

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 381 295**

51 Int. Cl.:
H01M 8/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **02798418 .6**
96 Fecha de presentación: **15.10.2002**
97 Número de publicación de la solicitud: **1468462**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **20.10.2004**

54 Título: **Método y aparato para el control de la resistencia equivalente en serie y para la derivación de una célula de combustible**

30 Prioridad:
23.01.2002 US 56543

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
25.05.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
25.05.2012

73 Titular/es:
RELION, INC.
15913 E EUCLID AVE
SPOKANE, WA 99216, US

72 Inventor/es:
BAI, Lijun;
LOTT, David, R. y
MARTIN, Vanell, L.

74 Agente/Representante:
Isern Jara, Jorge

ES 2 381 295 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

Método y aparato para el control de la resistencia equivalente en serie y para la derivación de una célula de combustible

5

Sector técnico

La invención se refiere a células de combustible. La invención se refiere también a determinar resistencia en serie equivalente de células de combustible y a la derivación o ("shunting") de células de combustible.

10

Antecedentes de la técnica

Las células de combustible son bien conocidas en la técnica. Una célula de combustible es un dispositivo electroquímico que hace reaccionar un combustible y un oxidante para producir electricidad y agua. Un combustible típico suministrado a una célula de combustible es del hidrógeno, y un oxidante típico suministrado a una célula de combustible es el oxígeno (o aire ambiente). Otros combustibles u oxidantes pueden ser utilizados dependiendo de las condiciones de funcionamiento.

15

El proceso básico en una célula de combustibles es muy eficaz, y para las células de combustible que reciben directamente como combustible, hidrógeno, no producen contaminación. Además, dado que las células de combustible pueden ser montadas en apilamientos de diferentes dimensiones, se han desarrollado sistemas de potencia para producir una amplia gama de potencias eléctricas y, por lo tanto, se pueden utilizar en numerosas aplicaciones comerciales. Se tomará como ejemplo las siguientes patentes US Nos. 4,599,282; 4,590,135; 4,599,582; 4,689,280; 5,242,764; 5,858,569; 5,981,098; 6,013,386; 6,017,648; 6,030,718; 6,040,072; 6,040,076; 6,096,449; 6,132,895; 6,171,720; 6,207,308; 6,218,039; y 6,26,710.

20

25

Una célula de combustible produce una fuerza electromotriz por la reacción del combustible y el oxígeno en los respectivos interfaces de electrodos, que comparten un electrolito común.

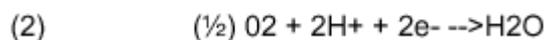
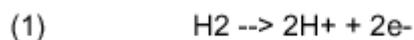
30

En una célula de combustible, el combustible, tal como hidrógeno gaseoso, es introducido en un primer electrodo (ánodo), donde reacciona electroquímicamente en presencia de un catalizador para producir electrones y protones. Los electrones se hacen circular desde un primer electrodo a un segundo electrodo (cátodo) a través de un circuito eléctrico que acopla estos respectivos electrodos. Además, los protones pasan a través del electrolito al segundo electrodo (cátodo). Simultáneamente, un oxidante, tal como oxígeno gaseoso (o aire), es introducido en un segundo electrodo, en el que el oxidante reacciona electroquímicamente en presencia del catalizador, y es combinado con los electrones procedentes del circuito eléctrico y los protones (que han atravesado el electrolito), formando agua. Esta reacción completa el circuito eléctrico.

35

Tienen lugar las siguientes reacciones de semicélula:

40



Tal como se ha indicado en lo anterior, el electrodo del lado del combustible es el ánodo, y el electrodo del lado del oxígeno es el cátodo. El circuito eléctrico externo transporta la corriente eléctrica generada y, por lo tanto, puede extraer potencia eléctrica de la célula. La reacción total en la célula produce energía eléctrica, que es la suma de las reacciones de las semicélulas separadas, que tienen lugar, en la célula de combustible, menos sus pérdidas internas.

45

Si bien, los procesos electroquímicos fundamentales involucrados en todas las células de combustible son bien conocidos, las soluciones técnicas se han mostrado difíciles para conseguir que ciertos tipos de células de combustible sean fiables y que otros tipos sean económicas. En el caso de sistemas de potencia de célula de combustible con membrana de electrolito polímero (PEM), la fiabilidad no ha sido la mayor preocupación hasta el momento, sino el coste de instalación por vatio de capacidad de generación. Más recientemente, y a efectos de reducir adicionalmente los costes de una célula de combustible PEM por vatio, se ha prestado gran atención al incremento de la potencia producida de las mismas. De manera histórica, esto ha tenido como resultado sistemas adicionales sofisticados de equilibrio de la instalación ("balance of plant"), que son necesarios para optimizar y mantener una elevada producción de potencia de una célula de combustible PEM. Una consecuencia de los sistemas de equilibrio de instalación muy complejos es que no son fácilmente desescalables para conseguir aplicaciones de baja capacidad. Como consecuencia, el coste, eficacia, fiabilidad y gastos de mantenimiento quedan, todos ellos, afectados adversamente en aplicaciones de baja generación.

50

55

60

Es conocido que las células de combustible PEM pueden funcionar a niveles de producción de potencia más elevados cuando se facilita una humidificación suplementaria a la membrana de intercambio de protones (electrolito). A este respecto, la humidificación reduce la resistencia de la membrana de intercambio de protones con respecto al flujo de protones. Para conseguir esta humidificación incrementada, se puede introducir agua suplementaria en la corriente de hidrógeno o de oxígeno por diferentes métodos, o más directamente, a la membrana de intercambio de protones por medio, por ejemplo, del fenómeno físico conocido como capilaridad ("wicking"). No obstante, en estos últimos años, el objetivo de las investigaciones ha sido desarrollar conjuntos de electrodo de membrana (MEA) con producciones de potencia mejoradas cuando funcionan con humidificación suplementaria. El tener la capacidad de hacer funcionar un MEA cuando es autohumidificado es ventajoso porque disminuye la complejidad del equilibrio de la instalación con los costes asociados al mismo. No obstante, la autohumidificación ha sido posible, hasta el momento, en células de combustible que funcionan con densidades de corriente más bajas y, por lo tanto, a su vez, ello ha resultado en que se requiere un número mayor de estos conjuntos para generar una magnitud de potencia determinada.

Si bien, células de combustible PEM de diferentes diseños han funcionado con grados de éxito variables, también han tenido inconvenientes que han disminuido su utilidad. Por ejemplo, los sistemas de potencia de células de combustible PEM tienen, de manera típica, una serie de células de combustible individuales que están conjuntamente conectadas eléctricamente en serie (apiladas), de manera que el sistema de potencia puede tener un voltaje de salida incrementado. En esta disposición, si una de las células de combustible del apilamiento falla, deja de aportar voltaje y potencia. Uno de los fallos más habituales de dichos sistemas de potencia de células de combustible PEM es aquél en el que un conjunto de electrodo de membrana (MEA) resulta menos hidratado que otros MEA en el mismo apilamiento de células de combustible. Esta pérdida de hidratación de la membrana aumenta la resistencia eléctrica de la célula de combustible afectada y, por lo tanto, tiene como resultado una mayor cantidad de calor desperdiciada. A su vez, el calor adicional seca el conjunto del electrodo de membrana. Esta situación crea una espiral de hidratación negativa. El continuo sobrecalentamiento de la célula de combustible puede provocar eventualmente la inversión de la polaridad de la célula de combustible afectada, de manera que empezará, a continuación, a disipar potencia eléctrica del resto de células de combustible del apilamiento. Si no se corrige esta situación, el calor excesivo generado por la célula de combustible que falla provocará que el conjunto del electrodo de membrana se perfora y, por lo tanto, pierda hidrógeno por fugas. Cuando tiene lugar esta perforación, el apilamiento de células de combustible debe ser completamente desmontado y reparado. Dependiendo del diseño del apilamiento de células de combustible utilizado, esta reparación o sustitución puede ser una labor costosa y que requiera mucho tiempo.

Algunos de estos problemas son solucionados por sistemas de células de combustible que comprenden módulos desmontables, tal como se describe en varias patentes propiedad de la solicitante. Por ejemplo, la patente US propiedad de la solicitante No. 6.218.035 de Fuglevand y otros, da a conocer un sistema de potencia de célula de combustible con membrana de intercambio de protones que incluye una serie de módulos de célula de combustible separados que tienen múltiples conjuntos de difusión de electrodos de membrana. Cada uno de los conjuntos de difusión de electrodos de membrana tiene lados opuestos de ánodo y de cátodo. Los colectores actuales están dispuestos individualmente en contacto eléctrico óhmico yuxtapuesto con lados opuestos de ánodo y de cátodo de cada uno de los conjuntos de difusión de electrodos de membrana. Los conjuntos de aplicación de fuerza individuales aplican una fuerza determinada a los colectores de corriente y a los conjuntos de difusión de electrodos de membrana individuales. El sistema de potencia de célula de combustible de membrana de intercambio de protones incluye también una envolvente en la que se montan una serie de soportes que reciben los módulos de las células de combustible individuales. En este diseño modular, si falla uno de los módulos de combustible, puede ser desmontado y sustituido sin la dificultad de desmontar el apilamiento.

Se hará referencia a la patente US No. 6.096.449 de Fuglevand y otros, que se refiere al problema de la humidificación. Esta patente da a conocer un controlador de derivación ("shunt") que está acoplado eléctricamente a una célula de combustible y que, en ciertos momentos, deriva corriente eléctrica entre el ánodo y el cátodo de la célula de combustible. El controlador comprende sensores de voltaje y de corriente que están dispuestos en relación de la detección de voltaje y de corriente con respecto a la salida de potencia eléctrica de la célula de combustible. El controlador, en ciertas circunstancias o en cierto momento (por ejemplo, si el voltaje o la producción de corriente de la célula de combustible se encuentra por debajo de un mínimo determinado), cierra un conmutador eléctrico para derivar corriente entre el ánodo y el cátodo de la célula de combustible. Sustancialmente, de forma simultánea, el controlador provoca que una válvula interrumpa el suministro de gas combustible a la célula de combustible. De manera alternativa, el controlador de derivación pone en un cortocircuito, periódicamente, corriente entre el ánodo y el cátodo de la célula de combustible, permitiendo simultáneamente un suministro sustancialmente continuo de gas combustible a la célula de combustible. El cortocircuito periódico aumenta la potencia eléctrica global de la célula de combustible. Se especula en que, si esta actuación se repite y la puesta en cortocircuito periódica provoca que cada una de las células de combustible sea "acondicionada", es decir, se cree dicha puesta en cortocircuito que provoca un incremento en la cantidad de agua que se pone a disposición del MEA de la célula de combustible, incrementa con ello el rendimiento de las MEA. También, se puede pensar que el cortocircuito proporciona un incremento a corto plazo en la disipación de calor que es suficiente para evaporar el exceso de agua de las capas difusoras que están montadas en el MEA. Esta evaporación de agua hace que una mayor cantidad de oxígeno del aire ambiente quede a disposición del lado del

cátodo del MEA. Cualquiera que sea la causa, la puesta en cortocircuito produce el incremento de la conductividad de protones del MEA. Este incremento de conductividad de protones provoca un incremento momentáneo de la salida de potencia de la célula de combustible, que disminuye lentamente a lo largo del tiempo. El incremento global de la salida de potencia eléctrica de la célula de combustible, controlada por el cortocircuito ajustable secuencialmente, y periódico de individuos y grupos de células de combustible, tiene como resultado, en el grupo de células de combustible conectadas en serie en su conjunto, un resultado en la producción global de potencia.

Todos los circuitos, incluyendo los circuitos que aparecen en los esquemas de circuitos como principalmente capacitivos o inductivos, o que no contienen ni siquiera resistencia, poseen todavía un cierto valor de resistencia. Esta resistencia se designa como ESR (Resistencia Equivalente en Serie), y un valor ESR se indica, de manera típica, para los condensadores.

Si bien, la ESR de una célula de combustible puede ser medida fácilmente en una instalación de pruebas, la medición in situ de la resistencia de una célula de combustible no es conveniente. La ESR podría ser medida en células de combustible utilizando técnicas de alta frecuencia de CA, aplicando una corriente CA a través de una membrana de célula de combustible y midiendo el voltaje a través de la membrana. No obstante, los equipos de alta frecuencia son muy onerosos y, por lo tanto, no se incluyen económicamente en instalaciones de células de combustible. Además, una fuente de potencia CA no se encuentra a disposición en todos los casos, particularmente con una célula de combustible utilizada en una aplicación CC.

Es sabido que existe una relación entre la ESR de una célula de combustible y el nivel de hidratación de una célula de combustible. Esto se describe, por ejemplo, en un artículo de P.D. Beattie y otros, titulado "Ionic Conductivity of Proton Exchange Membranes," Journal of Electroanalytical Chemistry, Volume 503 (2001), pp. 45-56.

Por lo tanto, sería útil poder medir económicamente la ESR de una célula de combustible in situ, en un sistema de células de combustible en funcionamiento, sin tener que utilizar equipos de medición de alta frecuencia en CA.

Breve descripción de los dibujos

Se describen, a continuación, realizaciones preferentes de la invención haciendo referencia a los dibujos siguientes.

La figura 1 es una vista en perspectiva de un sistema de potencia de célula de combustible, incluyendo módulos de célula de combustible PEM y un soporte ("subrack"), de acuerdo con la invención.

La figura 2 es una representación esquemática simplificada de circuitos eléctricos del sistema de potencia de la célula de combustible de la figura 1.

La figura 3 es un diagrama de circuito que muestra un circuito de control de derivación, de acuerdo con una realización.

La figura 4 es un diagrama de circuito equivalente a los circuitos de la figura 3, antes del cortocircuito de una célula de combustible, que tiene lugar durante una operación de derivación.

La figura 5 es un diagrama de circuito equivalente de los circuitos de la figura 3 durante el cortocircuito de la célula de combustible que tiene lugar durante una operación de derivación.

La figura 6 es un diagrama de circuito que muestra los circuitos de control de derivación, de acuerdo con otra realización.

La figura 7 muestra detalles constructivos, de una realización, de un conmutador incluido en los circuitos de la figura 6.

La figura 8 es un diagrama de circuito equivalente a los circuitos de la figura 6.

La figura 9 muestra una etapa, de una secuencia de etapas en una operación de derivación, utilizando los circuitos de control de derivación de la figura 6.

La figura 10 muestra una etapa, después de la etapa mostrada en la figura 9, en la operación de derivación.

La figura 11 muestra una etapa, después de la etapa mostrada en la figura 10, en la operación de derivación.

La figura 12 es un gráfico de voltaje y corriente con respecto al tiempo, durante una operación de derivación, utilizando los circuitos de la figura 3.

La figura 13 es un gráfico de voltaje y corriente con respecto al tiempo, durante una operación de derivación, utilizando los circuitos de la figura 6.

5 La figura 14 es un diagrama de flujo lógico, implementada por el circuito de la figura 2.

La figura 15 es un diagrama de flujo lógico, implementada por el circuito de la figura 2, en una realización alternativa,

10 La figura 16 es un diagrama de flujo lógico implementada por el circuito de la figura 2, en otra realización alternativa.

