiciones abiertas y cerradas. Por ejemplo, puede utilizarse un interruptor de relé que está desviado hacia la posición abierta, con una bobina inductora acoplada al suministro de energía que causa el cierre del interruptor cuando comienza la carga. Además, un interruptor más complejo que permite la conexión individual a una pluralidad de los cuerpos de electrodo 12a-12c podría utilizarse para proporcionar la conexión/desconexión hacia y desde la carga, y hacia y desde uno del otro. También, los aislantes de corriente pueden ser elementos diferentes, tales como un interruptor para aislante de corriente 90 en el cuerpo de electrodo 12a, y diodos de una dirección en los otros cuerpos de electrodo 12b-12c. El flujo de electrones se muestra en flechas punteadas y sólidas en la Figura 11 para ilustrar la funcionalidad general del aislante(s) de corriente. Cualquier otro componente eléctrico adecuado que proporciona tal aislamiento puede utilizarse.

También, la configuración de la Figura 11 puede alterarse para trabajar con cualquiera de las modalidades alternativas aquí descritas, y cualquier otra de las modalidades dentro del alcance de la invención. Por ejemplo, si se utiliza otro cuerpo de electrodo (por ejemplo, cuerpo 12c), como el cuerpo de electrodo de terminal durante la carga, entonces el suministro de energía puede, acoplarse a ese cuerpo de electrodo y pueden utilizarse uno o más aislantes de corriente durante la carga para aislar el cuerpo de electrodo del circuito que comprende la carga y los otros cuerpos de electrodo.

La Figura 12 muestra una modalidad en donde el electrodo oxidante 14 también es el electrodo de carga (por lo tanto, ha sido etiquetado como 14 y 70 en la Figura). De esa forma, el electrodo oxidante 14 funciona como el cátodo durante la generación/descarga de energía, y como el ánodo durante la carga, como se describió anteriormente. En la Figura 12, la carga está selectivamente acoplada a cada uno de los cuerpos de electrodo 12a-12c del electrodo de combustible 12, y también al electrodo oxidante 14. De esa forma, durante la generación de corriente, el combustible sobre el electrodo de combustible 12 se oxida, generando electrones que son conducidos para alimentar la carga y entonces conducidos al electrodo oxidante 14 para reducción del oxidante (como se discutió en más detalle anteriormente). La Figura 12 también ilustra esquemáticamente un suministro de energía utilizado para propósitos de carga acoplado entre el electrodo oxidante 14 y el cuerpo de electrodo de terminal 12a. Como se discutió anteriormente en más detalle, el suministro de energía aplica una diferencia potencial entre el cuerpo de electrodo de terminal 12a y el electrodo oxidante 14 para que el combustible se reduzca y electrodeposite sobre el cuerpo del electrodo de terminal 12a, y se lleve a cabo la reacción de oxidación correspondiente en el electrodo oxidante 14 (que funciona como el electrodo de carga). Para asegurar que la expansión ocurra en forma progresiva desde el cuerpo de electrodo 12a en la dirección hacia el cuerpo de electrodo 12c como se discutió anteriormente, se proporcionan uno o más aislantes de corriente 90 para aislar los otros cuerpos de electrodo 12b-12c del circuito conectado al suministro de energía. También, uno o más, y en este caso un par, de segundos aislantes de corriente opcionales 92 se proporcionan para aislar el suministro de energía de los electrodos 12, 14/70 durante la generación de energía. Un tercer aislante de corriente opcional 94 se proporciona para aislar el electrodo oxidante 14 y el suministro de energía del circuito que comprende la carga y los otros cuerpos de electrodo 12a-12c durante la carga.

Similarmente el aislante de corriente en la Figura 11, los aislantes de corriente 90 en la Figura 12 previenen que la corriente fluya directamente entre los otros cuerpos de electrodo 12b-12c y el suministro de energía a través del circuito durante carga, y también entre los cuerpos de electrodo, excepto como se permite por la expansión progresiva del combustible. Dicho de otra forma, los aislantes 90 previenen que el potencial del suministro de energía se aplique directamente a esos cuerpos de electrodo 12b-12c a través del circuito durante la carga. De esa forma, la corriente/potencial eléctrico se aplica únicamente a cuerpos de electrodo 12b-12c a través de la expansión de electrodeposición como se describió anteriormente. Preferentemente, el aislante de corriente 90 en la Figura 12 es un interruptor que se mueve entre posiciones abiertas y cerradas, ya que un diodo no proporcionaría una función de aislamiento del diseño ilustrado. De forma similar, los segundos aislantes de corriente 92 previenen que la corriente fluya entre los electrodos y el suministro de energía durante la generación de energía, pero permite que la corriente fluya desde el suministro de energía durante la carga; y el tercer aislante de corriente 94 previene que la corriente fluya entre el electrodo oxidante y la porción de circuito que comprende la carga y los otros cuerpos de electrodo 12a-12c durante la carga, pero permite que la corriente fluya desde la carga hacia el electrodo oxidante 14 durante la generación de energía. Estos segundos y terceros aislantes de corriente pueden omitirse en algunos sistemas. Como tal, la única forma de que se aplique la corriente/potencial eléctrico a aquellos cuerpos de electrodo 12b-12c es a través de la expansión electrodepositada como se describió anteriormente. Los aislantes de corriente pueden tomar cualquier forma, incluyendo aquellas mencionadas anteriormente, y no debe considerarse ningún aislante particular como limitante.

65

También es posible en cualquiera de las modalidades de la invención aplicar el potencial catódico simultáneamente a todos los cuerpos de electrodo del ánodo, en lugar de sólo a uno para producir la expansión progresiva cuerpo por cuerpo. La expansión progresiva que emana de un terminal es ventajoso debido a que proporciona una expansión más densa de combustible electrodepositado. Específicamente, la expansión en los cuerpos de electrodo previamente conectados continúa cuando cada cuerpo posterior se conecta por la expansión progresiva. Sin embargo, la expansión progresiva proporciona un área menos activa para la electrodeposición y por lo tanto toma más tiempo a una densidad de corriente fija o potencial que aplicar el potencial catódico a múltiples cuerpos de electrodo simultáneamente. Con todo los cuerpos de electrodo sometidos al mismo potencial, la expansión ocurrirá únicamente hasta que ocurra un corte entre el electrodo de carga 14/70 y el cuerpo de electrodo cerca de éste. De esa forma, es posible tener una expansión más rápida, pero menos densa de esta forma, lo cual puede ser factible para ciertas necesidades de recarga.

Otras modalidades de la presente invención pueden tener diferentes conexiones y circuitos eléctricos, incluyendo otros mecanismos de conmutación que pueden hacer uso de aislantes de corriente. Por ejemplo, ver las modalidades encontradas en la Solicitud de Patente de ESTADOS UNIDOS. Serie No. 12/885,268, que se ha incorporado aquí para referencia.

Como se menciona con respecto a algunas celdas de andamiaje del tipo descrito anteriormente, la expansión de combustible durante la carga puede extraerse del electrodo de combustible 12 en una dirección hacia el electrodo de carga 70. Tal dirección de expansión también puede encontrarse con respecto a celdas en donde el flujo de medio iónicamente conductor corre paralelo a los electrodos, como se discutirá en mayor detalle a continuación. La razón de tal dirección de expansión de combustible puede incluir la dirección de flujo del medio iónicamente conductor, y líneas de campo eléctrico presentes entre el electrodo de combustible 12 y el electrodo de carga 70.

Las celdas 10 esquemáticamente ilustradas en las Figuras 8-12 han sido generalmente ilustradas con cuerpos de electrodo 12a-12c del electrodo de combustible 12 que es de un tamaño plano similar. Como se observa en la Figura 13, en algunas celdas 10 de este tipo, por razones predominantemente relacionadas con las líneas de campo eléctrico presentes entre el electrodo de combustible 12 y el electrodo de carga 70, la expansión puede ser mayor en los bordes de cada uno de los cuerpos de electrodo 12a-12c. Tal expansión mejorada puede causar que se formen conexiones eléctricas entre cada uno de los cuerpos de electrodo 12a-c a una velocidad más rápida que lo deseable. La expansión de borde mejorada en el cuerpo de electrodo de terminal 12a puede causar que se formen conexiones eléctricas en los bordes de los cuerpos de electrodo permeables, lo causa que comience la expansión prematura en los cuerpos de electrodo posteriores, reduciendo la expansión densa en la región interior de los cuerpos de electrodo iniciales. Por ejemplo, como se ilustra en la Figura 13, la expansión de borde tiene el cuerpo de electrodo permeable 12c eléctricamente conectado al cuerpo de electrodo permeable 12b, comenzando la expansión sobre el electrodo 12c sin haber formado una expansión densa sobre el cuerpo de electrodo permeable 12b. Para retrasar la formación de tales conexiones eléctricas prematuras entre los bordes de los cuerpos de electrodo 12a-c, se corrigen tales efectos de borde por la presentación, como se describe más abajo.

Para prevenir los efectos de esta expansión de borde, puede usarse una configuración de andamio escalonado para los cuerpos de electrodo permeables 12a-c, en donde los tamaños planos de los cuerpos de electrodo permeables son más pequeños entre sí en la dirección de expansión, para que la expansión de borde no pueda contactar y conectar eléctricamente los cuerpos de electrodo permeables 12a-c. Como se observa en la modalidad de la Figura 14, los cuerpos de electrodo 12a-c pueden disponerse para que el cuerpo de electrodo permeable 12a se defina para ser el cuerpo de electrodo de terminal para cargar la celda electroquímica, y se coloca lejos del electrodo de carga 70. Un cuerpo de electrodo próximo, visto en una modalidad ilustrada como el cuerpo de electrodo permeable 12c, está separado cerca del electrodo de carga 70. En otras modalidades, en donde existen menos de tres cuerpos de electrodo permeables, el cuerpo de electrodo distal podría permanecer como el cuerpo de electrodo 12a, pero el cuerpo de electrodo próximo podría ser el cuerpo de electrodo 12b (para modalidades únicamente con dos cuerpos de electrodo permeables en el electrodo de combustible 12). De forma similar, si existen más de tres cuerpos de electrodo permeables, el cuerpo de electrodo próximo podría ser, por ejemplo, el cuerpo de electrodo 12h (para modalidades con ocho cuerpos de electrodo permeables en el electrodo de combustible 12).

En la configuración ilustrada, el cuerpo de electrodo distal, el cuerpo de electrodo permeable 12a, tendría el tamaño plano mayor de los cuerpos de electrodo 12a-c. En la dirección de formación de dendrita hacia el electrodo de carga 70, cada cuerpo de electrodo subsecuente 12b-c tendría un tamaño plano subsecuentemente más pequeño (tamaño plano se refiere al área de superficie general definida por la periferia del cuerpo, y no necesariamente significa que sea plano). Por ejemplo, en la modalidad ilustrada de la Figura 14, el cuerpo de electrodo de terminal y distal 12a tiene un tamaño plano más grande que el cuerpo de electrodo próximo colocado más cerca del electrodo de carga 70, de nuevo mostrado en las Figuras como el cuerpo de electrodo permeable 12c. En modalidades con más de dos cuerpos de electrodo permeables, cada cuerpo de electrodo subsecuente en la dirección de crecimiento de dendrita tiene un tamaño plano más pequeño que el cuerpo de electrodo que lo precede, en donde al menos un borde de los cuerpos de electrodo más grandes se extiende más allá de los cuerpos de electrodo más pequeño subsecuentes. Es decir, cada cuerpo de electrodo tiene un tamaño progresivamente más pequeño en la dirección distal a próxima, con los bordes (sobre uno o más lados) de cada cuerpo de electrodo localizados hacia adentro del borde del cuerpo de electrodo adyacente en una dirección distal en una forma progresiva. En tal configuración, en donde a lo largo de un borde periférico del electrodo de combustible 12, se localiza un borde del cuerpo de electrodo próximo 12c hacia adentro de un

borde del cuerpo de electrodo distal 12a, se forma una apariencia de andamio escalonado. En algunas modalidades, únicamente un subgrupo de cuerpos de electrodo 12a-c tendría la configuración escalonada.

En numerosas modalidades, puede proporcionarse material aislante alrededor de algunos o todos los bordes de los cuerpos de electrodo 12a-c. El material aislante puede proteger además contra la expansión gruesa o no uniforme en los bordes de los cuerpos de electrodo 12a-c, tal como la expansión mejorada descrita anteriormente. El material aislante es únicamente un reborde o cubierta de borde, y de esa forma termina hacia adentro del borde. Cuando el material aislante se extiende sobre la periferia completa de un cuerpo, puede considerarse como un reborde. El material aislante puede ser de cualquier construcción adecuada o configuración, incluyendo pero no limitándose a materiales aislantes contruidos de plástico, caucho, o vidrio. En algunas modalidades, el material aislante puede aplicarse como un material de revestimiento. En una modalidad, el material aislante puede comprender epoxi u otra forma de polímero.

Las Figuras 15-16 ilustran la morfología de expansión que progresa de la Figura 14 en un formato exagerado para entender mejor los principios básicos de operación. En una ejecución práctica, la expansión típicamente será significativamente más densa a través de cuerpos de electrodo 12a-c.

Durante la reducción inicial de los iones de combustible y la electrodeposición de las dendritas de combustible de metal que están en crecimiento sobre su cuerpo de electrodo de terminal 12a. Esto es debido a que el cuerpo de electrodo 12a está conectado a la corriente externa, y tiene un potencial catódico que causa la reducción de los iones de combustible y la electrodeposición del combustible sobre éstos (mientras el electrodo de carga 70 está conectado a la carga externa y funciona como el ánodo). En contraste, los cuerpos de electrodo restantes 12b-c son inicialmente inactivos y no funcionan como un sitio de reducción debido a que no están conectados a la corriente externa.

La expansión continúa con la expansión de metal como una serie de dendritas desde el cuerpo de electrodo 12a hacia el cuerpo de electrodo 12b. Esto entonces establece una conexión eléctrica entre los cuerpos de electrodo 12a y 12b, que a su vez causa que el cuerpo de electrodo 12b ahora también tenga el potencial catódico aplicado a éste. El potencial catódico del cuerpo de electrodo 12b permite la formación de dendrita en la dirección hacia el cuerpo de electrodo 12c, como se observa en la Figura 15. Debido al campo eléctrico que produce una expansión mejorada en el borde del cuerpo de electrodo 12b, el contacto eléctrico al cuerpo de electrodo 12c ya habría ocurrido en esta etapa de crecimiento, habría tenido el borde del cuerpo de electrodo 12c extendido dentro del área de expansión mejorada. Ya que la configuración de andamio escalonado previene tal traslape, la conexión eléctrica entre cuerpos de electrodo 12b y 12c se retrasa, retrasando el potencial catódico que se aplica al cuerpo de electrodo 12c, y de esa forma extendiendo el periodo para la expansión sobre el cuerpo de electrodo 12b antes de acortar el cuerpo de electrodo 12c. (El mismo retraso también ocurrió entre cuerpos de electrodo 12a y 12b).

El crecimiento después de eso continúa con los iones de combustible que se reducen y electrodepositan como combustible de metal sobre el cuerpo de electrodo 12b, estableciendo eventualmente una conexión eléctrica retrasada entre los cuerpos de electrodo 12a, 12b, y 12c. Esto a su vez causa que el cuerpo de electrodo 12c ahora también tenga el potencial catódico aplicado a éste, comenzando el crecimiento de dendrita hacia el electrodo de carga, cómo se muestra en la Figura 16.

La expansión también continúa con los iones de combustible que se reducen y se electrodepositan como combustible de metal sobre el cuerpo de electrodo 12c, estableciendo eventualmente una conexión eléctrica entre cuerpos de electrodo 12a, 12b, y 12c. Esto a su vez causa que el cuerpo de electrodo 12c también tenga el potencial catódico aplicado a éste, comenzando el crecimiento de dendrita hacia el electrodo de carga. Este patrón de crecimiento continuará a través de los cuerpos de electrodo permeables 12a-c en el electrodo de combustible 12. Eventualmente, la expansión sobre el último cuerpo 12c puede alcanzar el electrodo de carga, acortando el circuito e indicando finalización de la expansión.

La configuración de andamio escalonado puede utilizarse con cualquiera de las modalidades alternativas aquí descritas, o cualquier otra de las modalidades en general. Por ejemplo, como se observa en la Figura 17, el electrodo de carga 70 puede ser escalonado para ser más pequeño que el cuerpo de electrodo que está más cerca del electrodo de carga. En la modalidad ilustrada, el electrodo de carga 70 es más pequeño que el cuerpo de electrodo 12c más pequeño. En una modalidad, la expansión puede ser a un ángulo de acuerdo con el campo eléctrico entre el electrodo de combustible 12 y el electrodo de carga 70. Tal modalidad puede prevenir un corte prematuro entre el cuerpo de electrodo próximo 12c y el electrodo de carga, permitiendo la expansión más densa sobre el cuerpo de electrodo próximo 12c. En una modalidad alternativa, el electrodo de carga 70 puede ser dimensionado para ser más grande que el cuerpo de electrodo que está más cerca del electrodo de carga 70. En otra modalidad, el electrodo de carga 70 puede ser del mismo tamaño que el cuerpo de electrodo que está más cerca del electrodo de carga 70. En la configuración con un electrodo oxidante separado 14, el tamaño del electrodo oxidante 14 puede elegirse para que sea más grande que el cuerpo de electrodo más grande sobre el cual el combustible se electrodeposita. Esto asegura la completa oxidación de combustible durante la descarga.

Para otro ejemplo, como se observa en la Figura 18, la pluralidad de cuerpos de electrodo 12a-c puede acoplarse al cuerpo del electrodo de terminal 12a, mientras los cuerpos de electrodo 12a-c pueden acoplarse selectivamente entre sí, o seleccionarse individualmente, a través de uno o más aislantes de corriente 90, para acoplarse a una carga durante

la descarga de la celda electroquímica, tal como se describió anteriormente con respecto a la modalidad de la Figura 11. Similarmente, en modalidades tal como se observa en la Figura 19, en donde el electrodo oxidante 14 también es el electrodo de carga 70 (etiquetado tanto 14 como 70), la configuración de andamio puede utilizarse en donde se acopla un suministro de energía utilizado para propósitos de carga entre el cuerpo de electrodo de terminal 12a y el electrodo oxidante 14 a través de uno o más, y en este caso un par, de segundos aislantes de corriente opcionales 92, que pueden desconectar el suministro de energía durante la operación de generación de corriente. Tal modalidad sería análoga a la modalidad descrita anteriormente con respecto a la modalidad de la Figura 12. De forma similar, un tercer aislante de corriente opcional 94 puede utilizarse entre la carga y el electrodo oxidante 14/electrodo de carga 70 para prevenir que la corriente fluya entre el electrodo oxidante y la porción de circuito que comprende la carga y los otros cuerpos de electrodo 12a-12c durante la carga, pero también permite que la corriente fluya desde la carga hacia el electrodo oxidante 14 durante la generación de energía.

Visto en las Figuras 20 y 21 está la configuración de andamio escalonado a medida que se utiliza en la configuración del sistema 100 de celda electroquímica ilustrada primero en las Figuras 1 y 2, teniendo cuerpos de electrodo 12a-c. Como se muestra, el electrodo oxidante 14 (es decir, el cátodo de respiración de aire) puede ser mayor que el más grande de los cuerpos de electrodo permeables 12a. Aunque, el electrodo de carga 70 se ilustra como siendo de un tamaño similar al más grande de los cuerpos de electrodo permeables 12a, en otras modalidades el electrodo de carga 70 puede ser más grande o más pequeño que el cuerpo de electrodo permeable más grande 12a, o el cuerpo de electrodo permeable más pequeño 12c, como se observó anteriormente.

Finalmente, como se observa en las ilustraciones ilustrativas no limitantes de las Figuras 22a-c, similar a las modalidades descritas anteriormente, la configuración de un andamio escalonado puede en varias modalidades aplicarse a un borde de los cuerpos de electrodo 12a-12c (Figura 22a), dos bordes de los cuerpos de electrodo 12a-12c (Figura 22b), o más (es decir, Figura 22c). Tales variaciones sobre las configuraciones de andamio escalonado pueden desearse dependiendo de la colocación y la forma del electrodo de carga 70, o la dirección de flujo del medio iónicamente conductor dentro de la celda 10. De forma similar, en tales modalidades, la orientación de los cuerpos de electrodo puede ser diferente. Como un ejemplo no limitante, como se observa en las Figuras 23a-c, la orientación puede ser horizontal, en lugar de vertical, para cada uno de los cuerpos de electrodo 12a-c y electrodo de carga 70. Adicionalmente, en algunas modalidades únicamente un subgrupo de los cuerpos de electrodo 12a-12c tendría la configuración de andamio escalonado (y los cuerpos próximos y distales se identificarían dentro de ese subgrupo).