15 La figura 17 es un gráfico que muestra la relación de la resistencia equivalente en serie de la célula de combustible con respecto al nivel de hidratación y la salida de corriente de la célula de combustible con respecto a experimentos para diferentes valores de hidratación.

La figura 18 es un gráfico de ESR de la célula de combustible y circuitos de derivación con respecto a experimentos para diferentes valores de hidratación.

20 La figura 19 es un gráfico logarítmico de conductividad eléctrica con respecto al contenido de agua.

La figura 20 es un gráfico de conductividad eléctrica con respecto a la humedad relativa.

25 La figura 21 es un gráfico de flujo lógico implementado por el circuito de la figura 2 en otra realización alternativa.

La figura 22 es un gráfico de flujo lógico implementado por el circuito de la figura 2 en otra realización alternativa.

30 **Formas preferentes de llevar a cabo la invención y materia de la invención**

35 La invención da a conocer un sistema de potencia de una célula de combustible que comprende una célula de combustible que tiene un cátodo y un ánodo adaptados para ser acoplados a un suministro de combustible, y que está configurada para producir potencia eléctrica, que tiene una salida de corriente y de voltaje; un controlador acoplado eléctricamente a la célula de combustible, y configurado para poner en cortocircuito, selectivamente, el ánodo al cátodo de la célula de combustible; y circuitos configurados para medir la resistencia de la célula de combustible en relación sincronizada con el cortocircuito.

40 Un aspecto de la invención se refiere a un sistema de potencia de célula de combustible que comprende, como mínimo, una célula de combustible configurada para suministrar potencia a una carga; y circuitos configurados para medir la resistencia en serie equivalente de, como mínimo, una célula de combustible del sistema de potencia, mientras que el sistema de potencia continúa alimentando sustancialmente al consumo o carga.

45 Otro aspecto de la invención se refiere a un sistema de potencia de una célula de combustible que comprende un par de terminales de salida; una serie de células de combustible que tienen, respectivamente, un ánodo adaptado para ser acoplado a un suministro de combustible, y un cátodo, cuyas células de combustible están acopladas selectivamente a los terminales de salida; y que, en funcionamiento, convierten la energía química en potencia eléctrica, con una salida de corriente y de voltaje, de manera que una o varias de las células de combustible son desacopladas, selectivamente, de los terminales de salida, mientras que otras células de combustible continúan facilitando potencia a los terminales de salida; y circuitos configurados para medir la resistencia en serie equivalente de una de las células de combustible desacopladas in situ, mientras que las otras células de combustible continúan produciendo potencia eléctrica.

55 Otro aspecto de la invención se refiere a un sistema de potencia de una célula de combustible, que comprende una célula de combustible que tiene un cátodo y un ánodo adaptados para ser acoplados a un suministro de combustible, y configurados para producir potencia eléctrica que tiene una corriente y un voltaje de salida; un detector de voltaje; un detector de corriente; y un controlador acoplado eléctricamente a la célula de combustible, el detector de voltaje, y el detector de corriente, y configurado para llevar a cabo, en ciertos momentos de tiempo, una operación de derivación que incluye la puesta en cortocircuito del ánodo al cátodo de la célula de combustible, de acuerdo con un ciclo de servicio, estando adicionalmente configurado el controlador para determinar la resistencia en serie equivalente de la célula de combustible, basándose en los cambios de corriente y voltaje en la célula de combustible durante una operación de derivación, determinados utilizando el detector de corriente y el detector de voltaje, y estando configurado el controlador para ajustar selectivamente el ciclo de servicio, como respuesta a la resistencia en serie equivalente determinada.

65

Otro aspecto de la invención se refiere a un sistema de potencia de una célula de combustible que comprende, como mínimo, una célula de combustible configurada para suministrar potencia a una carga, y circuitos configurados para determinar el nivel de hidratación de, como mínimo, una célula de combustible del sistema de potencia, mientras el sistema de potencia continúa alimentando sustancialmente la carga.

5 Otro aspecto de la invención se refiere a un método de potencia de célula de combustible que comprende disponer una célula de combustible que tiene un cátodo y un ánodo adaptados para su acoplamiento a un suministro de combustible, y configurados para producir potencia eléctrica que tiene una corriente y un voltaje de salida; poner en cortocircuito selectivamente el ánodo de la célula de combustible al cátodo de la célula de combustible; y medir la resistencia de la célula de combustible en relación temporizada con la puesta en cortocircuito.

10 Otro aspecto de la invención se refiere a un método de potencia de una célula de combustible que comprende el suministro de potencia a una carga, utilizando, como mínimo, una célula de combustible, y midiendo la resistencia en serie equivalente de, como mínimo, una de las células de combustible, mientras se continúa suministrando sustancialmente potencia a la carga.

15 Otro aspecto de la invención se refiere a un método de potencia de una célula de combustible que comprende la disposición de un par de terminales de salida; disposición de una serie de células de combustible que tienen, respectivamente, un ánodo adaptado para ser acoplado a un suministro de combustible, y un cátodo, cuyas células de combustible están acopladas selectivamente a los terminales de salida, y que, en funcionamiento, convierten la energía química en potencia eléctrica, que tiene una salida de corriente y voltaje, de manera que una o varias de las células de combustible son desacopladas selectivamente de los terminales de salida, mientras que otras células de combustible continúan proporcionando potencia a los terminales de salida; y midiendo la resistencia en serie equivalente de una de las células de combustible in situ, mientras que las otras células de combustible continúan produciendo potencia eléctrica. En una realización, se determina la resistencia en serie equivalente, mientras que la célula de combustible para la que se está determinando la resistencia en serie equivalente continúa proporcionando potencia a terminales de salida; por ejemplo, por pulsación de la salida de corriente.

20 Otro aspecto de la invención se refiere a un método de potencia de una célula de combustible que comprende, el disponer una célula de combustible que tiene un cátodo y un ánodo adaptados para su acoplamiento a un suministro de combustible, y configurados para producir potencia eléctrica con una salida de corriente y voltaje; disponiendo de un detector de voltaje; disponiendo un detector de corriente; y en ciertos casos, llevando a cabo una operación de derivación que comprende la puesta en cortocircuito del ánodo al cátodo de la célula de combustible, de acuerdo con un ciclo de servicio; y determinando la resistencia en serie equivalente de la célula de combustible, basándose en el voltaje y corriente de la célula de combustible durante una operación de derivación; y utilizando el detector de corriente y el detector de voltaje, y ajustando selectivamente el ciclo de servicio, como respuesta a la determinada resistencia en serie equivalente.

30 Otro aspecto de la invención se refiere a un método que comprende el disponer un sistema de potencia de una célula de combustible que incluye, como mínimo, una célula de combustible configurada para suministrar potencia a una carga; y determinar el nivel de hidratación, como mínimo, de una célula de combustible del sistema de potencia, mientras que el sistema de potencia continúa alimentando sustancialmente a la carga.

35 Otro aspecto adicional de la invención se refiere a un método que comprende el disponer de una célula de combustible que tiene un ánodo y un cátodo, y que tiene un nivel de hidratación; aplicando un cortocircuito del ánodo al cátodo durante un tiempo predeterminado; eliminar el cortocircuito; medir la cantidad de tiempo para la recuperación de la corriente después de eliminar el cortocircuito entre el ánodo y el cátodo de la célula de combustible; y determinar cuál era el nivel de hidratación de la célula de combustible antes de la puesta en cortocircuito, como respuesta a la cantidad de tiempo medida.

Haciendo referencia a la figura 1, se ha mostrado una configuración de un sistema 10 de potencia de una célula de combustible con membrana de intercambio de iones. La configuración mostrada del sistema 10 de potencia de una célula de combustible tiene carácter de ejemplo y son posibles otras configuraciones. Tal como se ha mostrado, el sistema 10 de potencia de una célula de combustible comprende un cuerpo envolvente 12 que soporta, de forma desmontable, una serie de cartuchos de célula de combustible manipulables manualmente 14. El cuerpo envolvente 12 define o forma parte de un conjunto de soporte, en una realización.

Una serie de aberturas 16, para módulos individuales, están constituidas en la parte frontal del cuerpo envolvente 12, y pueden recibir individualmente los módulos 14 de célula de combustible, respectivos, posicionándolos en una relación espacial predeterminada entre sí.

El sistema de potencia de una célula de combustible está configurado de manera que, como mínimo, uno de los módulos 14 de célula de combustible puede ser desmontado fácilmente de, como mínimo, uno de los conjuntos de soporte a mano mientras que los módulos restantes continúan funcionando. Este desmontaje se consigue normalmente sin utilización de herramientas, no obstante, puede ser necesario en algunas aplicaciones

comerciales o industriales y en las que se puede impartir vibración u otras fuerzas físicas externas al sistema, el utilizar dispositivos de fijación roscados y similares para fijar de manera desmontable los módulos individuales al conjunto de soporte, para impedir el desplazamiento no intencionado o desmontaje de los módulos correspondientes del conjunto de soporte. Si se utilizan, las herramientas manuales que se utilizarán serán simples herramientas de mano, y el desmontaje se conseguirá en minutos, en oposición a las disposiciones de soportes de la técnica anterior, en los que la sustitución de un conjunto de electrodo de membrana (MEA) averiado puede requerir horas.

El sistema de potencia 10 de una célula de combustible incluye conductos y conectores (no mostrados) para acoplar los cartuchos de células de combustible a un suministro 17 de combustible. El sistema 10 de potencia de una célula de combustible comprende, además, conectores eléctricos y conductores (no mostrados) para acoplar la salida eléctrica de los cartuchos 14 de la célula de combustible a una carga o consumo 20.

Cada cartucho 14 de célula de combustible incluye una serie de conjuntos de electrodo de membrana (MEA). Un sistema de potencia de una célula de combustible se da a conocer en la solicitud de patente US No. de serie 09/577.407, titulada Ion Exchange Membrane Fuel Cell, y Ion Exchange Membrane Fuel Cell Power System, nombrando como inventores William A. Fuglevand, Peter D. DeVries, Greg A. Lloyd, David R. Lott, y John P. Scartozzi. Esta solicitud de patente describe en detalle células de combustible constituidas a base de conjuntos MEA. Una realización alternativa se describe en detalle significativo en la solicitud de patente US. No de serie 08/979.853, presentada en 20 de Noviembre de 1997.

El conjunto de electrodo de membrana MEA tiene un cuerpo principal (no mostrado) formado mediante un electrolito sólido. El cuerpo principal del MEA tiene un lado del ánodo y un lado del cátodo en oposición. Un electrodo de ánodo catalítico y un electrodo de cátodo catalítico están constituidos en el cuerpo principal. Estos electrodos se describen adicionalmente en la antes mencionada solicitud de patente US No. de serie 09/557.407. Además, se fijan en los electrodos de ánodo y de cátodo, capas de difusión eléctricamente conductoras, no mostradas, no catalíticas, y tiene una determinada porosidad. Estas capas de difusión eléctricamente conductoras no catalíticas, están también descritas en la mencionada solicitud de patente, pero a efectos de brevedad, no se explican en esta descripción de manera más detallada.

Haciendo referencia a continuación a la figura 2, se ha mostrado una serie de células de combustible 18 configuradas para producir corriente eléctrica que tienen una salida determinada de voltaje y corriente. En la realización mostrada en la figura 2, solamente se han mostrado unas pocas células de combustible 18, a efectos de simplicidad. No obstante, en realidad, una serie de células de combustible 18 están dispuestas de manera que pueden ser acopladas entre sí en serie, en paralelo, o en combinación de serie/paralelo. Más particularmente, una o varias células de combustible 18 están contenidas en cada cartucho 14 en serie, en paralelo, o en una combinación serie/paralelo.

El sistema de potencia 10 incluye circuitos de control de derivación 22 mostrados en la figura 2. Existen muchas formas alternativas de los circuitos de control de derivación 22. A continuación, se describen dos realizaciones alternativas de los circuitos 22 de control de derivación en relación con las figuras 3 y 6. Los circuitos 22 de control de derivación comprenden una vía eléctrica 24 que acopla eléctricamente entre sí el ánodo 26 y el cátodo 28 de las células de combustible. Se debe comprender que este circuito 22 de control de derivación se encuentra presente en cada una de las células de combustible o que está asociado a las mismas. En una realización (no mostrada), la vía eléctrica 24 comprende un ultra condensador para almacenar temporalmente la energía generada durante el periodo de derivación. La energía que de otro modo se desperdiciaría, se puede recuperar utilizando un ultracondensador en la vía eléctrica 24.

El sistema de potencia 10 incluye, además, un controlador de derivación 30. En una realización, todos los circuitos 22 de control de derivación del sistema 10 de potencia de una célula de combustible están acoplados eléctricamente a un controlador de derivación común 30; de modo alternativo, se pueden utilizar múltiples controladores de derivación 30. En una realización, el controlador de derivación 30 puede ser adquirido a través establecimientos de venta convencionales. Un controlador apropiado 30 para esta aplicación es el chip microcontrolador programable que tiene la designación de marca MC68HC705P6A, y que puede ser utilizado para llevar a cabo el programa lógico que se describe más adelante.

El controlador de derivación 30 comprende un par de electrodos detectores de voltaje (o un par de detectores de voltaje) 32 y 34 para cada célula de combustible 18, que están acoplados eléctricamente al ánodo 26 y al cátodo 28, respectivamente, para detectar el voltaje en el ánodo y en el cátodo 26 y 28 de la célula de combustible 18.

El sistema de potencia 10 comprende además un detector de corriente 44, acoplado eléctricamente a través del controlador de derivación 30 y la célula de combustible 18 para la utilización por el controlador de derivación 30 en la detección de la corriente que pasa desde la célula de combustible 18. En una realización, el detector de corriente adopta la forma de una derivación de corriente que detecta la corriente que pasa desde la célula de combustible 18 con una conexión eléctrica directa a la célula de combustible 18. En la realización mostrada, sin conexión eléctrica directa, el detector de corriente 44 es un transformador de corriente. También se podrían utilizar otros tipos de

detectores conocidos en la técnica. En una realización, los detectores de corriente 44 y detectores de voltaje 32 están separados del controlador de derivación 30, si bien el controlador de derivación 30 comprende un circuito utilizado en la lectura de los detectores de corriente y voltaje; no obstante, en realizaciones alternativas, algunos o todos los detectores de voltaje y corriente están incluidos en el controlador de derivación 30.

El sistema 10 de potencia de una célula de combustible comprende, además, válvulas de desconexión 38 que están, todas ellas, dispuestas en relación de medición de fluido con respecto al suministro 17 del combustible gaseoso. El controlador de derivación 30 está acoplado eléctricamente en relación de control con respecto a las válvulas 38.

En una realización, el sistema de potencia 10 de una célula de combustible comprende, además, un detector de temperatura 46 para detectar la temperatura de una o varias células de combustible. Por ejemplo, un detector de temperatura puede ser dispuesto por cada cartucho 14 soportado por el cuerpo envolvente, tal como en el interior de las aberturas 16, o se pueden incluir detectores de temperatura en los cartuchos 14 y se pueden acoplar por un conector al controlador de derivación 30, o se puede disponer de un detector de temperatura para grupos de células de combustible en diferentes localizaciones del cuerpo envolvente 12.