También, en algunas modalidades, las celdas pueden diseñarse como "bi-celdas". El término se refiere a un par de electrodos de aire que están en lados opuestos de un electrodo de combustible. Durante la descarga, los electrodos de aire están generalmente al mismo potencial catódico y el electrodo de combustible está a un potencial anódico. Típicamente, puede disponerse un par de electrodos de carga dedicada en el medio iónicamente conductor entre los electrodos de aire y el electrodo de combustible (aunque los electrodos de aire también podrían ser electrodos de carga, como se discutió anteriormente, o los electrodos de carga podrían ser cuerpos del electrodo de combustible, como se discute a continuación). Durante la carga, los electrodos de carga están generalmente al mismo potencial anódico, y el electrodo de combustible está a un potencial catódico (alternativamente, el electrodo de carga puede cargar dinámicamente, como se describió anteriormente). De esa forma, los electrodos de aire pueden compartir un terminal común, y el electrodo de combustible tiene su propia terminal, y los electrodos de carga también pueden compartir un terminal común. Como tal, electroquímicamente hablando, tal bi-celda puede considerarse como una celda individual (aunque dentro de la bi-celda, ciertos aspectos de la celda, tales como una expansión del combustible bidireccional, puede causar que una bi-celda se considere como dos celdas para ciertos propósitos; sin embargo, a un nivel más alto para manejo de descarga y conexión de modo, aquellos aspectos son menos relevantes y la bi-celda puede verse funcionalmente como una celda individual). En una modalidad, el par de electrodos de aire puede corresponder al segundo electrodo 12, y el electrodo de combustible puede corresponder al primer electrodo 12, y el par de electrodos de carga puede corresponder al tercer electrodo 70.

Además, cualquiera de las modalidades de los interruptores descritos anteriormente (por ejemplo, para permitir que el modo de carga, y modo de descarga) también pueden utilizarse con una pluralidad de celdas electroquímicas que tienen un oxígeno dinámicamente cambiante que evoluciona (es decir, carga) a electrodo/electrodo de combustible, tal como el progresivo descrito en la Solicitud de Patente de los Estados Unidos Serie núm. 61/383,510, presentada el 16 de septiembre, 2010. Por ejemplo, como se describe en la Solicitud de Patente Provisional de los Estados Unidos Serie núm. 69/383,510, cada celda 10 también puede tener su propia pluralidad de interruptores asociados con los cuerpos de electrodo para permitir la expansión progresiva de combustible.

Por ejemplo, en una modalidad, durante la carga, el electrodo de carga de cada celda 10 puede acoplarse al electrodo de combustible 12 de la celda subsecuente 10. En una modalidad, durante la carga, un primer cuerpo de electrodo 12a del electrodo de combustible 12 puede tener un potencial catódico y el resto de los cuerpos de electrodo y/o un electrodo de carga separado opcional puede tener un potencial anódico, causando de esa forma que aquellos cuerpos y cualquier electrodo de carga separado funcionen colectivamente como un electrodo de carga. En tal modalidad, durante la expansión progresiva de combustible del electrodo de combustible 12, el combustible puede expandirse sobre el cuerpo del electrodo de combustible 12a que tiene el potencial catódico y causar un corte con el cuerpo de electrodo adyacente 12b que tiene el potencial anódico. El cuerpo de electrodo adyacente 12b puede desconectarse después de la fuente de potencial anódico a través de la conexión eléctrica establecida por el metal electrodepositado, el cuerpo de

electrodo adyacente 12b también tiene el potencial catódico. Este procedimiento puede continuar con el resto los cuerpos de electrodo hasta que ya no sea posible ninguna expansión adicional (es decir, el potencial catódico ha cortocircuitado al menos para el último cuerpo de electrodo del cátodo de combustible 12 que tiene un potencial anódico o un electrodo de carga separado). Una pluralidad de interruptores puede proporcionarse para conectar/desconectar los cuerpos de electrodo entre sí y/o a fuentes de potencial catódico o anódico. De esa forma, en tales modalidades que tienen expansión progresiva de combustible, el electrodo de carga puede ser un electrodo de carga separado del electrodo de combustible 12 o puede ser al menos el cuerpo de electrodo adyacente del primer electrodo de carga 12, hasta todos los otros cuerpos de electrodo, que tienen un potencial anódico. En otras palabras, el electrodo de carga puede ser un electrodo de carga separado, un cuerpo de electrodo individual del electrodo de combustible 12 que tiene un potencial anódico localizado adyacente al menos a un cuerpo de electrodo que tiene un potencial catódico, y/o un grupo de cuerpos de electrodo del electrodo de combustible que tiene un potencial anódico localizado adyacente al menos a un cuerpo de electrodo que tiene un potencial catódico.

De esa forma, en las Figuras mostradas, el electrodo de carga 70 se consideraría parte del electrodo de combustible 12, y puede inicialmente ser el cuerpo 12b o los cuerpos 12b y hacia arriba, mientras el potencial catódico se aplica al cuerpo 12a. Entonces, el cuerpo 12b se desconectaría del potencial anódico pero estaría conectado al potencial catódico, y el cuerpo 12c (o cuerpos 12c y hacia arriba) podrían ser el electrodo de carga 70, y así sucesivamente. De esa forma, el electrodo de carga, como ese término se utiliza en los aspectos más amplios de esta solicitud, no necesariamente es un electrodo estático o dedicado que únicamente juega el papel de carga anódica (aunque puede ser), y a veces puede ser un cuerpo o cuerpos dentro del electrodo de combustible al cual se aplica un potencial anódico. Por lo tanto, el término dinámico se utiliza para hacer referencia al hecho de que el(los) elemento físico funciona como el electrodo de carga y recibe un potencial anódico durante la carga que puede variar.

Cuando los electrodos se denominan aquí, se debe entender que varias estructuras en algunas modalidades pueden funcionar como uno o más electrodos en diferentes formas dependiendo del modo operativo del dispositivo. Por ejemplo, en algunas modalidades en donde el electrodo oxidante es bifuncional como un electrodo de carga, la misma estructura de electrodo actúa como un electrodo oxidante durante la descarga y como un electrodo de carga durante la carga. Similarmente, en la modalidad en donde el electrodo de carga es un electrodo de carga dinámica, todos los cuerpos del electrodo de combustible actúan como el electrodo de combustible durante la descarga; pero durante la carga uno o más de los cuerpos actúan como el electrodo de combustible al recibir combustible electrodepositado y uno o más de los cuerpos actúa como el electrodo de carga para evolucionar al oxidante (por ejemplo, oxígeno), y el electrodo de combustible crece a medida que el crecimiento electrodepositado se conecta a más de los cuerpos. De esa forma, la referencia a un electrodo se define expresamente como una estructura del electrodo distinta o el papel funcional de una estructura capaz de múltiples funciones de electrodo que pueden realizar durante diferentes modos operativos de la celda (y de esa forma la misma estructura multifuncional puede considerarse que satisface múltiples electrodos por esta razón).

Las modalidades ilustradas anteriormente han sido proporcionadas únicamente para ilustrar los principios estructurales y funcionales de la presente invención y no pretenden ser limitantes. Por ejemplo, la presente invención puede practicarse utilizando diferentes combustibles, diferentes oxidantes, diferentes medios iónicamente conductores, y/o diferente configuración estructural general o materiales. De esa forma, la presente invención pretende abarcar todas las modificaciones, sustituciones, alteraciones, y equivalentes dentro del espíritu y alcance de las siguientes reivindicaciones anexas.

Reivindicaciones

- 5 1. Un método para operar una celda electroquímica, en donde la celda comprende:
un electrodo de combustible que comprende una serie de cuerpos de electrodo permeables dispuestos en
relación separada;
un electrodo oxidante separado del electrodo de combustible;
un electrodo de carga separado del electrodo de combustible, el electrodo de carga se selecciona del grupo que
consiste de (a) el electrodo oxidante, y (b) un electrodo de carga separado espacio del electrodo oxidante;
10 un medio iónicamente conductor que comunica los electrodos;
la serie de cuerpos de electrodo permeables del electrodo de combustible comprende:
un cuerpo de electrodo permeable próximo, cerca del electrodo de carga;
un cuerpo de electrodo permeable distal, lejos del electrodo de carga;
15 en donde el cuerpo de electrodo próximo tiene un tamaño plano más pequeño que el cuerpo de electrodo distal;
en donde el método comprende:
cargar la celda electroquímica al:
i. aplicar la corriente eléctrica entre el electrodo de carga y al menos uno de los cuerpos de electrodo
permeables del electrodo de combustible donde el electrodo de carga funciona como un ánodo y al
20 menos un cuerpo de electrodo permeable que funciona como un cátodo, de manera que los iones de
combustible reducibles se reduzcan y electrodepositen como combustible en forma oxidable sobre al
menos uno cuerpo de electrodo permeable;
ii. dicha electrodeposición ocasiona la expansión del combustible entre los cuerpos de electrodo
permeables de manera que el combustible electrodepositado establece una conexión eléctrica entre los
cuerpos de electrodo permeables; y
25 iii. eliminar la corriente eléctrica para discontinuar la carga.
2. El método de la reivindicación 1, en donde el método comprende además: generar corriente eléctrica mediante el
uso de la celda electroquímica mediante la oxidación del combustible sobre los cuerpos de electrodo permeables
del electrodo de combustible que funciona como un ánodo y reduciendo un oxidante en el electrodo oxidante que
30 funciona como cátodo, con lo cual se generan electrones para la conducción desde el electrodo de combustible
al electrodo oxidante a través de una carga y los iones de combustible oxidado y los iones oxidantes reducidos
reaccionan para formar un subproducto.
3. Un método de acuerdo con la reivindicación 2, en donde el oxidante comprende oxígeno, y en donde el electrodo
oxidante comprende un electrodo configurado para absorber y reducir el oxígeno atmosférico.
- 35 4. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde los iones de combustible reducibles son iones de
combustible de metal reducibles y el combustible electrodepositado es combustible de metal electrodepositado.
- 40 5. Un método de acuerdo con la reivindicación 4, en donde durante dicha carga de celda electroquímica:
se aplica corriente eléctrica a un terminal de uno los cuerpos de electrodo permeables, de manera que los iones
de combustible de metal reducibles se reduzcan y electrodepositen como combustible de metal en forma
oxidable sobre el cuerpo de electrodo permeable de terminal;
45 dicha electrodeposición ocasiona la expansión del combustible de metal entre los cuerpos de electrodo
permeables para que el combustible de metal electrodepositado establezca una conexión eléctrica entre el
cuerpo de electrodo de terminal y el cuerpo de electrodo permeable próximo donde dicha reducción de
deposición ocurre sobre el cuerpo de electrodo permeable próximo después del establecimiento de dicha
conexión eléctrica.
- 50 6. Un método de acuerdo con la reivindicación 5, en donde el electrodo de combustible además comprende uno o
más cuerpos de electrodo permeables intermedios; en donde dicha conexión eléctrica entre el grupo del
electrodo de terminal y el cuerpo del electrodo permeable próximo se establece a través de cada uno de dichos
uno o más cuerpos de electrodo permeables intermedios con dichas reducción y deposición ocurriendo sobre
55 cada uno de uno o más de los cuerpos de electrodo permeables intermedios después del establecimiento de
dicha conexión eléctrica.
7. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el electrodo de carga es el electrodo de carga separado,
separado del electrodo oxidante.
- 60 8. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde al menos una porción de un borde periférico del
electrodo de combustible está revestida con un material aislante.
9. Una celda electroquímica que comprende:
un electrodo de combustible que comprende una serie de cuerpos de electrodo permeables dispuestos en
65 relación separada;
un electrodo oxidante separado del electrodo de combustible;

un electrodo de carga separado del electrodo de combustible, el electrodo de carga se selecciona del grupo que consiste de (a) el electrodo oxidante, y (b) un electrodo de carga separado también separado del electrodo oxidante;

un medio iónicamente conductor que comunica los electrodos;

5 la serie de cuerpos de electrodo permeables del electrodo de combustible comprende:

un cuerpo de electrodo permeable próximo, cerca del electrodo de carga;

un cuerpo de electrodo permeable distal, lejos del electrodo de carga;

en donde el cuerpo de electrodo permeable próximo tiene un tamaño plano más pequeño que el cuerpo de electrodo permeable distal,

10 en donde la relación separada de dichos cuerpos de electrodo permeables del electrodo de combustible permite que se aplique una corriente eléctrica entre el electrodo de carga y al menos uno de los cuerpos de electrodo permeables del electrodo de combustible donde el electrodo de carga funciona como un ánodo y al menos un

cuerpo de electrodo permeable funciona como un cátodo, de manera que se reduzcan los iones de combustible reducibles y se electrodepositen como combustible en forma oxidable sobre al menos uno del cuerpo de

15 electrodo permeable, por lo cual la electrodeposición ocasiona la expansión del combustible entre los cuerpos de electrodo permeables para que el combustible electrodepositado establezca una conexión eléctrica entre los

cuerpos de electrodo permeables.

20 10. La celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 9, en donde el electrodo de combustible comprende además uno o más cuerpos de electrodo permeables intermedios, el uno o más de los cuerpos de electrodo permeables intermedios están en relación separada entre el cuerpo de electrodo permeable distal y el cuerpo de electrodo permeable próximo,

en donde cada uno de los cuerpos de electrodo permeables más cerca del electrodo de carga tiene un tamaño plano menor que cada uno de los cuerpos de electrodo permeables más cerca del electrodo de carga, de manera

25 que a lo largo de al menos una porción de un borde periférico del electrodo de combustible, los bordes de cada uno de los cuerpos de electrodo permeables próximos e intermedios están localizados hacia adentro del borde del cuerpo de electrodo adyacente en la dirección distal en una forma progresiva.

30 11. La celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 9, en donde el electrodo oxidante está configurado para, en un modo de descarga, absorber y reducir oxígeno atmosférico.

12. La celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 9, en donde el electrodo de carga es mayor en área que cualquiera de los cuerpos de electrodo permeables en la serie de cuerpos de electrodo permeables.

35 13. La celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 9, en donde el electrodo de carga es más pequeño en área que cualquiera de los cuerpos de electrodo permeables en la serie de cuerpos de electrodo permeables.

40 14. La celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 9, en donde el electrodo oxidante es más grande en área que cualquiera de los cuerpos de electrodo permeables en la serie de cuerpos de electrodo permeables.

45 15. La celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 9, en donde el electrodo de combustible comprende además uno o más cuerpos de electrodo permeables intermedios entre los cuerpos de electrodo distal y próximo, los cuerpos de electrodo están separados entre sí, en la dirección de expansión hacia el electrodo de carga, cada cuerpo de electrodo subsiguiente tiene un tamaño plano más pequeño que el cuerpo de electrodo que lo precedió.

50 16. La celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 9, en donde los iones de combustible reducibles son iones de combustible de metal reducibles, y el combustible electrodepositado es combustible de metal electrodepositado.

17. La celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 9, en donde el electrodo de carga es el electrodo de carga separado, separado del electrodo oxidante.

55 18. La celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 9, que comprende además un material aislante configurado para aislar al menos una porción del borde periférico del electrodo de combustible