Cada célula de combustible 18 produce una potencia eléctrica que tiene una determinada salida de corriente y voltaje. El controlador 30 está acoplado eléctricamente con las células de combustible 18, y puede funcionar para derivar la corriente eléctrica entre el ánodo 26 y el cátodo 28 de la célula de combustible 18 en condiciones funcionales predeterminadas.

En una realización, tal como se describirá a continuación de manera más detallada, el controlador 30, después de detectar, mediante los detectores de voltaje y corriente 32, 34, y 44, una salida determinada de voltaje y corriente de la célula de combustible 18, ajusta la válvula 38 asociada con dicha célula de combustible 18 a una relación de dosificación de fluido predeterminada con respecto al suministro 17 de combustible gaseoso.

La figura 3 muestra detalles constructivos del circuito 22 de control de derivación de acuerdo con una realización de la invención, adecuada para una serie de células de combustible 18 conectadas entre sí en serie. El circuito 22 de control de derivación comprende un conmutador eléctrico 36, que se ha mostrado, en este caso, como un transistor con efecto de campo de diseño convencional. Un MOSFET adecuado, comercialmente aceptable, puede ser obtenido de Mitsubishi, con la designación FS100UMJ. El controlador de derivación 30 está acoplado eléctricamente al electrodo de control (por ejemplo, puerta) del conmutador eléctrico 36.

El circuito 22 de control de derivación incluye circuitos eléctricos 40 de desvío, que acoplan eléctricamente, de modo adicional, el ánodo y cátodo 26 y 28 de cada una de las células de combustible 18 entre sí. El circuito eléctrico de desvío comprende un diodo 42. El circuito eléctrico 40 de desvío puede funcionar para proporcionar una trayectoria de flujo de corriente desde el ánodo al cátodo de una célula de combustible 18 si tiene lugar el fallo del controlador de derivación 30. En el caso de que el circuito 22 de control de derivación falle conjuntamente con una célula de combustible en fallo 18, el circuito eléctrico de desvío 42 impide que ocurran daños en la célula de combustible. El diodo 42 está normalmente polarizado de forma inversa cuando la célula de combustible asociada 18 está produciendo potencia y no tiene efectos en el circuito 22 de control de derivación en condiciones de funcionamiento normales. Al llegar a 0 o empezar a ser negativo el voltaje de salida de una célula de combustible en fallo 18, el diodo 42 pasa a estar polarizado de modo directo. Entonces, la corriente se puede desplazar a través del diodo 42 en vez de hacerlo a través de la célula de combustible 18. El voltaje negativo máximo depende del tipo de diodo seleccionado. Se utiliza un diodo barrera Schottky que está disponible comercialmente con la notación 85CNQ015, en una realización. Este diodo modelo permite un flujo de corriente elevada, aproximadamente a 0,3 voltios. Esta limitación de voltaje limita el voltaje negativo máximo de la célula de combustible impidiendo, por lo tanto, el sobrecalentamiento y los subsiguientes daños.

El transistor con efecto de campo 36 tiene estados eléctricos abierto y cerrado. El controlador 30 pone al transistor con efecto de campo en estado eléctrico abierto o cerrado, basándose en parámetros de comportamiento predeterminados para las respectivas células de combustible 18.

En un primer estado de funcionamiento, en el que una célula de combustible determinada está funcionando a unos determinados parámetros de rendimiento o expectativas o por debajo de ellos, el controlador 30 puede funcionar para provocar simultáneamente que la válvula 38 para la célula de combustible adopte una posición en la que interrumpe el suministro de gas combustible a la célula de combustible 18 y coloca el conmutador eléctrico 36 en posición eléctrica cerrada, poniendo en cortocircuito, por lo tanto, el ánodo 26 con el cátodo 28. Esto impide sustancialmente prevenir daños por calor en la célula de combustible 18, tal como podría ocurrir cuando tiene lugar la espiral de hidratación negativa.

Si el conmutador eléctrico 36 es colocado a continuación en posición abierta, el controlador 30 puede funcionar para provocar que la válvula 38 sea puesta en una situación que permita el suministro sustancialmente continuo de gas combustible a la célula de combustible.

5 Cuando la salida de voltaje de la célula de combustible 18 es menor que unos 0,4 voltios, el conmutador eléctrico adopta una posición cerrada poniendo en cortocircuito, por lo tanto, el ánodo con el cátodo, al mismo tiempo provocando que la válvula interrumpa el suministro de gas combustible. Una espiral de hidratación negativa puede tener como resultado una excesiva cantidad de calor que provoca daños en el MEA. En este primer estado de funcionamiento, el circuito 22 de control de derivación puede funcionar para permitir el paso de corriente, impidiendo, por lo tanto, estos daños. Desde luego, los parámetros de rendimiento que pueden disparar el primer estado de funcionamiento pueden incluir parámetros de rendimiento decreciente; o parámetros de rendimiento decreciente en comparación relativa con los parámetros de rendimiento conseguidos por otras células de combustible 18. También se podrían utilizar otros parámetros no indicados en esta descripción.

10 En un segundo estado de funcionamiento, el circuito 22 de control de derivación puede funcionar para incrementar la salida de potencia eléctrica resultante de la célula de combustible 18. Las células de combustible 18 tienen parámetros de rendimiento predeterminados que comprenden salidas seleccionadas de corriente y voltaje de la célula de combustible 18. En el segundo estado, y en el caso de que los parámetros de rendimiento puedan simplemente disminuir y no han bajado por debajo de un umbral mínimo, se utiliza el circuito de control de derivación 22 en un esfuerzo de restablecer células de combustible individuales 18 y grupos de ellas, a los parámetros de rendimiento determinados. Por ejemplo, la salida de voltaje y corriente de una o varias células de combustible 18 puede empezar a disminuir. Al detectar esta disminución por el controlador de derivación 30, el controlador 30 puede funcionar, por acción del circuito de control de derivación 22 para establecer un cortocircuito repetidamente entre el ánodo y el cátodo de las células de combustible 18 de rendimiento degradado a velocidades individuales determinadas, que son eficaces para restablecer las células de combustible a los parámetros de rendimiento predeterminados. En otro ejemplo, en el caso de que los parámetros de rendimiento puedan simplemente disminuir, el controlador 30 es eficaz para ajustar el ciclo de trabajo de las células de combustible individuales 18 por referencia a los parámetros de rendimiento descendentes de la célula de combustible en comparación relativa con los parámetros de rendimiento de otras células de combustible para mejorar el rendimiento eléctrico de la misma.

25 En el primer y segundo estados de funcionamiento, los parámetros de rendimiento predeterminados de las células de combustible 18 individuales y acopladas eléctricamente en serie, comprenden salidas seleccionadas de corriente y voltaje de la célula de combustible 18. Estos parámetros de umbral de rendimiento predeterminados se pueden determinar por varios métodos, incluyendo, sin que ello sea limitativo, experimentación; historial operativo; o carga eléctrica, por ejemplo. Adicionalmente, los parámetros de rendimiento predeterminados pueden incluir, en el primer estado, por ejemplo, en el que los parámetros de rendimiento de la célula de combustible se encuentran simplemente en disminución o, de modo general, en disminución a lo largo de un intervalo de tiempo determinado; se encuentran en disminución o en un rango de menos de 0,4 voltios, aproximadamente; o se encuentran en disminución o degradación de modo general en relación con los parámetros de rendimiento de otras células de combustible 18 con las que está conectada eléctricamente en serie. En una realización, una célula de combustible determinada se considera que se comporta en unos parámetros predeterminados, o por debajo de los mismos, si la salida de voltaje de la célula de combustible es, por ejemplo, menor de 0,4 voltios aproximadamente.

40 Esta lista de posibles parámetros no incluye todos los posibles, y muchos otros parámetros físicos y operativos podrían ser controlados, lo cual tendería a sugerir que una célula de combustible seleccionada empieza a fallar y debe ser desconectada del apilamiento a efectos de reparación o sustitución, en caso de que la deficiencia de rendimiento sea grave o, por otra parte, sometido a un mayor grado de cortocircuito para determinar si la célula de combustible 18 puede ser recuperada consiguiendo nuevamente los parámetros de rendimiento seleccionados, predeterminados.

50 El término "ciclo de servicio" que se utiliza a continuación, significa la proporción de intervalo "en tiempo" ocupado en el funcionamiento de un dispositivo con respecto al tiempo total de un ciclo de funcionamiento (proporción del tiempo de duración del impulso con respecto al tiempo de repetición del impulso). Otra forma de definir el término ciclo de servicio es la proporción del tiempo de trabajo con respecto al tiempo operativo total para dispositivos de funcionamiento intermitente. Este ciclo de servicio es expresado como porcentaje del tiempo de ciclo de funcionamiento total. Por lo tanto, en la realización de la figura 2, el controlador de derivación 30 puede funcionar para ajustar, tanto la duración del cortocircuito, como también el tiempo de ciclo de funcionamiento para seleccionar células de combustible, a efectos de restablecer o mantener las células de combustible por encima de los parámetros de rendimiento predeterminados, seleccionados.

60 Se puede conseguir un rendimiento mejorado de la célula de combustible por cortocircuito ajustable y repetido del ánodo 26 y cátodo 28 de la célula de combustible 18. A este respecto, y en el segundo estado de funcionamiento, la lógica programable mostrada en 50 en la figura 14 es utilizada por el controlador de derivación 30 para abrir y cerrar individualmente, de forma ajustable y periódicamente, cada uno de los conmutadores eléctricos 36 que están acoplados eléctricamente, individualmente, y asociados con cada una de las células de combustible 18. Estos conmutadores eléctricos 36 pueden ser activados individualmente, en serie, en grupos determinados, o según ciertos modelos, o de cualquier manera que consiga la salida de voltaje y corriente predeterminados que se desean. A este respecto, se ha determinado que el tiempo de ciclo de funcionamiento comprendido entre unos 0,1 segundos y unos cuatro minutos produce resultados satisfactorios, en una realización. Cuando se realiza esta

puesta en cortocircuito periódica, se ha descubierto que la salida de voltaje de las células de combustible 18 puede aumentar, como mínimo, en 5%. De modo adicional, el circuito 30 de control de derivación puede funcionar derivando la corriente eléctrica en una duración de menos de 20% aproximadamente del ciclo de funcionamiento.

5 Durante el segundo estado de funcionamiento, el controlador de derivación 30 provoca que la válvula 38 permanezca en un estado que permita el suministro sustancialmente continuo de gas combustible a la célula de combustible 18 asociada durante el cortocircuito. Se supone que esta puesta en cortocircuito repetida y periódica provoca que cada una de las células de combustible derivadas 18 sea "acondicionada", es decir, se cree que dicha
10 puesta en cortocircuito provoca un incremento de la cantidad de agua que se pone a disposición de los MEA de las células de combustible, incrementando de esta manera el rendimiento de dichos MEA. También, se puede suponer que la puesta en cortocircuito proporciona un incremento a corto plazo de la disipación de calor que es suficiente para evaporar el exceso de agua de las capas del difusor que están montadas en el MEA. Esta evaporación de agua supondría una cantidad mayor de oxígeno del aire ambiente a disposición del lado del cátodo del MEA. Cualquiera que sea la causa exacta, la puesta en cortocircuito parece incrementar la conductividad de protones del
15 MEA. Este incremento de la conductividad de protones tiene como resultado un incremento momentáneo de la salida de potencia de la célula de combustible, que disminuye lentamente a lo largo del tiempo. El incremento global en la salida de potencia eléctrica de la célula de combustible 18, controlada por la puesta en cortocircuito ajustable, secuencial y periódica de las células individuales 18 y grupos de las mismas, tiene como resultado de que el grupo completo de células de combustible aumenta su producción de potencia global. Los correspondientes
20 circuitos 22 de control de derivación pueden funcionar individualmente conectados con cada una de las células de combustible 18 y pueden funcionar para las células de combustible individuales y grupos de células de combustible. Además, los ciclos de servicio y operativo de las respectivas células de combustible 18 se pueden ajustar en cualquier número de combinaciones distintas y para cualesquiera duraciones individualmente separadas, dependiendo del rendimiento de las células de combustible individuales, para aumentar el rendimiento de las
25 mismas; o para objetivos de estabilización del rendimiento decreciente de un grupo determinado de células de combustible o de células de combustible individuales, según el caso.

En el segundo estado de funcionamiento, el controlador de derivación 30, al implementar el esquema lógico
30 mostrado en la figura 14, con el numeral 50, establece un cortocircuito entre el ánodo 26 y el cátodo 28 de una célula de combustible 18, cuando el conmutador eléctrico asociado 36 se encuentra en situación de cerrado, manteniendo, simultáneamente, la válvula 38 en un estado que permite el suministro sustancialmente continuo de gas combustible a la célula de combustible 18, al abrir y cerrar periódicamente el controlador de derivación el conmutador eléctrico. La célula de combustible 18 tiene un ciclo de servicio y un ciclo de funcionamiento, aproximadamente de 0,01 segundos hasta unos cuatro minutos. La puesta en cortocircuito al abrir y cerrar el
35 conmutador eléctrico 36 durante el ciclo de servicio, aumenta la salida de potencia eléctrica global de la célula de combustible 18. Esto tiene como resultado en que el grupo de células de combustible 18 aumenta el voltaje combinado y la salida de corriente, por ejemplo, como mínimo, aproximadamente 5% cuando se encuentra en la configuración mostrada en la figura 3. La duración del cortocircuito durante el ciclo de servicio es menor de aproximadamente 20% del ciclo de funcionamiento.

40 En una realización alternativa mostrada en la figura 15, la puesta en cortocircuito de una célula de combustible 18 es controlada como respuesta a la temperatura detectada por un detector de temperatura 46 dispuesta en disposición de detección de temperatura de dicha célula de combustible 18. Por ejemplo, en el ciclo de servicio, la temporización o duración del cortocircuito se ajusta para optimizar la hidratación o incrementar la producción de la
45 célula de combustible, tal como está indicado por el esquema lógico 51. Si la temperatura de una célula de combustible aumenta más allá de una temperatura de funcionamiento nominal, se puede suponer que la hidratación disminuye, por lo que se aumenta la frecuencia y/o duración del cortocircuito. En una realización, el ciclo de servicio de cortocircuito se ajusta para intentar igualar la temperatura y la producción de cada cartucho; de este modo, en esta realización, se dispone un detector de temperatura en relación de detección de temperatura en
50 cada cartucho.

La figura 16 muestra el esquema lógico llevado a cabo por el controlador de derivación 30 en otra realización alternativa. El bloque 52 representa un bucle de control externo. En el bloque 52, se miden las temperaturas de los
55 cartuchos 14 por los respectivos detectores de temperatura 46 y se controla la temperatura más elevada en un valor que es función de la corriente de salida (determinada utilizando uno o varios detectores de corriente 44) para el cartucho 14.