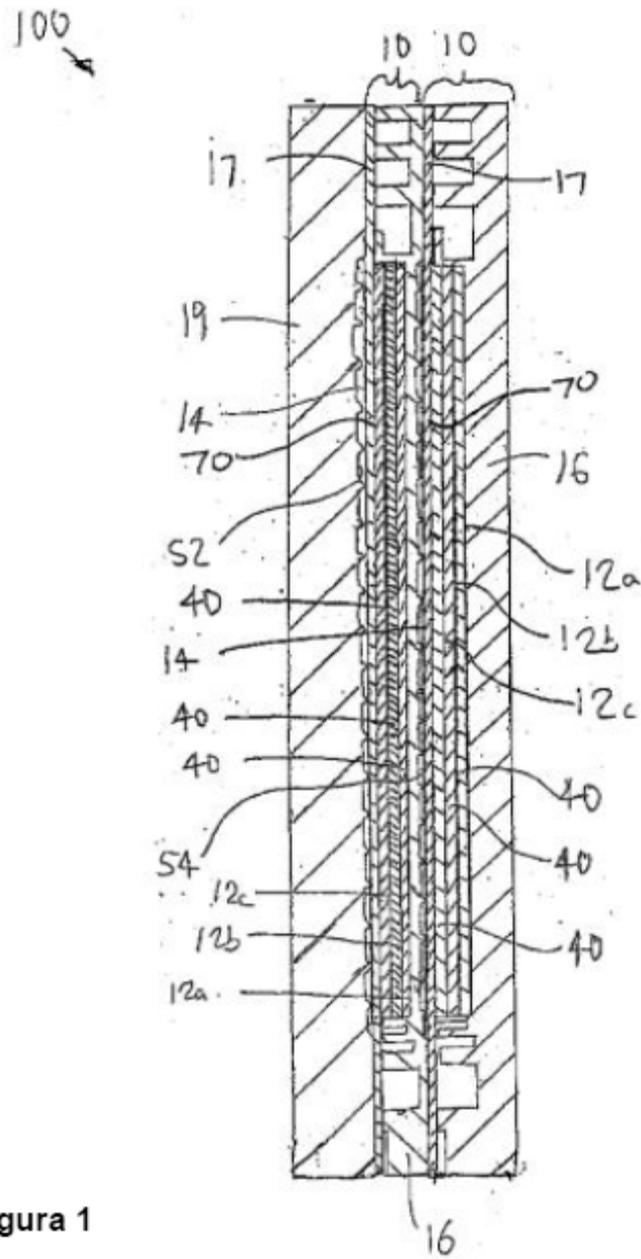


Figura 1

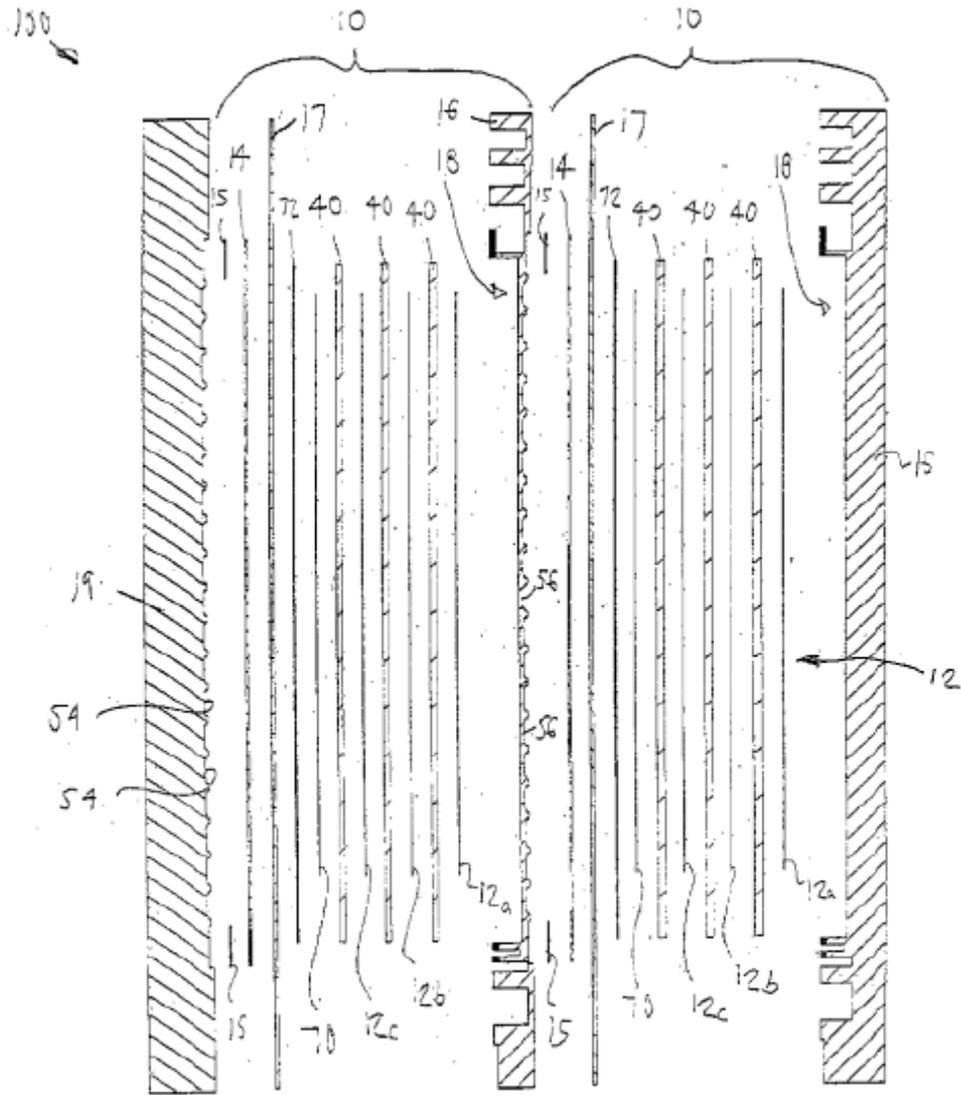


Figura 2

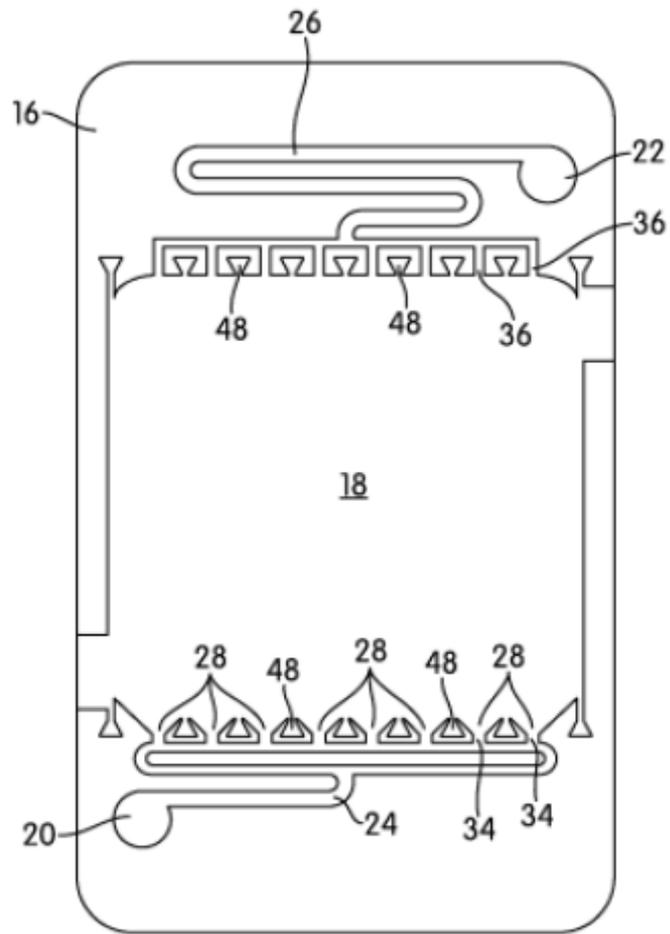


Figura 3

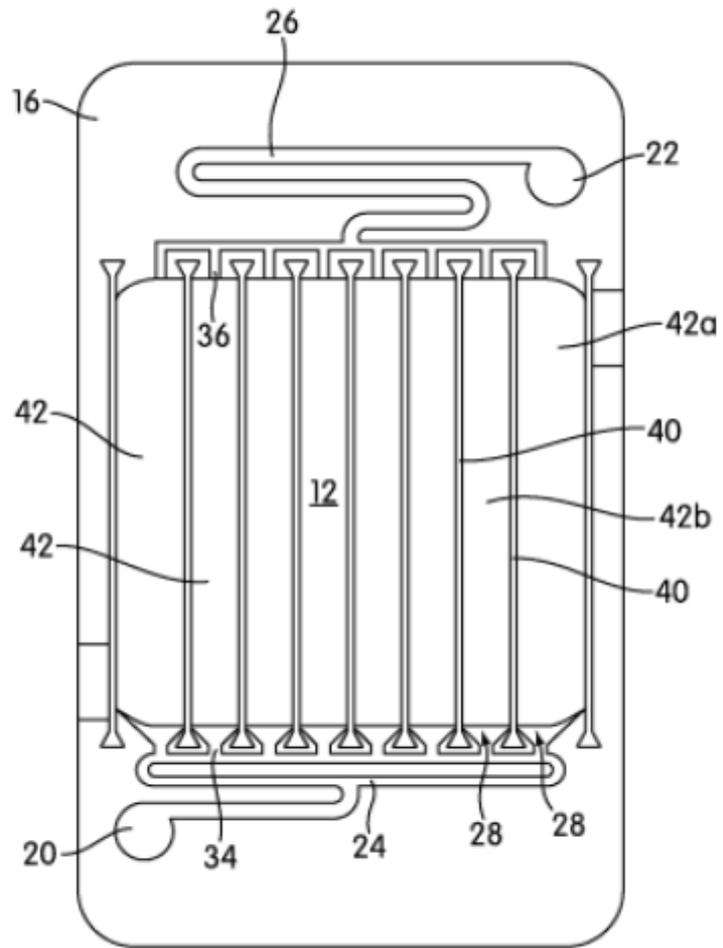
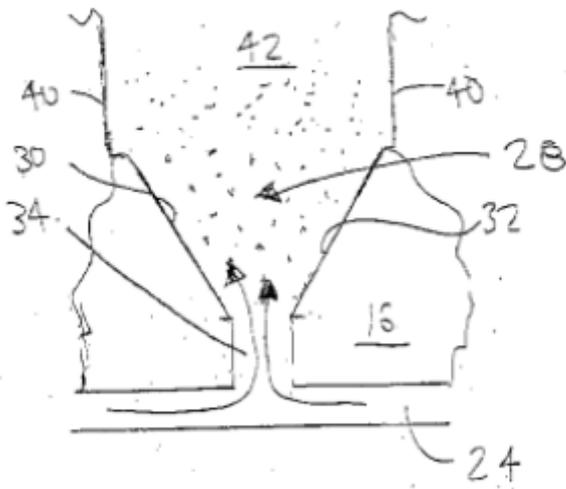
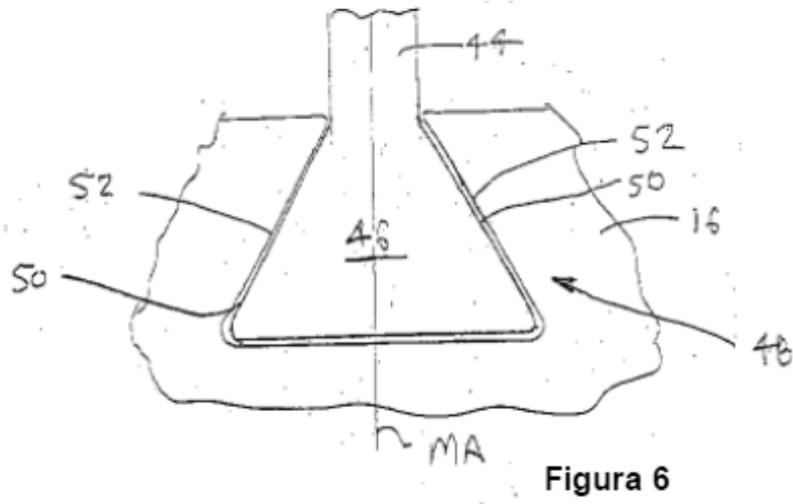


Figura 4



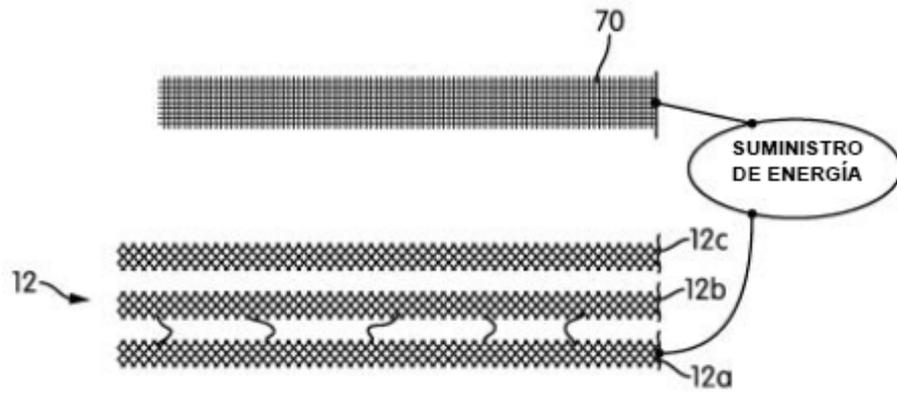


Figura 8

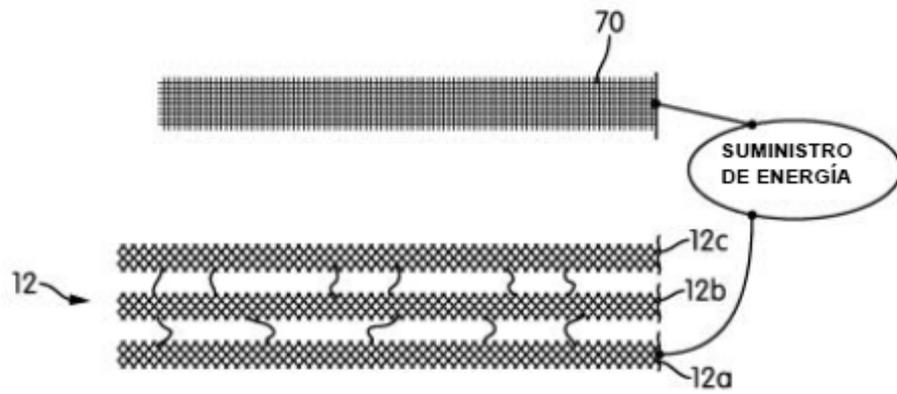


Figura 9

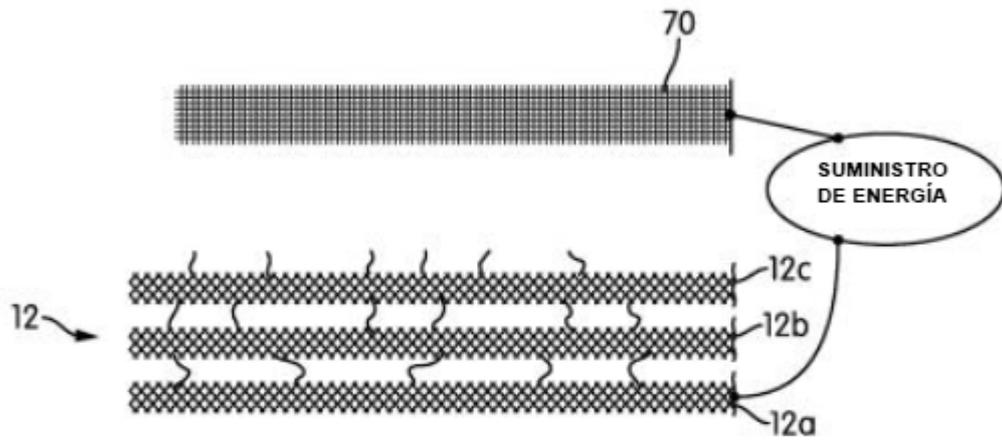


Figura 10

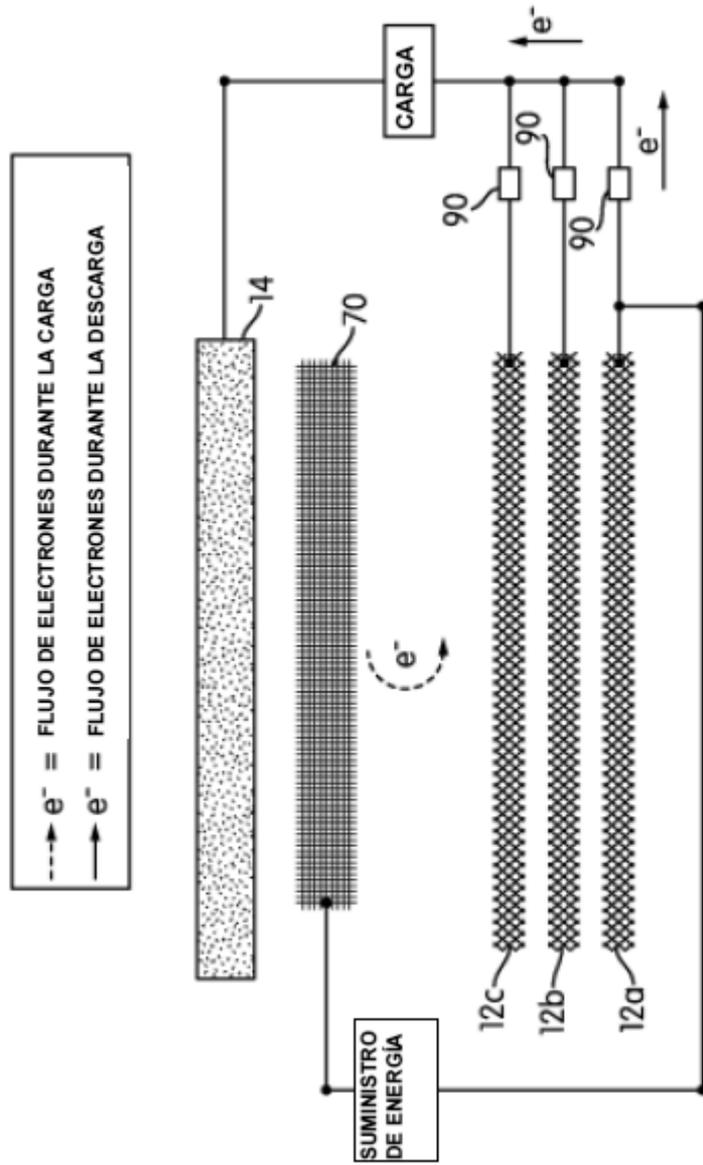


Figura 11

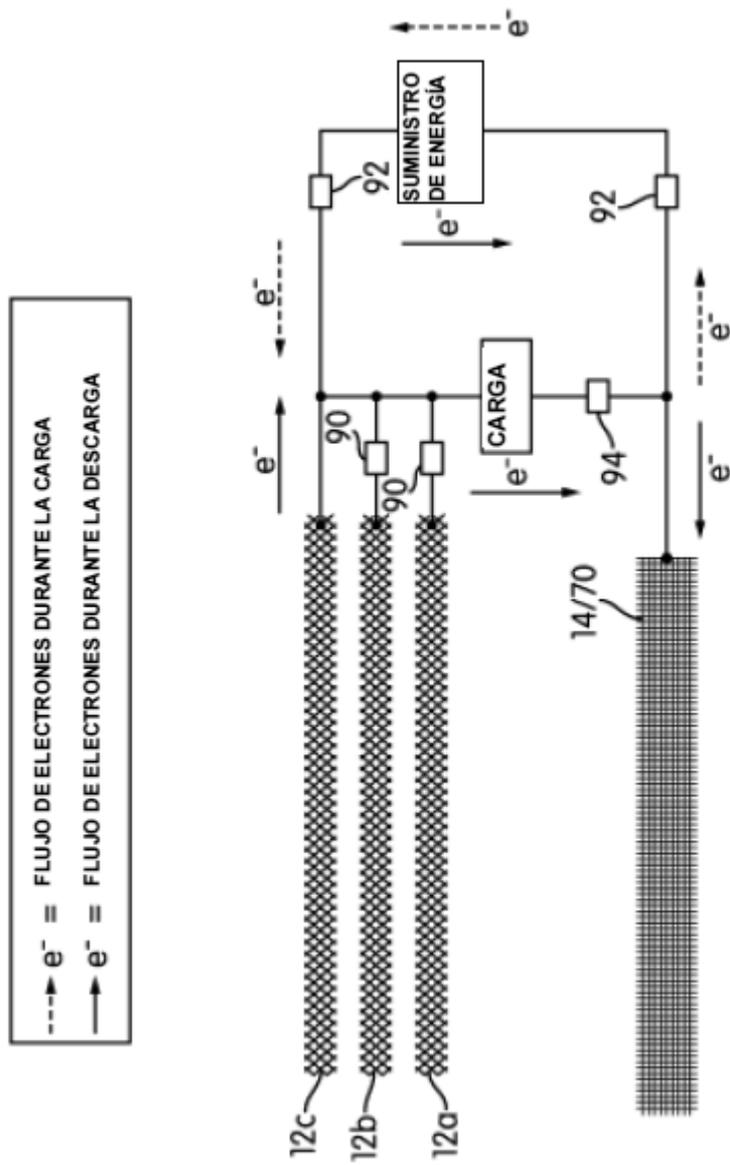


Figura 12

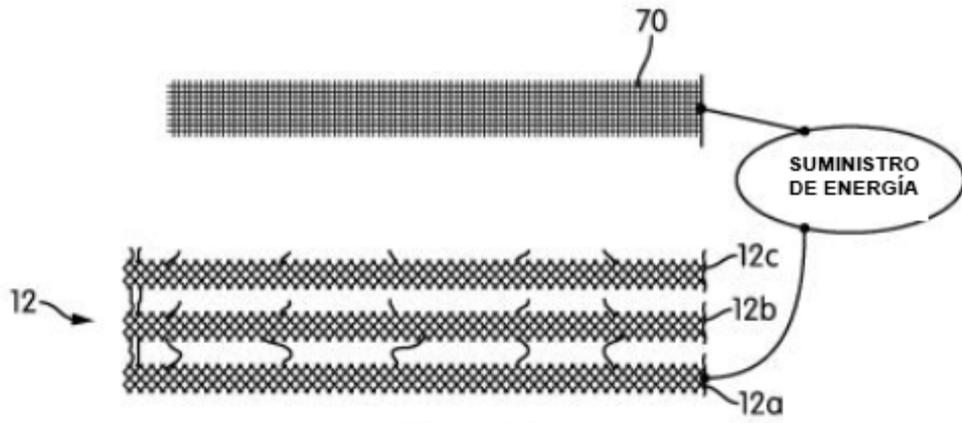


Figura 13

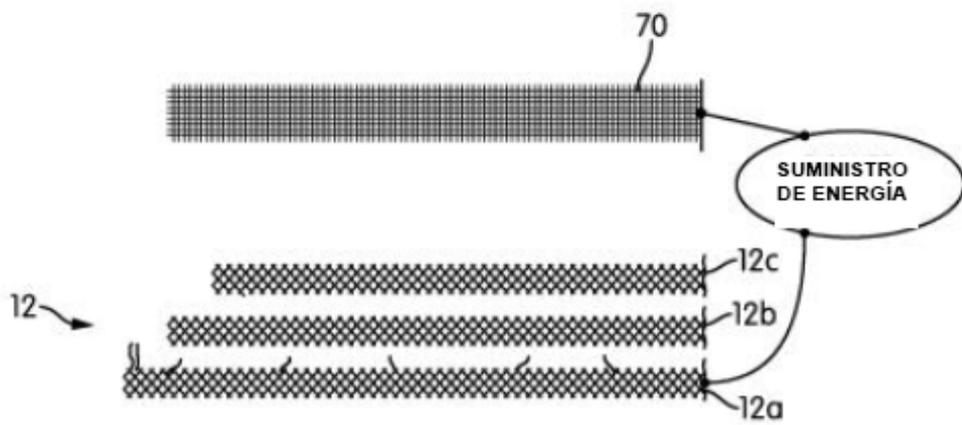


Figura 14