En el bloque 53, se mide la corriente producida por cada cartucho 14. Los cartuchos con una temperatura más baja
60 tienden a producir menos corriente.

En el bloque 54, el ciclo de servicio de cortocircuito se ha incrementado para uno o varios de los cartuchos 14 más frío o con menor salida de corriente (o cartucho de menor rendimiento determinado al considerar tanto la
65 temperatura como la corriente). En una realización, solamente se incrementa la duración del cortocircuito. En una realización, el ciclo de servicio es incrementado en todos los cartuchos que se encuentran a una temperatura y/o corriente que se encuentra por debajo de un umbral predeterminado. En una realización, el cortocircuito tiene lugar normalmente, por ejemplo, durante 120 milisegundos cada 12 segundos. En el bloque 54, la duración del

cortocircuito para cada operación de derivación se puede incrementar, por ejemplo, en 100 milisegundos (por ejemplo, aproximadamente, 83 por cien) para todos los cartuchos que se encuentren a una temperatura y para una corriente por debajo de un umbral predeterminado; en otra realización, la duración se incrementa solamente para el cartucho más frío y/o para la salida de corriente más reducida. En realizaciones alternativas, se utilizan otros escalonados, tales como 10, 20, 50, o 100 por cien de incremento en la duración del cortocircuito.

En una realización, el bloque 54 incluye además, la disminución del ciclo de servicio de uno o varios de los cartuchos 14 más calientes o con mayor salida de corriente, de manera similar a aquella en la que se incrementa el ciclo de servicio para los cartuchos más fríos o de salida de corriente más baja.

En el bloque 55, hay un retraso para esperar la mejora de la corriente de uno o varios de los cartuchos 14 designados como más frío o de salida más baja de corriente. Después de detectar una mejora en la salida de corriente de un determinado porcentaje o hasta un nivel de corriente predeterminado, el ciclo de servicio es reducido en una magnitud o porcentaje predeterminado, por ejemplo, reduciendo la duración del cortocircuito, por ejemplo, en 10, 20, 50, o 100 por cien.

La temperatura debe encontrarse en su rango con un retraso ligero de fase (por ejemplo, un minuto) por detrás de la corriente. Por lo tanto, en una realización, el ciclo de servicio es disminuido en el bloque 55, cuando se detecta una mejora de la temperatura en un porcentaje predeterminado o hasta un nivel predeterminado, en vez de una mejora de la salida de la corriente.

Si bien, la figura 16 ha sido explicada en términos de cartuchos, el diagrama de flujo de la figura 16 se puede llevar a la práctica para células de combustible individuales u otros grupos de células de combustible, para los que se puede medir la corriente y la temperatura.

La figura 4 es un diagrama de circuito equivalente del circuito de la figura 3 antes del cortocircuito que tiene lugar durante una operación de derivación. La figura 4 muestra la resistencia en serie equivalente de la célula de combustible 18 y resistencia en serie del conmutador 36 del circuito de la figura 3. Cada célula de combustible 18 tiene un valor de resistencia equivalente asociado, indicado con el numeral de referencia 58 en la figura 4. De modo adicional, las células de combustible puede ser representada por una fuente de corriente 52 en serie con una combinación paralela de un condensador 54 y una resistencia 56. La configuración de circuito equivalente para una célula de combustible es conocida en esta técnica y se muestra, por ejemplo, en la obra FUEL CELLS EXPLAINED, por James Larminie y Andrew Dicks, publicada por John Wiley & Sons, Ltd., copyright 2000, página 55. De manera adicional, los circuitos de derivación (es decir, circuitos que incluyen el conmutador 36) tiene un valor de resistencia en serie equivalente, indicado con el numeral de referencia 60. El diodo 42 tiene un valor de resistencia en serie equivalente indicado con el numeral de referencia 61. En serie con otras células de combustible 18, el voltaje V facilitado a través de los terminales 62 y 64, es aplicado normalmente a una carga 66, por ejemplo, en periodos de tiempo fuera de las operaciones de derivación o en periodos de tiempo de mantenimiento o falta de uso de una célula de combustible o cartucho específicos.

La figura 5 es un diagrama de circuito simplificado o equivalente del circuito de la figura 3 durante el cortocircuito. Durante el cortocircuito, el conmutador 36 está cerrado y se forma la vía eléctrica 24 con el resultado de una conexión en serie de la célula de combustible 18 con el conmutador 36.

Es una relación bien conocida que el voltaje es igual a la corriente multiplicado por la resistencia. La célula de combustible 18, el conmutador 36, la resistencia en serie equivalente 58, debido a la célula de combustible y resistencia en serie equivalente 60, debido al conmutador, se encuentran todos ellos en serie durante el cortocircuito porque cuando el conmutador 36 está en cerrado, hay una conexión de circuito cerrado provocada por el conmutador 36 y normalmente no pasa virtualmente corriente por el diodo 42.

Durante el cortocircuito, la resistencia en serie equivalente 61, debida al diodo 42, y la resistencia debida a la carga 66, son mucho más elevadas que la resistencia en serie equivalente 60 debida al conmutador. Por lo tanto, en un diagrama de circuito equivalente de la figura 5, el diodo 42 y la carga 66 no se muestran. Asimismo, en el instante en el que se inicia el cortocircuito, el condensador 54 queda cortocircuitado, de manera que el condensador 54 y la resistencia 56 de la figura 4 se omiten en la figura 5. El voltaje a través de la célula de combustible 18 se ha mostrado en la figura 5 como VFC. Es una relación bien conocida que el voltaje es igual a la corriente multiplicada por la resistencia, o dicho de otro modo, la resistencia es igual al voltaje dividido por la corriente. La resistencia en serie equivalente 58 debida a la célula de combustible, en el momento en el que se aplica el cortocircuito, es igual al cambio de voltaje en la célula de combustible dividido por el cambio de corriente por la célula de combustible, es decir:

$$ESRFC=(V_w-V_{FC})/(I_{FC}-I_w)$$

(ver figura 12) en la que ESRFC es el ESR 58, en el que, cuando VW es el voltaje normal o de trabajo de la célula de combustible antes de aplicar el cortocircuito, IW es la corriente normal o de trabajo de la célula de combustible

antes de aplicar el cortocircuito, VSC es el voltaje de la célula de combustible 18 inmediatamente después de haber aplicado el cortocircuito, e IFC es la corriente que pasa por la célula de combustible 18 inmediatamente después de aplicar el cortocircuito. Se debe observar que en la figura 3, la corriente de carga a través de la carga 66 no pasa por el detector 44. Por lo tanto, la corriente IW en el numeral de referencia 70 de la figura 12 será 0 antes de aplicar el cortocircuito. En otras realizaciones, se utilizan detectores adicionales, y se mide EFR en otros periodos de tiempo inmediatamente después de aplicar un cortocircuito.

La figura 12 es un gráfico que muestra el voltaje de la célula de combustible y la corriente con respecto al tiempo, durante y después, del cortocircuito durante una operación de cortocircuito utilizando el circuito de la figura 3. En una realización, una operación de derivación queda definida por incluir el tiempo durante el cortocircuito y también el tiempo antes y después del cortocircuito, durante el cual los conmutadores están abiertos o cerrados en preparación del cortocircuito o después de este.

En una realización, utilizando los circuitos de la figura 3, se determina la resistencia en serie equivalente midiendo el voltaje a través de la célula de combustible 18 y la corriente que pasa por la célula de combustible 18 en el momento en que empieza la derivación, en el periodo de tiempo 100 de la figura 12. En el periodo de tiempo 100, inmediatamente después de haber aplicado un cortocircuito, el nivel de hidratación de la célula de combustible no ha cambiado del nivel anterior al cortocircuito, pero el cambio de corriente y voltaje es casi instantáneo.

El numeral de referencia 70 de la figura 12 indica el nivel de la corriente IW operativa normal o de trabajo en un periodo de tiempo anterior al cortocircuito (antes del cortocircuito del ánodo al cátodo), y el numeral de referencia 72 indica el nivel de corriente IS cuando empieza el cortocircuito (es decir, mientras el ánodo se encuentra en cortocircuito con respecto al cátodo). La corriente aumenta fuertemente durante el cortocircuito, tal como se ha mostrado por el numeral de referencia 72. El numeral de referencia 74 indica una disminución de la corriente durante el cortocircuito, tal como se ha representado por la capacitancia 54 en el circuito equivalente (figura 4). Después de que el cortocircuito ha sido completado en el tiempo 102 (es decir, después de cesar el cortocircuito del ánodo al cátodo), la corriente generada por la célula de combustible indicada por el numeral de referencia 76, vuelve a un valor de trabajo reanudando el funcionamiento normal de la célula de combustible. El valor de corriente en el numeral de referencia 76 puede ser el valor ilustrado por el numeral de referencia 70 o próximo al mismo, o puede ser diferente debido a las ventajas de la operación de derivación.

De manera similar, el numeral de referencia 80 indica el nivel de un voltaje normal operativo o de trabajo VW en el momento anterior al cortocircuito (antes del cortocircuito del ánodo al cátodo), y el numeral de referencia 82 indica el nivel de voltaje en el tiempo del cortocircuito (es decir, mientras el ánodo se encuentra en cortocircuito con respecto al cátodo). El voltaje a través de la célula de combustible 18 disminuye durante el cortocircuito, tal como se ha mostrado por el numeral de referencia 82. Inmediatamente después del cortocircuito, en el tiempo 102, el voltaje aumenta fuertemente. El numeral de referencia 84 indica el voltaje de la célula de combustible inmediatamente después del cortocircuito. La diferencia entre el voltaje 80 de la célula de combustible antes del cortocircuito y el voltaje 86 inmediatamente después del cortocircuito se utiliza para determinar la resistencia en serie equivalente.

La figura 6 muestra un circuito 22B de control de derivación que se utiliza en lugar del circuito de control de derivación 22 de la figura 2 en una realización alternativa. Más particularmente, el circuito 22B de la figura 6 es apropiado para sistemas de potencia 10 que comprenden células de combustible 18 dispuestas en paralelo. El circuito de control 22B comprende un conmutador 36B que es sustancialmente similar al conmutador 36 de la figura 3, en paralelo con la carga 66. El conmutador 36B tiene estados eléctricos abierto y cerrado. El controlador 30 abre o cierra selectivamente el conmutador 36B. El circuito de control 22B comprende además, un conmutador 37 que es sustancialmente similar al conmutador 36 de la figura 3, en serie con la carga 66. El conmutador 36B tiene estados eléctricos abierto y cerrado. El controlador 30 abre y cierra selectivamente el conmutador 36B.

La figura 7 muestra que cada uno de los conmutadores 36B (y 36 y 37) en forma de un MOSFET, incluye un diodo intrínseco 39.

Las figuras 8 a 11 muestran una secuencia de fases, correspondiente a una operación de derivación utilizando el circuito de la figura 9. La figura 8 es un diagrama de circuito equivalente al circuito de la figura 6 antes de la derivación. Esta está indicada como tiempo 104 en la figura 13. El circuito equivalente de la célula de combustible se ha mostrado como fuente de corriente 52, un condensador en paralelo 54 y una resistencia 56 y resistencia 58 debido a la resistencia equivalente en serie, igual que en la figura 3. Se pueden ignorar las resistencias equivalentes en serie de los conmutadores, si solamente se considera en diferentes momentos el voltaje a través de la célula de combustible 18. El conmutador 37 está normalmente cerrado, y el conmutador 36B está normalmente abierto.

La figura 9 es un diagrama de circuito equivalente o simplificado del circuito de la figura 6, en un tiempo 105 después del tiempo representado por la figura 8. El conmutador 37, normalmente cerrado, es abierto por el controlador de derivación 30. El diodo 39 del conmutador 37 está polarizado de modo directo, por lo que pasa

corriente. Existe un cambio muy pequeño de corriente (una ligera caída de corriente debido a la resistencia equivalente en serie del conmutador 37).

5 La figura 10 es un diagrama de circuito simplificado o equivalente del circuito de la figura 6, en el tiempo 106 después del tiempo representado por la figura 9. El conmutador 36B, normalmente abierto, es cerrado por el controlador de derivación 30. El diodo 39 del conmutador 37 es polarizado de forma inversa, de manera que no existe virtualmente corriente hacia la carga 66, sino que la corriente fluye por el cortocircuito definido por el conmutador 36B.

10 La figura 11 es un diagrama de circuito simplificado o equivalente del circuito de la figura 6 en el tiempo 108 (ver figura 13) después del tiempo representado por la figura 10. El conmutador, normalmente abierto 36B, es abierto por el controlador de derivación 30 para eliminar el cortocircuito, pero el diodo 39 del conmutador 36B permanece en polarización inversa, hasta que el condensador 54 se carga durante el periodo comprendido de 108 a 110, mostrado en la figura 13. La corriente IS es 0. No pasa corriente. En el tiempo 110, el conmutador 37 está cerrado
15 (igual configuración que la mostrada en la figura 8) hasta la siguiente operación de derivación.

La figura 13 es un gráfico que muestra el voltaje de la célula de combustible y la corriente con respecto al tiempo antes, durante, y después de tener lugar el cortocircuito durante una operación de derivación, utilizando el circuito de la figura 6. En una realización de la invención, se determina la resistencia equivalente en serie de la célula de combustible 18 tomando la diferencia VFC entre el voltaje a través de la célula de combustible 18 inmediatamente después de eliminar el cortocircuito y el voltaje VS durante la derivación, dividiendo esta diferencia por la corriente IS que pasa por la célula de combustible 18, inmediatamente siguiente del cortocircuito de la salida de la célula de combustible (es decir, tan pronto como se ha eliminado el cortocircuito). Más particularmente, la diferencia de voltaje se divide por la diferencia de corriente (diferencia entre la corriente durante e inmediatamente después del cortocircuito) pero la corriente inmediatamente después del cortocircuito es 0, de manera que la diferencia de voltaje se puede dividir por IS. Inmediatamente después de aplicar el cortocircuito, el nivel de hidratación de la célula de combustible no ha cambiado todavía con respecto al nivel anterior a la derivación, pero el cambio de corriente y voltaje es casi instantáneo.

30 Más particularmente, el numeral de referencia 120 indica el nivel de una corriente IW de funcionamiento normal o de trabajo anterior al cortocircuito (antes del cortocircuito del ánodo al cátodo). El numeral de referencia 122 indica el nivel de corriente IS durante el cortocircuito. La corriente aumenta notablemente durante el cortocircuito, tal como se ha mostrado. El numeral de referencia 124 indica la corriente inmediatamente después del cortocircuito. Durante un cierto tiempo después de haber terminado el cortocircuito (es decir, algún tiempo después de que haya terminado el cortocircuito del ánodo al cátodo), la corriente generada por la célula de combustible es 0, tal como se ha indicado por el numeral de referencia 126. Después de un cierto tiempo, la corriente vuelve al valor de trabajo ilustrado por el numeral de referencia 128, para reanudar el funcionamiento normal de la célula de combustible. El valor de la corriente en el numeral de referencia 128 puede ser el indicado por el numeral de referencia 128 o puede encontrarse en las proximidades del mismo, o puede ser distinto, por ejemplo, debido a las ventajas de la derivación.
40

De manera similar, el numeral de referencia 130 indica el nivel de un voltaje VW de funcionamiento normal o de trabajo antes del cortocircuito (antes del cortocircuito del ánodo al cátodo), y el numeral de referencia 132 indica el nivel de voltaje VS durante la derivación (es decir, mientras el ánodo es cortocircuitado al cátodo). Inmediatamente después de eliminar el cortocircuito, en el tiempo 106, el voltaje aumenta fuertemente. El numeral de referencia 134 indica el voltaje VFC de la célula de combustible inmediatamente después de eliminar el cortocircuito. La diferencia entre el voltaje VFC de la célula de combustible indicado por el numeral de referencia 134 y el voltaje VS indicado por el numeral de referencia 132, se utiliza para determinar la resistencia en serie equivalente de la célula de combustible. La resistencia equivalente en serie es igual a esta diferencia dividida por la diferencia de corriente entre el cortocircuito, e inmediatamente después del cortocircuito. Más particularmente, la resistencia equivalente en serie es igual a la diferencia de voltaje dividida por la corriente de derivación IS indicada en el numeral de referencia 122. Durante algún tiempo, después de haber sido eliminado el cortocircuito (es decir, durante algún tiempo después de cesar el cortocircuito del ánodo al cátodo), el voltaje a través de la célula de combustible aumenta gradualmente desde el valor 134 en el tiempo 108, tal como se ha mostrado por el numeral de referencia 136. Después de un cierto tiempo, el voltaje vuelve al valor de trabajo mostrado por el numeral de referencia 138, reanudando el funcionamiento normal de la célula de combustible. Los inventores han descubierto que la duración de este tiempo, entre el tiempo 108 y el tiempo 110, se refiere al nivel de hidratación de la célula de combustible. El valor del voltaje en el numeral de referencia 138 puede ser el mostrado por el numeral de referencia 130, o puede encontrarse cerca del mismo, o puede ser distinto, debido a las ventajas de la derivación. Es muy conveniente medir el voltaje inmediatamente después de la derivación, si bien se puede medir en otros momentos si se utilizan cálculos apropiados.
60

En una realización, se mide la duración y el tiempo entre el tiempo 108 y el tiempo 110, y se determina el nivel de hidratación, como respuesta a la duración de tiempo entre dichos tiempos 108 y tiempo 110. Cuánto más tiempo es necesario para que la célula de combustible se recupera, mayor era el de hidratación. Por lo tanto, un aspecto de la invención da a conocer un método que comprende la medición de la magnitud de tiempo para la recuperación de la
65

corriente después de liberar un cortocircuito entre el ánodo de una célula de combustible y el cátodo de la misma, y determina el nivel de hidratación antes del cortocircuito como respuesta a la duración del tiempo.

5 En una realización, diferentes células de combustible del sistema de potencia 10 de células de combustible son puestas en cortocircuito en diferentes momentos de tiempo, de manera que otras células de combustible, que no son puestas en cortocircuito, pueden continuar proporcionando potencia a una carga.

10 El método que utiliza los circuitos de la figura 3 no es tan exacto como el circuito descrito en relación con la figura 6, porque no hay un acodamiento fuerte en la curva de voltaje de la figura 12 en el tiempo 100. Por otra parte, el método que utiliza el circuito de la figura 3 es más simple que el método descrito en relación con la figura 6 y es adecuado para realizaciones en las que las células de combustible 18 están dispuestas en serie. El método que utiliza el circuito de la figura 6 es adecuado para realizaciones en las que las células de combustible 18 están dispuestas en paralelo.

15 Es sabido que existe relación entre una resistencia equivalente en serie de una célula de combustible y el nivel de hidratación. Ello se describe, por ejemplo, en un artículo de P.D. Beattie y otros, titulado "Ionic Conductivity of Proton Exchange Membranes," Journal of Electroanalytical Chemistry, Volume 503 (2001), pp. 45-56. Ver también un artículo por Mary C. Wintersgill y otros, titulado "Complex Impedance Measurement on Nafion", Electrochimica Acta, Volume 43, Nos. 10-11 (1998), pp.1533-1538. La figura 19 es un gráfico logarítmico de la conductividad eléctrica, con respecto al contenido de agua descrito en el artículo de Mary C. Wintersgill y otros. El contenido de agua se define en términos de λ , que es el número de moléculas de agua por sulfonato. De manera similar la figura 20 es un gráfico de la conductividad eléctrica con respecto a la humedad relativa (RH%) descrito en un artículo de Tony Thampan y otros, titulado "Modeling of Conductive Transport in Proton-Exchange Membranes for Fuel Cells", Journal of The Electrochemical Society, No. 147(9) (2000), pp. 3242-3250. Los autores llegan a la conclusión de que la relación no es lineal y que depende del tipo de PEM utilizado en la célula como conjunto.

25 La figura 17 es un gráfico de la resistencia equivalente en serie con respecto al número de experimentos, mostrando la relación de la resistencia equivalente en serie de la célula de combustible y la salida de corriente de la célula de combustible con respecto al número de experimentos para el tipo particular de PEM utilizado en las células de combustible 18 de la realización mostrada, a saber membranas Nafion (TM) de DuPont. Los experimentos fueron llevados a cabo por los inventores utilizando células de combustible con nivel de hidratación decreciente, de izquierda a derecha, de manera que el experimento número 1 fue llevado a cabo utilizando una célula de combustible completamente hidratada, el experimento número 2 fue llevado a cabo utilizando una célula de combustible menos hidratada, etc, incluyendo experimentos utilizando células de combustible hidratadas normalmente y deshidratadas. El gráfico 150 representa la resistencia equivalente en serie de una célula de combustible 18 en miliohmios, determinada utilizando el método descrito en lo anterior, en relación con la figura 3. El gráfico 152 indica la resistencia equivalente en serie de la misma célula de combustible 18 y del circuito de derivación, incluyendo el conmutador 36 medido por el equipo de pruebas (tal como, por ejemplo, un medidor de impedancia TEGAM modelo 252, medido a 1 kHz), y proporciona un gráfico que es sustancialmente paralelo al gráfico 150. En cualquier caso, los máximos y mínimos del gráfico 150 se corresponden con los máximos y mínimos del gráfico 152, lo que significa que una rutina del bucle de optimización que intenta minimizar la resistencia equivalente en serie al cambiar los parámetros operativos de la célula de combustible, será eficaz. El gráfico 154 representa una salida de corriente de 0,6 V de la misma célula de combustible en amperios. El gráfico 155 representa la resistencia equivalente en serie con circuito abierto de una célula de combustible 18, en miliohmios, y sigue de manera muy próxima el gráfico 150.

30 La figura 17 indica que la resistencia equivalente en serie de una célula de combustible 18 es la más baja, y que la salida de corriente de la célula de combustible es la más alta cuando el nivel de hidratación es normal u óptimo. Al quedar completamente hidratada la célula de combustible 18 con respecto a niveles de hidratación normal, la salida de corriente disminuye y la resistencia equivalente en serie de la célula de combustible aumenta. De manera similar, al deshidratarse la célula de combustible 18, con respecto a niveles de hidratación normales, la salida de corriente disminuye y la resistencia equivalente en serie de la célula de combustible aumenta.

35 La figura 18 muestra un gráfico 156 de resistencia equivalente en serie en miliohmios (mOhms) para los experimentos de la figura 17, medidos de la manera descrita anteriormente, y un gráfico 158 de resistencia equivalente en serie en mOhms medido por el equipo de prueba (por ejemplo, un medidor de impedancia). La diferencia 160 entre los gráficos 156 y 158 proporciona la resistencia debido a los circuitos de derivación incluyendo el conmutador 36, y es sustancialmente lineal a lo largo de los diferentes experimentos. El gráfico 159 es un gráfico de resistencia equivalente en serie con un circuito abierto en mOhmios.

40 La figura 21 es un diagrama de flujo que muestra el esquema lógico implementado por el controlador 30 en una realización, para una o varias (por ejemplo, todas) las células de combustible 18.

45 En la etapa 170, la resistencia equivalente en serie de la célula de combustible (o célula de combustible y circuito de derivación) es determinada utilizando uno de los métodos que se han descrito anteriormente.

En la etapa 172, se cambia un parámetro por el controlador 30, como respuesta a la resistencia equivalente en serie determinada. En una realización, el parámetro cambiado es el ciclo de servicio en cortocircuito. Por ejemplo, la duración del cortocircuito es aumentada si la resistencia equivalente en serie ha aumentado por encima de valores predeterminados o en más de un porcentaje predeterminado, por ejemplo. De manera alternativa, por primera vez en el bucle se ajusta siempre la duración del cortocircuito o la frecuencia (aumentando o disminuyendo) con independencia de la resistencia equivalente en serie determinada, de manera que se pueden determinar los efectos del cambio de duración de frecuencia en un intento de minimizar la resistencia equivalente en serie. En una realización, se cambia el ciclo de servicio. Más especialmente, se cambia en una realización la duración de cortocircuito o la frecuencia.

En una realización, el cortocircuito tiene lugar, normalmente, por ejemplo, 100 milisegundos cada 5 segundos (0,2 Hz). En la etapa 95 (figura 14), por ejemplo, la duración del cortocircuito para cada ciclo de funcionamiento de derivación se puede cambiar, por ejemplo, en 100 milisegundos. Otros escalones dimensionales, tales como incrementos de 10, 20, 50, o 100 por ciento, en la duración del cortocircuito, se utilizan en realizaciones alternativas. De manera alternativa, puede cambiar la frecuencia del cortocircuito, por ejemplo, en escalones de 2 segundos. Otras etapas de dimensionado de frecuencia, tal como escalones de 1 segundo, escalones de 0,5 segundos, escalones de 100 milisegundos, o escalones de 4 minutos, se utilizan en realizaciones alternativas. Las dimensiones de los escalones se pueden seleccionar basándose en la cantidad de corriente generada. Los escalones más largos, por ejemplo, escalones de 4 minutos, pueden ser deseables, por ejemplo, si la célula de combustible se encuentra fría, para evitar exceso de hidratación ("flooding").

En otra realización alternativa, la célula de combustible queda en circuito abierto durante un tiempo predeterminado (por ejemplo, desconectada de otra células de combustible o de la carga) antes (por ejemplo, inmediatamente antes) de que tenga lugar un cortocircuito en todos los casos, o bien como respuesta a una determinada resistencia equivalente en serie. La duración de la situación de circuito abierto, en una realización, se encuentra entre 0-70 segundos. La apertura del circuito antes del cortocircuito puede ayudar a tomar mediciones de parámetros, tales como resistencia o parámetros de corriente y voltaje. Desde luego, durante la situación de circuito abierto, otras células de combustible tendrán que proporcionar potencia a la carga, de manera que el número de células de combustible disponibles y la magnitud de la carga se deben tener en cuenta cuando se efectúa el ajuste de la duración de la situación de circuito abierto antes del cortocircuito. El diseño modular del sistema de potencia 10 de la célula de combustible permite el poner en cortocircuito una célula de combustible, mientras otras continúan suministrando potencia.

En la etapa 174, la resistencia equivalente en serie se mide nuevamente, por ejemplo, después de un retraso apropiado.

En la etapa 176, se determina si la resistencia equivalente en serie determinada ha disminuido o no. En este caso, el cambio en el ciclo de servicio implementado en 174 se mantiene o se aumenta. En caso negativo, el cambio en el ciclo de servicio implementado en la etapa 174 es disminuido o no se hace o no se continúa en la misma dirección. Otras rutinas de optimización conocidas por los técnicos ordinarios en la materia podrán ser utilizadas para trabajar de forma continuada para la reducción de la resistencia equivalente en serie.

En una realización, se ajusta de manera continuada el ciclo de servicio de cortocircuito, en un intento de minimizar la resistencia equivalente en serie de la célula de combustible.

En una realización, se cierra el combustible antes de cortocircuitos más largos (por ejemplo, cortocircuitos de 2 a 5 segundos, o más). Los cortocircuitos más largos pueden tener lugar debido al proceso descrito anteriormente o, en una realización, los cortocircuitos más largos tienen lugar, normalmente de forma periódica, para células de combustible que son puestas en cortocircuito periódicamente. Por ejemplo, en una realización, el combustible es desconectado antes de un cortocircuito. Entonces, existe un retraso de una magnitud predeterminada de tiempo. Entonces, la célula de combustible es puesta en cortocircuito (por ejemplo, 100 milisegundos). El cortocircuito puede tener lugar nuevamente, o múltiples veces, antes de restablecer el combustible. Entonces, el combustible se restablece.

La figura 22 muestra la lógica para la determinación del nivel de hidratación de una célula de combustible 18 in situ. Por la medición de la resistencia equivalente en serie de una célula de combustible 18 en la etapa 200, se determina su nivel de hidratación en la etapa 202 en una realización, utilizando una tabla de consulta u otro circuito análogo o circuito digital, que modela la relación entre la resistencia equivalente en serie y el nivel de hidratación para la PEM específica utilizada en la célula de combustible 18, por ejemplo, por las relaciones de las figuras 19 y 20. Una señal indicadora del nivel de hidratación determinado o una indicación visual o audible del nivel de hidratación (por ejemplo, en una pantalla) es facilitada en la etapa 204. En una realización, el ciclo de servicio de cortocircuito es ajustado, como respuesta a una determinada resistencia equivalente en serie para optimizar el nivel de hidratación o la corriente de salida de la célula de combustible. Dado que las células de combustible del sistema de potencia se ponen en cortocircuito de tiempo en tiempo, para aumentar el rendimiento, esto proporciona una oportunidad de medir la resistencia equivalente en serie y, por lo tanto, los niveles de hidratación de la membrana, de la manera descrita anteriormente.

5 Si bien la anterior descripción ha descrito el cortocircuito de células de combustible contenidas en cartuchos, los procedimientos descritos pueden ser aplicados igualmente a cualquier tipo de célula de combustible. Se puede determinar la información sobre resistencia equivalente en serie, por ejemplo, obteniendo información por el cortocircuito durante un reducido periodo de tiempo (por ejemplo, unos pocos milisegundos) en un apilamiento de células de combustible en el que no hay una serie de células de combustible que puedan compartir una carga. De manera alternativa, en una realización, se utiliza una serie de apilamientos de células de combustible en lugar de los cartuchos descritos anteriormente. Se pueden aplicar impulsos a los apilamientos teniendo los efectos ventajosos del cortocircuito.

10

REIVINDICACIONES

1. Sistema de potencia de célula de combustible que comprende:

5 una célula de combustible que tiene un cátodo y un ánodo adaptados para su acoplamiento a un suministro de combustible, y que está configurada para producir potencia eléctrica que tiene una salida de corriente y de voltaje;

10 circuitos que comprenden un detector de voltaje configurado para medir el voltaje de la célula de combustible y un detector de corriente configurado para medir la corriente de la célula de combustible; y

15 un controlador acoplado eléctricamente a la célula de combustible, el detector de voltaje, y el detector de corriente, y configurado para llevar a cabo, de vez en cuando, una operación de derivación incluyendo el cortocircuito del ánodo y el cátodo, estando el controlador configurado, además, para determinar la resistencia equivalente en serie de la célula de combustible, basándose en cambios de corriente y voltaje durante la operación de derivación, estando el controlador configurado, además, para controlar el funcionamiento de la célula de combustible, basándose en la resistencia equivalente en serie.