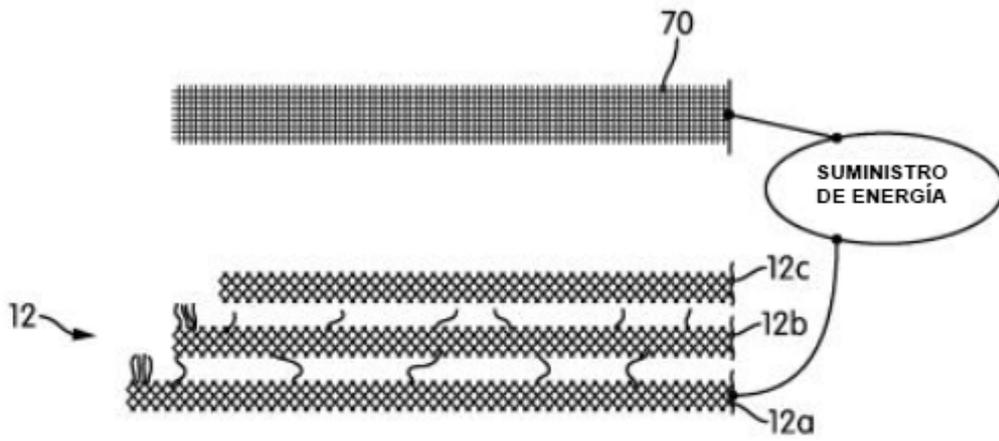


Figura 15

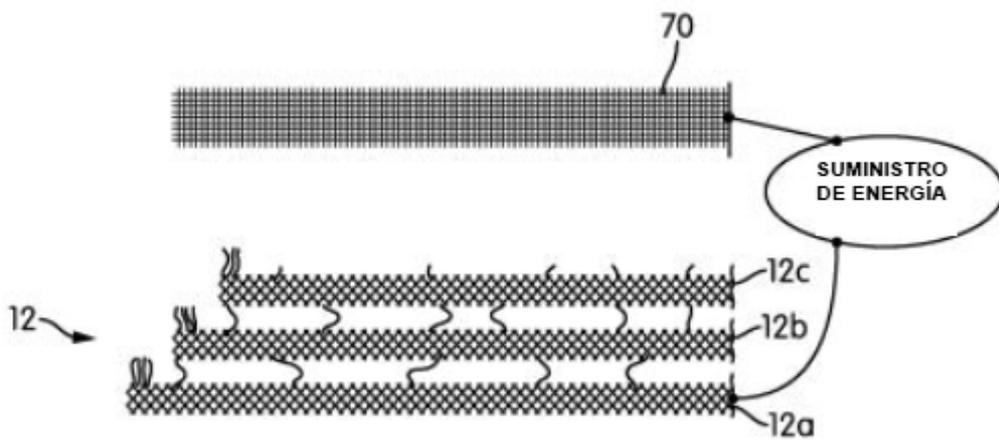


Figura 16

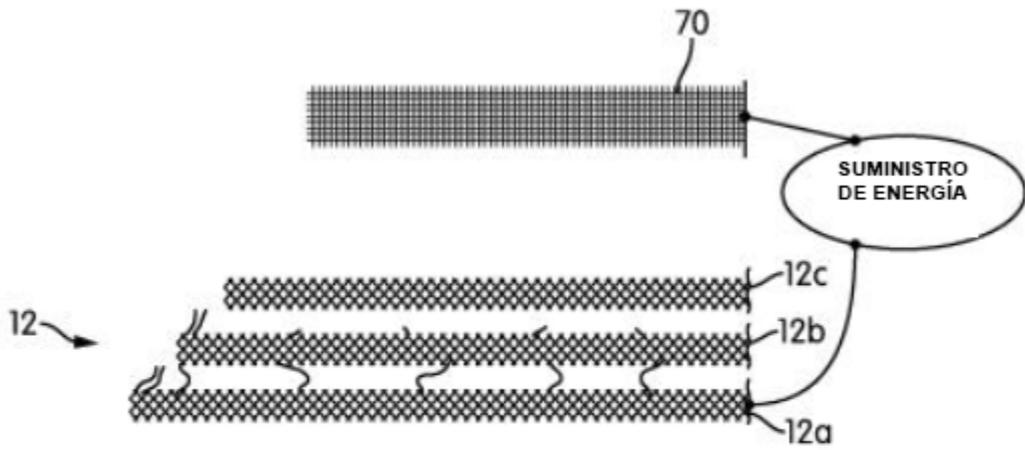


Figura 17

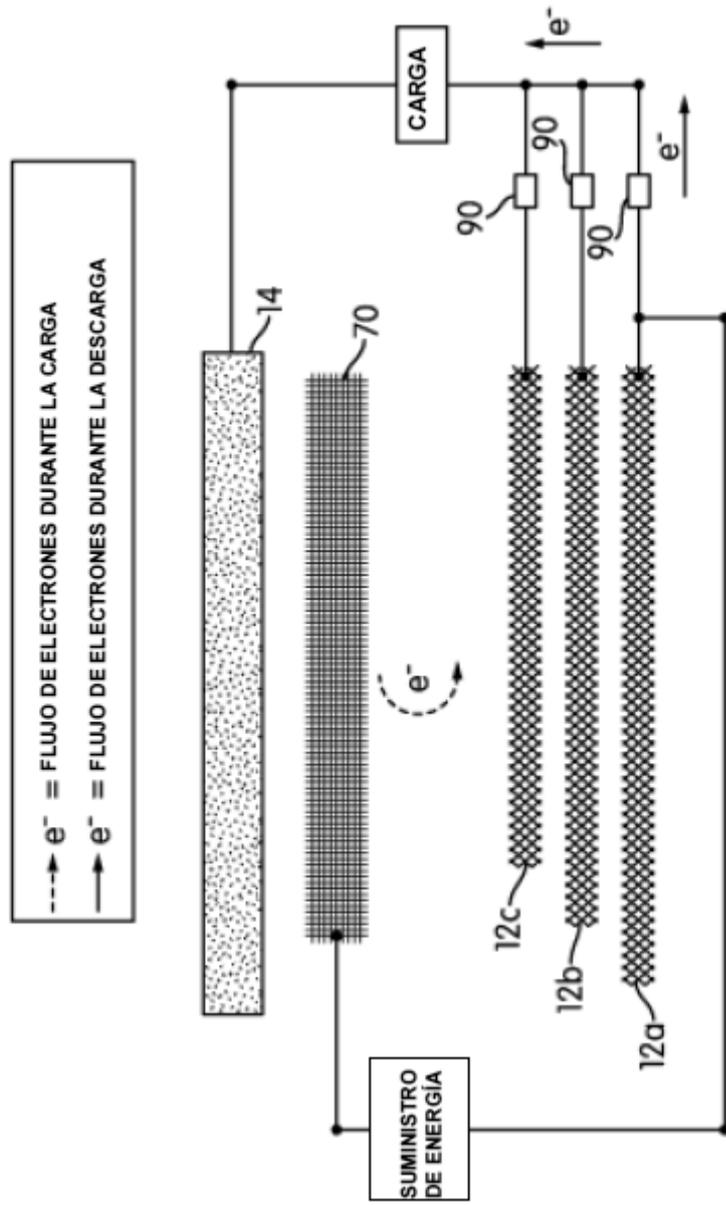


Figura 18

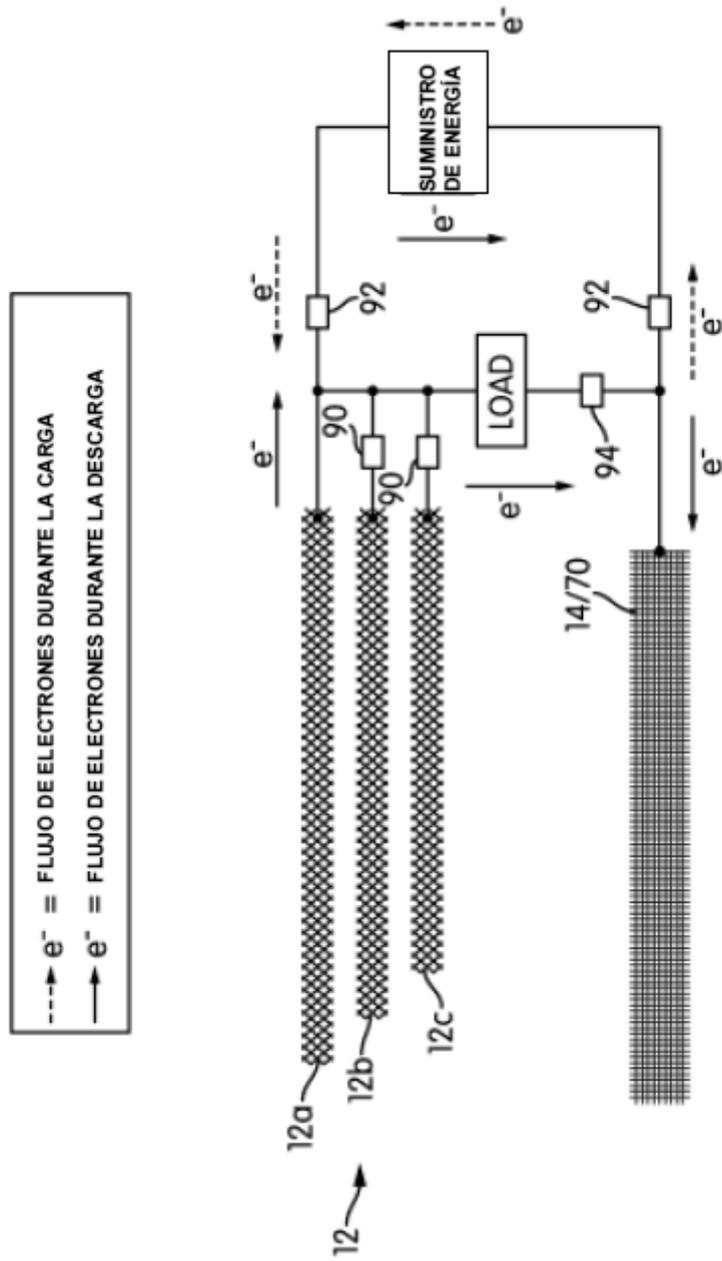


Figura 19

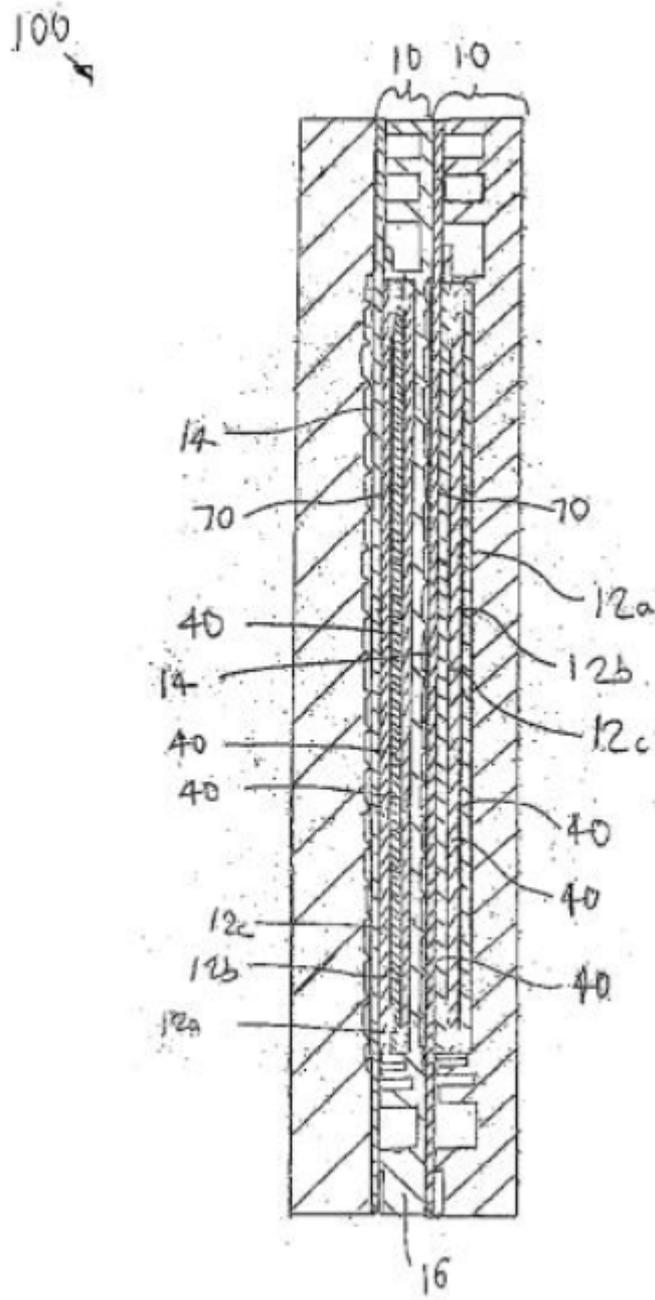


Figura 20

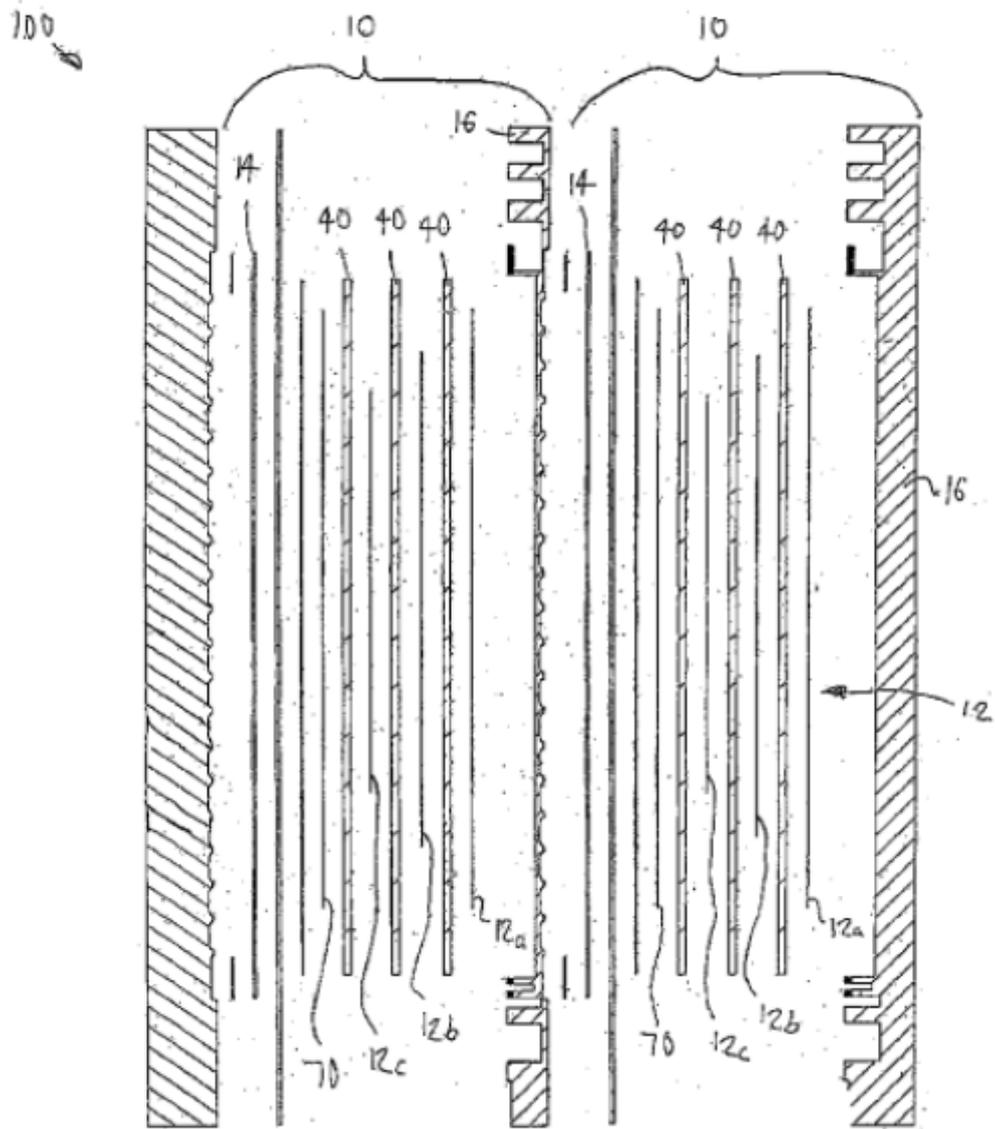


Figura 21

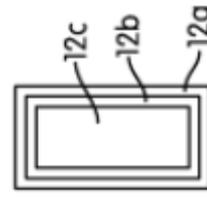