20 2. Sistema de potencia de célula de combustible, según la reivindicación 1, que comprende además un conmutador eléctrico que tiene una situación de abierto y cerrado, en el que el controlador está configurado para provocar selectivamente que el conmutador eléctrico se desplace entre las situaciones eléctricas de abierto y cerrado, y en el que la célula de combustible tiene parámetros de rendimiento que comprenden las salidas de corriente y voltaje, y en el que en el primer estado, la salida de voltaje de la célula de combustible es menor que los parámetros de rendimiento, y en el que en el segundo estado, el conmutador eléctrico está configurado para abrir y cerrar periódicamente durante el ciclo de servicio, para provocar un incremento resultante de la salida de potencia eléctrica de la célula de combustible.

30 3. Sistema de potencia de célula de combustible, según la reivindicación 1, que comprende además un conmutador eléctrico que tiene una situación de abierto y cerrado, en el que el controlador está configurado para provocar selectivamente que el conmutador eléctrico se desplace entre las situaciones eléctricas de abierto y cerrado, y en el que la célula de combustible tiene parámetros de rendimiento que comprenden las salidas de corriente y voltaje, y en el que en el segundo estado, la célula de combustible tiene un ciclo de funcionamiento y de servicio, y en el que los ciclos de funcionamiento y de servicio son ajustados individualmente y selectivamente por el controlador, por lo menos en parte, por preferencia los parámetros de rendimiento de la célula de combustible.

35 4. Sistema de potencia de célula de combustible, según la reivindicación 1, que comprende además un conmutador eléctrico que tiene una situación de abierto y cerrado, en el que el controlador está configurado para provocar selectivamente que el conmutador eléctrico se desplace entre las situaciones eléctricas de abierto y cerrado, y en el que la célula de combustible tiene parámetros de rendimiento que comprenden las salidas de corriente y voltaje, y en el que en el segundo estado, la célula de combustible tiene un ciclo de servicio y un ciclo de funcionamiento comprendido, aproximadamente, desde 0,01 segundos a unos 4 minutos, y en el que los ciclos de funcionamiento y de servicio son ajustados individualmente y selectivamente por el controlador, por lo menos en parte, por referencia a los parámetros de rendimiento cambiantes de la célula de combustible en comparación con respecto a los parámetros de rendimiento de otras células de combustible.

45 5. Sistema de potencia de célula de combustible, según la reivindicación 1, en el que la célula de combustible está acoplada eléctricamente en serie con otra célula.

50 6. Sistema de potencia de célula de combustible, según la reivindicación 5, en el que el controlador está acoplado eléctricamente con cada una de las células de combustible para cortocircuitar corriente entre el ánodo y el cátodo de células de combustible seleccionadas.

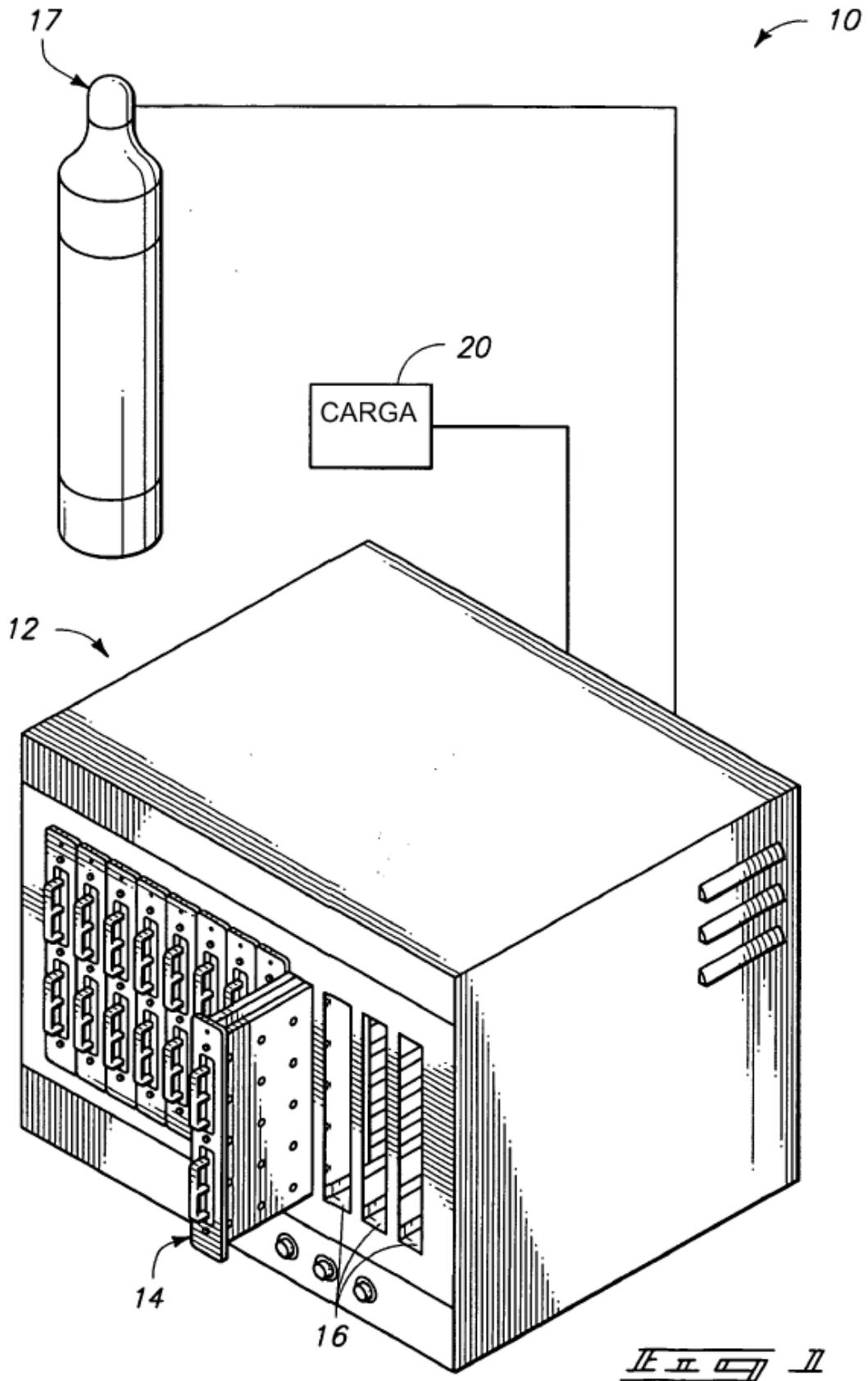
55 7. Sistema de potencia de célula de combustible, según la reivindicación 6, en el que la célula de combustible tiene un ciclo de servicio y un ciclo de funcionamiento comprendido entre 0,01 segundos y unos 4 minutos, y en el que en el segundo estado, el controlador que está acoplado con cada una de las células de combustible está configurado para derivar periódicamente la corriente durante el ciclo de servicio entre el ánodo y el cátodo de cada una de las células de combustible para provocar una salida incrementada resultante de la potencia eléctrica de las células de combustible acopladas eléctricamente en serie.

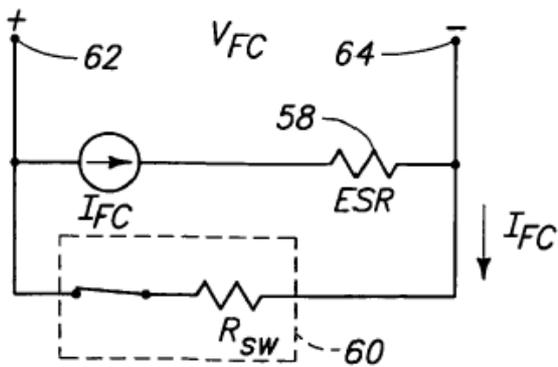
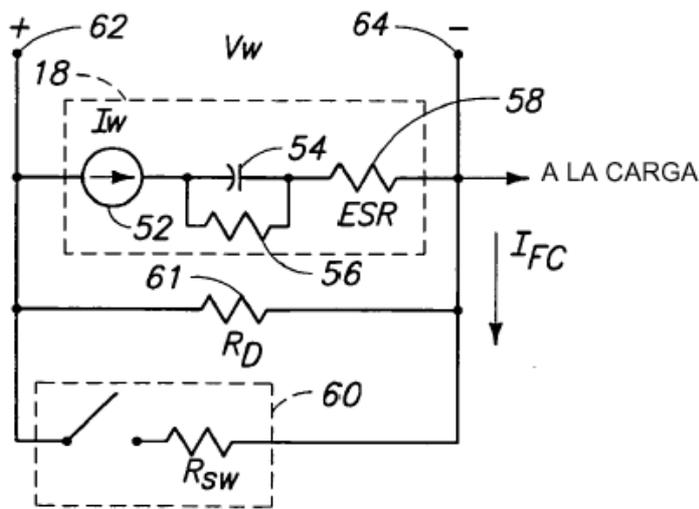
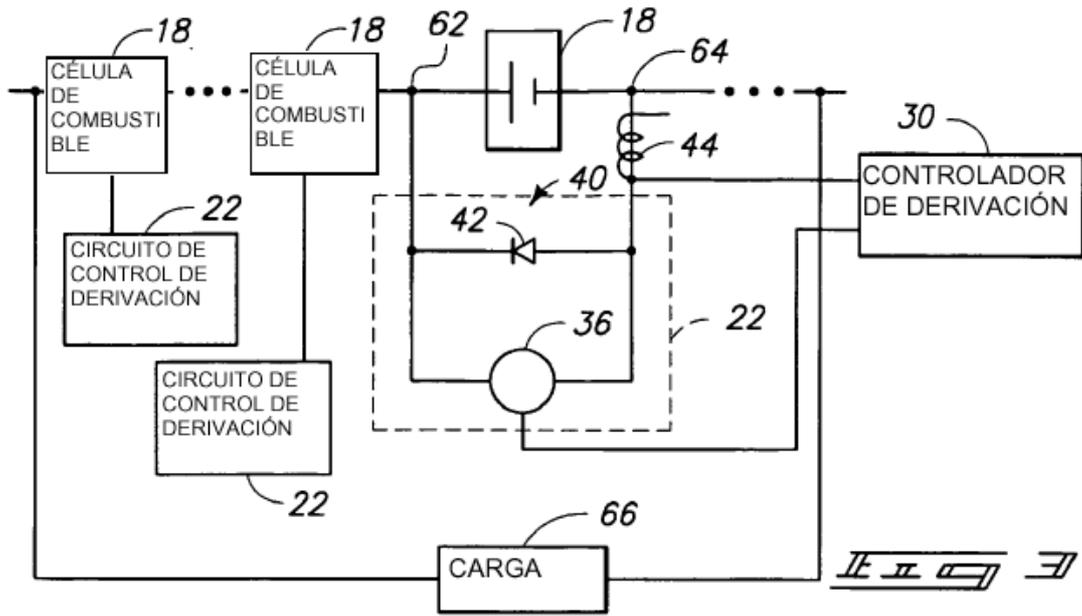
60 8. Sistema de potencia de célula de combustible, según la reivindicación 7, en el que en el segundo estado, el controlador está configurado para provocar que los ciclos de servicio y de funcionamiento sean ajustados selectivamente de modo individual para optimizar la salida de potencia eléctrica de las respectivas células de combustible, de manera que la salida de potencia eléctrica de las células de combustible conectadas eléctricamente en serie aumenta en un mínimo de 5% aproximadamente, y en el que la duración de cortocircuito durante el ciclo de servicio es menor de aproximadamente 20% del ciclo de funcionamiento.

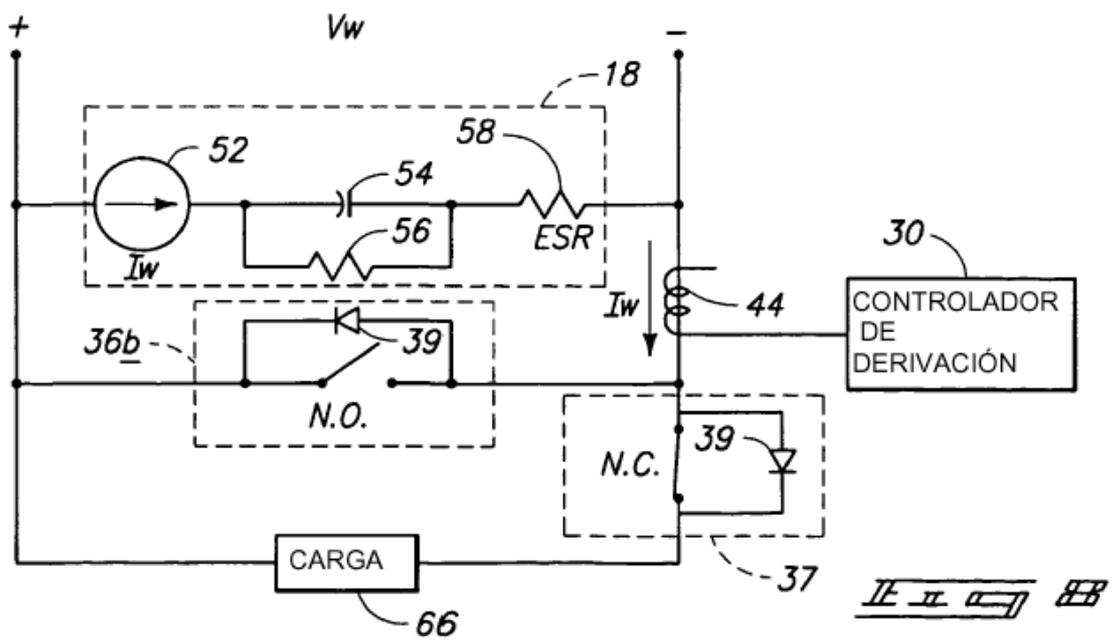
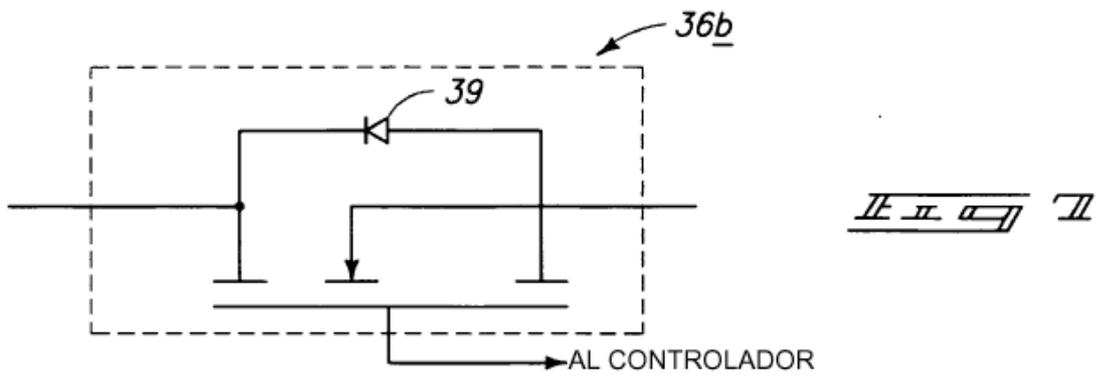
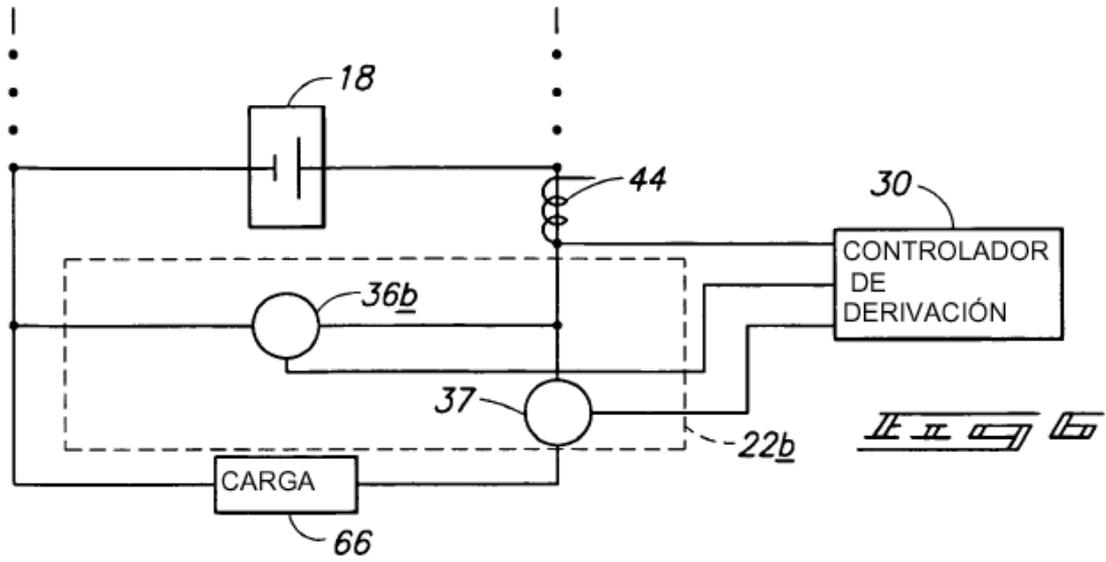
65