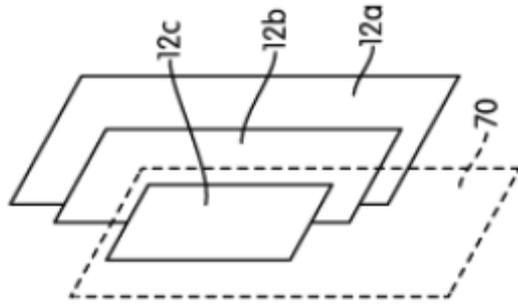


Figura 22c

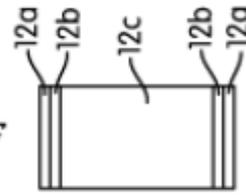
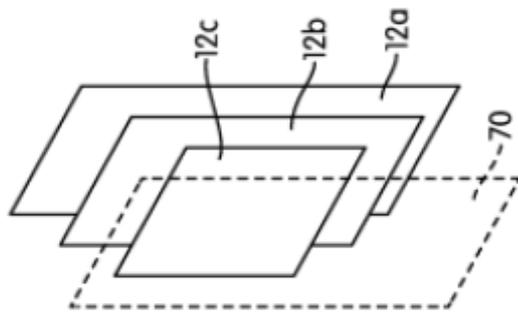


Figura 22b

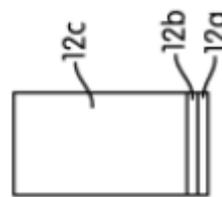
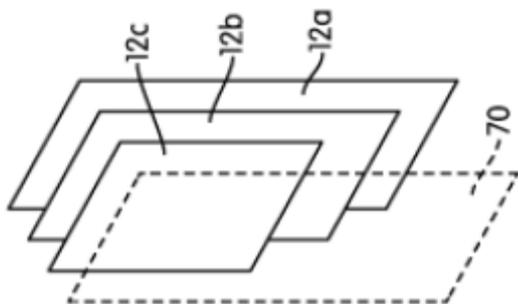


Figura 22a

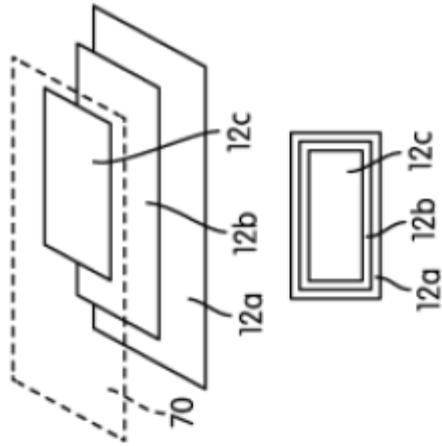


Figura 23a

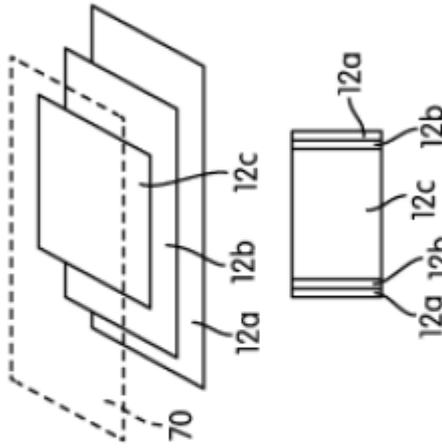


Figura 23b

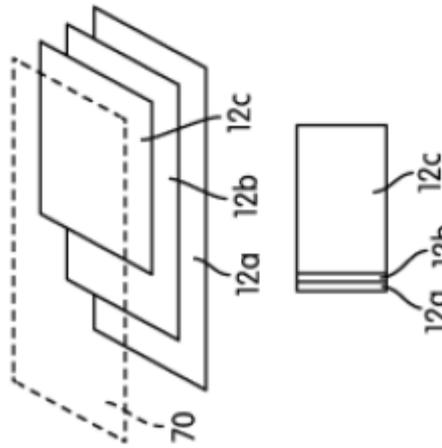


Figura 23c