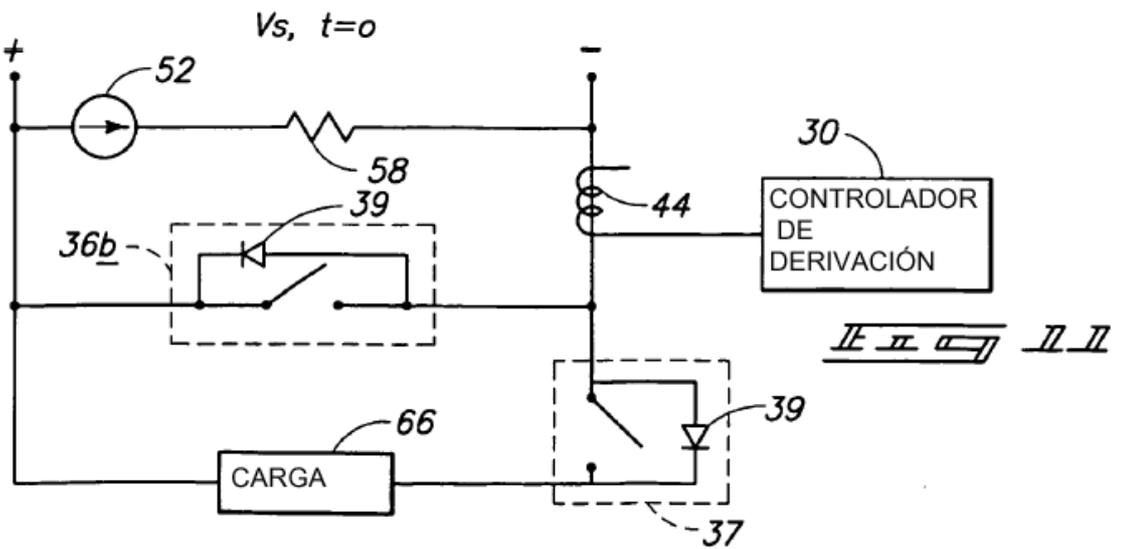
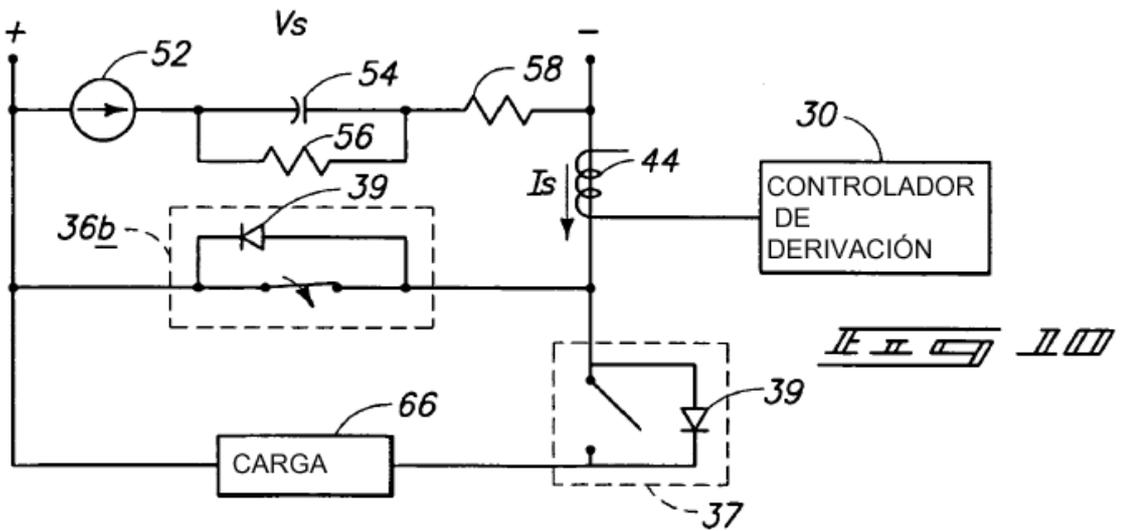
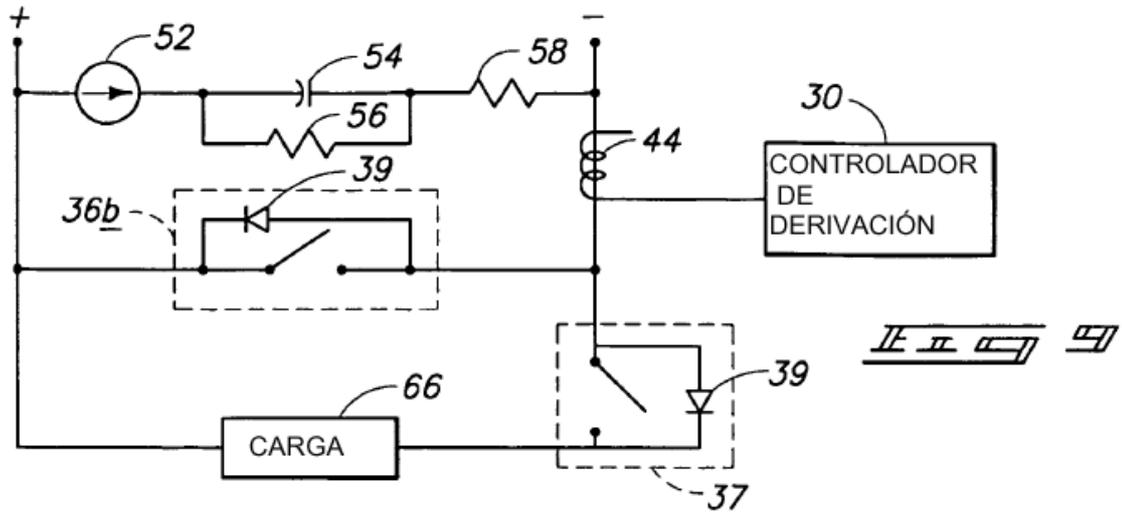
- 5 9. Sistema de potencia de célula de combustible, según la reivindicación 8, en el que el conmutador eléctrico comprende un transistor con efecto de campo, y en el que el controlador que puede funcionar para cortocircuitar el ánodo y el cátodo de cada una de las células de combustible conectadas en serie comprende, además, circuitos eléctricos pasivos de derivación, que funcionan en el fallo del transistor con efecto de campo, cortocircuitando entre el ánodo y el cátodo de cada una de las células de combustible.
- 10 10. Sistema de potencia de célula de combustible, según la reivindicación 9, en el que el circuito eléctrico de derivación pasivo comprende un diodo, y el controlador en un controlador digital.
- 10 11. Método de potencia de una célula de combustible, que comprende:
- 15 disponer una célula de combustible que tiene un cátodo y un ánodo adaptada para ser acoplada a un suministro de combustible; y configurada para producir potencia eléctrica, teniendo una salida de corriente y de voltaje;
- 15 derivar selectivamente la célula de combustible derivando el ánodo, de la célula de combustible al cátodo de la misma; y
- 20 determinar la resistencia equivalente en serie de la célula de combustible basándose en los cambios de corriente y voltaje durante la derivación.
- 25 12. Sistema de potencia de célula de combustible, según la reivindicación 11, en el que la determinación de la resistencia equivalente en serie de la célula de combustible comprende la determinación de la caída de voltaje de la célula de combustible provocada por el cortocircuito, determinando el incremento de corriente de la célula de combustible provocado por el cortocircuito, y dividiendo la caída de voltaje de la célula de combustible por el incremento de corriente de la célula de combustible.
- 30 13. Sistema de potencia de célula de combustible, según la reivindicación 11, en el que la determinación de la resistencia equivalente en serie de la célula de combustible comprende la determinación de los cambios de voltaje y corriente de la célula entre un tiempo durante la derivación, y un tiempo después de la misma, y dividiendo los cambios de voltaje de la célula de combustible por los cambios de corriente de dicha célula de combustible.
- 35 14. Sistema de potencia de célula de combustible, según la reivindicación 11, que comprende, además, la utilización de un conmutador eléctrico que tiene situaciones eléctricas de abierto y cerrado, y utilizando un controlador que provoca que el conmutador eléctrico se desplace entre la situación eléctrica abierta y cerrada para cortocircuitar selectivamente el ánodo al cátodo, de manera que la célula de combustible tiene parámetros predeterminados de rendimiento, comprendiendo salidas de corriente y voltaje, y en el que en el primer estado, la salida de voltaje de la célula de combustible es menor que los parámetros predeterminados de rendimiento, y en el que en el segundo estado, el conmutador eléctrico se abre y cierra periódicamente durante el ciclo de servicio para provocar un incremento resultante en la salida de potencia eléctrica de la célula de combustible.
- 40 15. Sistema de potencia de célula de combustible, según la reivindicación 11, que comprende, además, la utilización de un conmutador eléctrico que tiene situaciones eléctricas de abierto y cerrado, y utilizando un controlador que provoca que el conmutador eléctrico se desplace entre la situación eléctrica abierta y cerrada para cortocircuitar selectivamente el ánodo al cátodo, de manera que la célula de combustible tiene parámetros predeterminados de rendimiento, comprendiendo salidas de corriente y voltaje, y en el que en el segundo estado, la célula de combustible tiene un ciclo de funcionamiento y de servicio, y en el que los ciclos de funcionamiento y de servicio son ajustados individualmente y selectivamente por el controlador, como mínimo en parte, por referencia a los parámetros de rendimiento de la célula de combustible.
- 45 50 16. Sistema de potencia de célula de combustible, según la reivindicación 11, que comprende, además, la utilización de un conmutador eléctrico que tiene situaciones eléctricas de abierto y cerrado, y utilizando un controlador que provoca que el conmutador eléctrico se desplace entre la situación eléctrica abierta y cerrada para cortocircuitar selectivamente el ánodo al cátodo, de manera que la célula de combustible tiene parámetros predeterminados de rendimiento, comprendiendo salidas de corriente y voltaje, y en el que en el segundo estado, la célula de combustible tiene un ciclo de servicio y un ciclo de funcionamiento de, aproximadamente, 0,01 segundos a unos 4 minutos, y en el que los ciclos de funcionamiento y de servicio son ajustados individualmente y selectivamente por el controlador, como mínimo en parte, por referencia a los parámetros de rendimiento cambiantes de la célula de combustible en comparación relativa con los parámetros de rendimiento de otras células de combustible.
- 55 60 17. Sistema de potencia de célula de combustible, según la reivindicación 11, que comprende, además, el acoplamiento eléctrico en serie de la célula de combustible con otra célula.

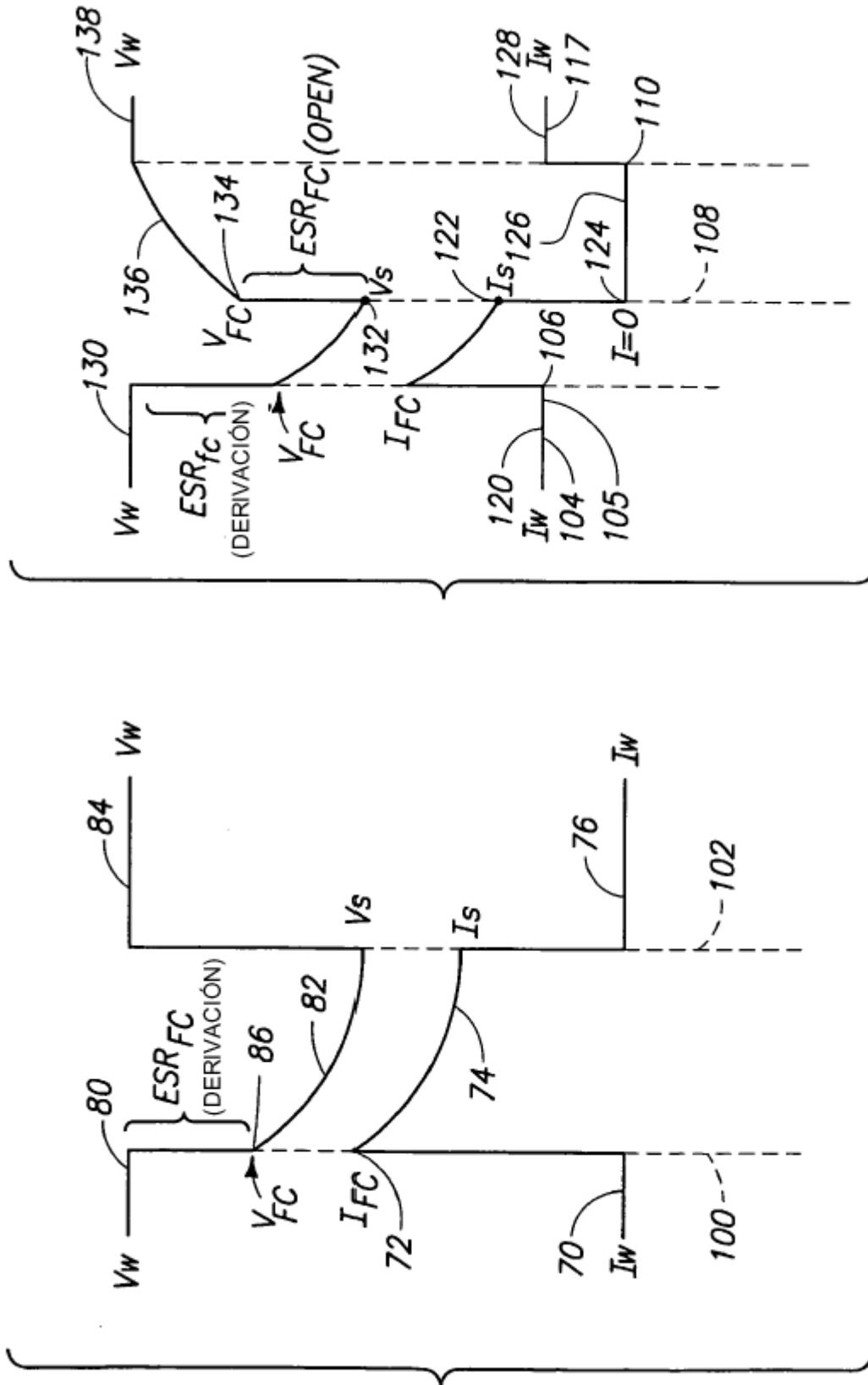
18. Sistema de potencia de célula de combustible, según la reivindicación 17, que comprende, además, la utilización de un controlador, acoplado eléctricamente con células de combustible individuales, para derivar corriente entre el ánodo y el cátodo de las células de combustible seleccionadas.
- 5 19. Sistema de potencia de célula de combustible, según la reivindicación 18, en el que la célula de combustible tiene un ciclo de servicio y un ciclo de funcionamiento de 0,01 segundos a unos 4 minutos, y en el que en el segundo estado, el controlador que está acoplado con cada una de las células de combustible pone en cortocircuito periódicamente durante el ciclo de servicio entre el ánodo y el cátodo de respectivas de combustible, cortocircuita durante el ciclo de servicio entre el ánodo y el cátodo de respectivas células de combustible para
10 provocar una salida de potencia eléctrica incrementada desde células de combustible acopladas eléctricamente.
20. Sistema de potencia de célula de combustible, según la reivindicación 19, en el que en el segundo estado, los ciclos de servicio y de funcionamiento son ajustados individualmente y selectivamente para optimizar la salida de potencia eléctrica de las respectivas células de combustible, y en el que la salida de potencia eléctrica de las
15 células de combustible conectadas eléctricamente en serie aumenta en un mínimo de 5%, y en el que la duración de la derivación durante el ciclo de servicio es menor de, aproximadamente 20% del ciclo de funcionamiento.
21. Sistema de potencia de célula de combustible, según la reivindicación 18, en el que el conmutador eléctrico comprende un transistor con efecto de campo, y en el que el controlador que puede funcionar derivando corriente
20 entre el ánodo y el cátodo, de cada una de las células de combustible conectadas en serie, comprende además, circuitos eléctricos pasivos de derivación que funcionan cuando tiene lugar el fallo del transistor con efecto de campo para derivar la corriente entre el ánodo y el cátodo de cada una de las células de combustible.
22. Sistema de potencia de célula de combustible, según la reivindicación 21, en el que el circuito eléctrico pasivo de derivación comprende un diodo, y el controlador es un controlador digital.
25





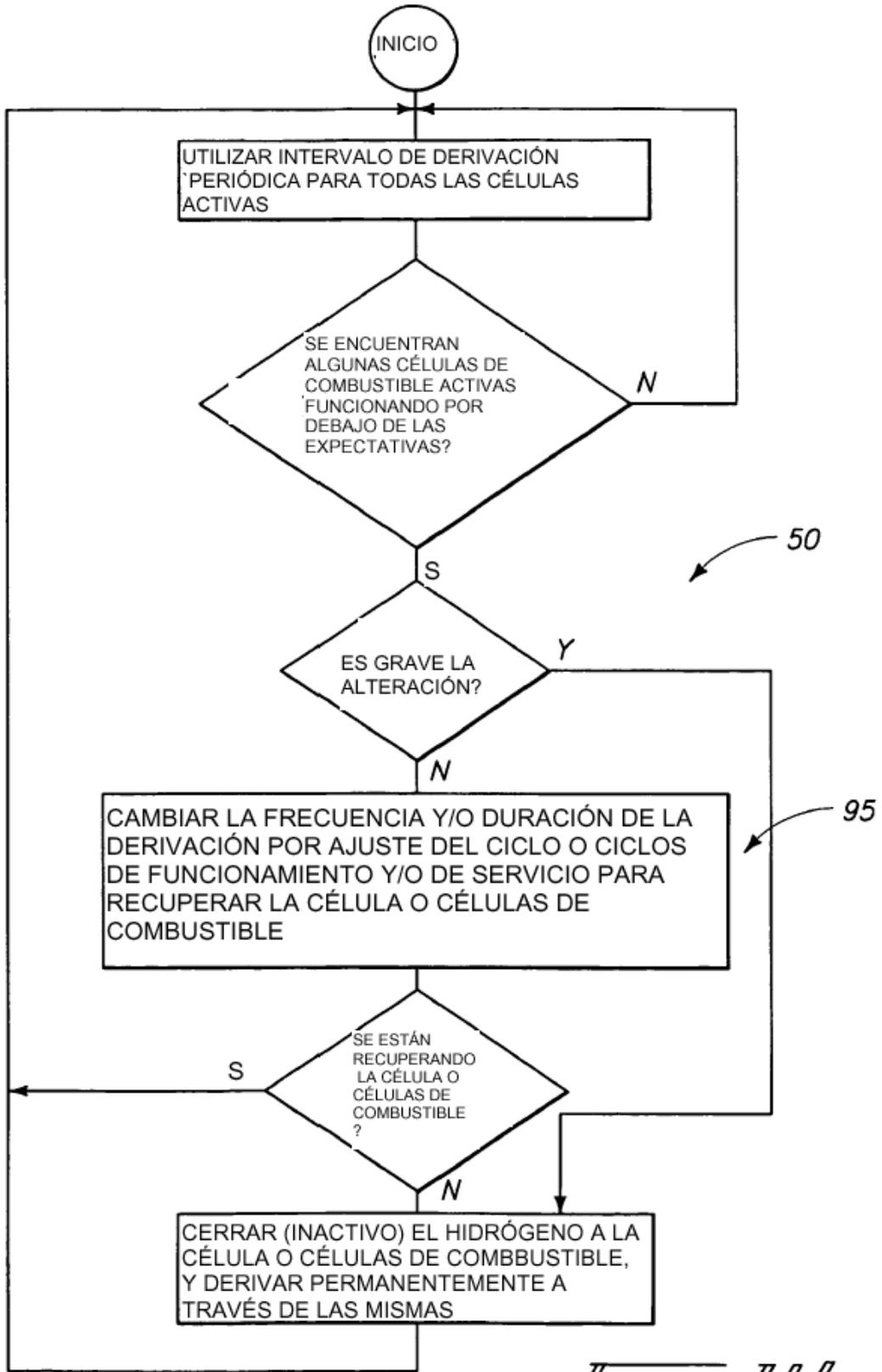




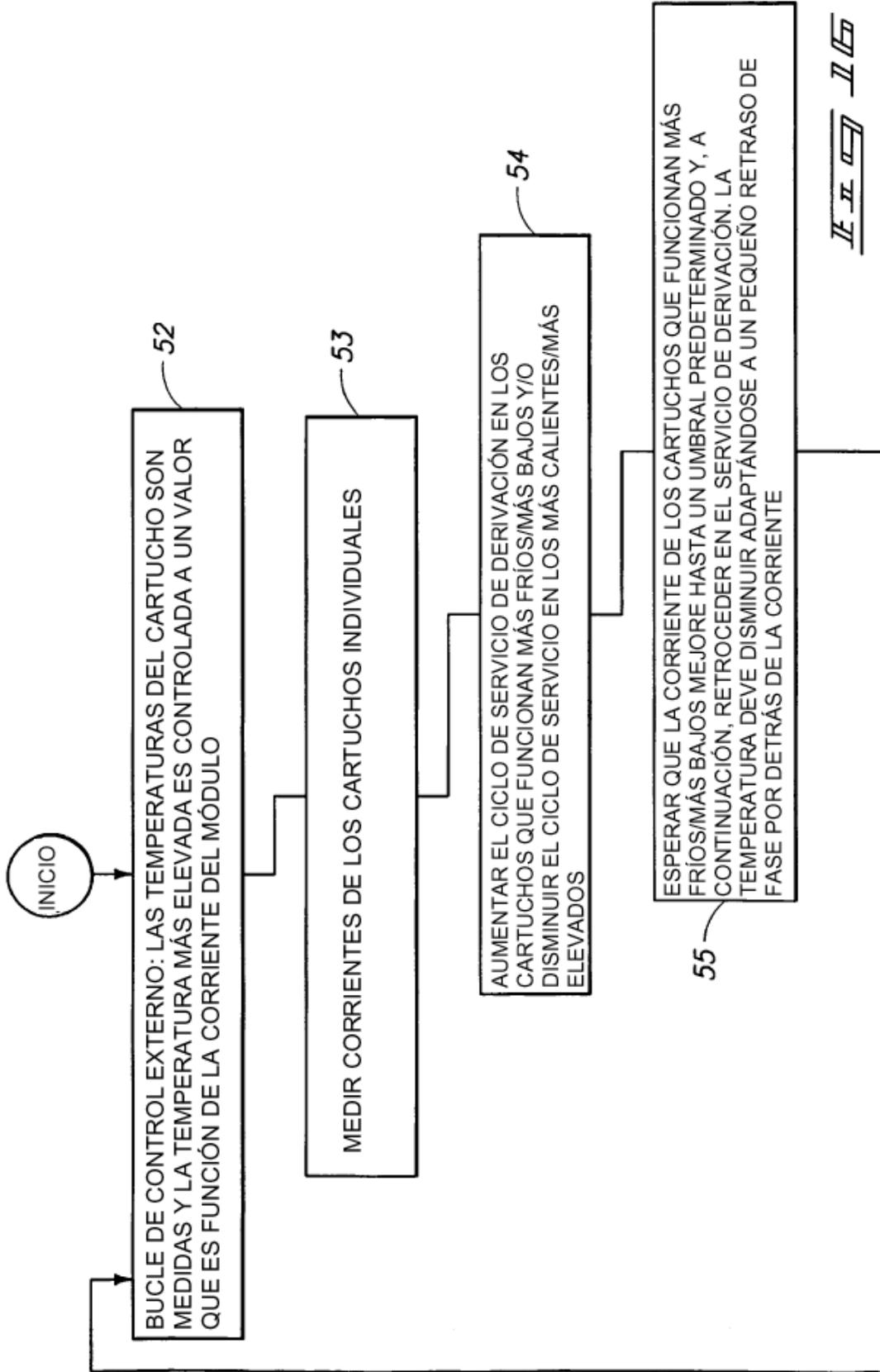


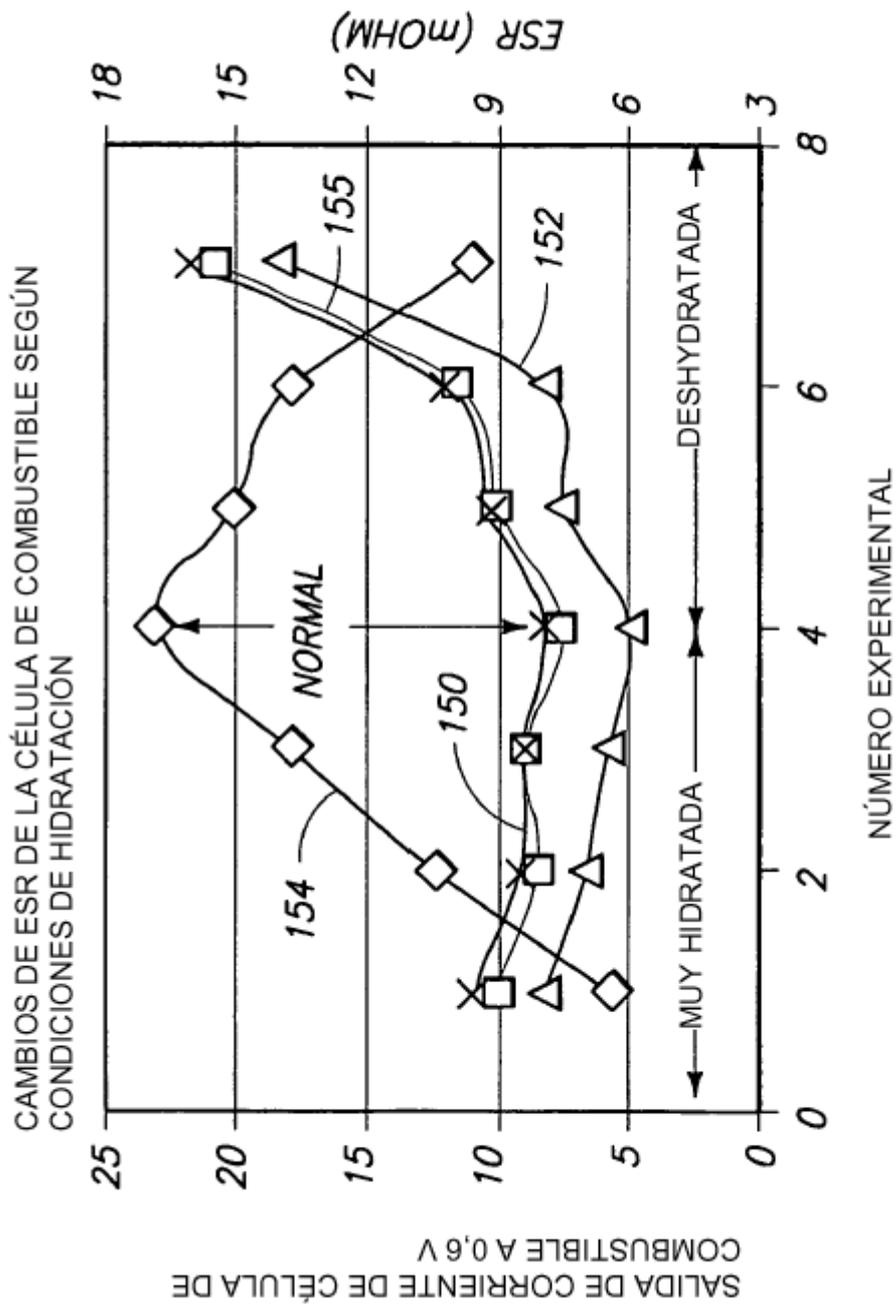
IIII IIII

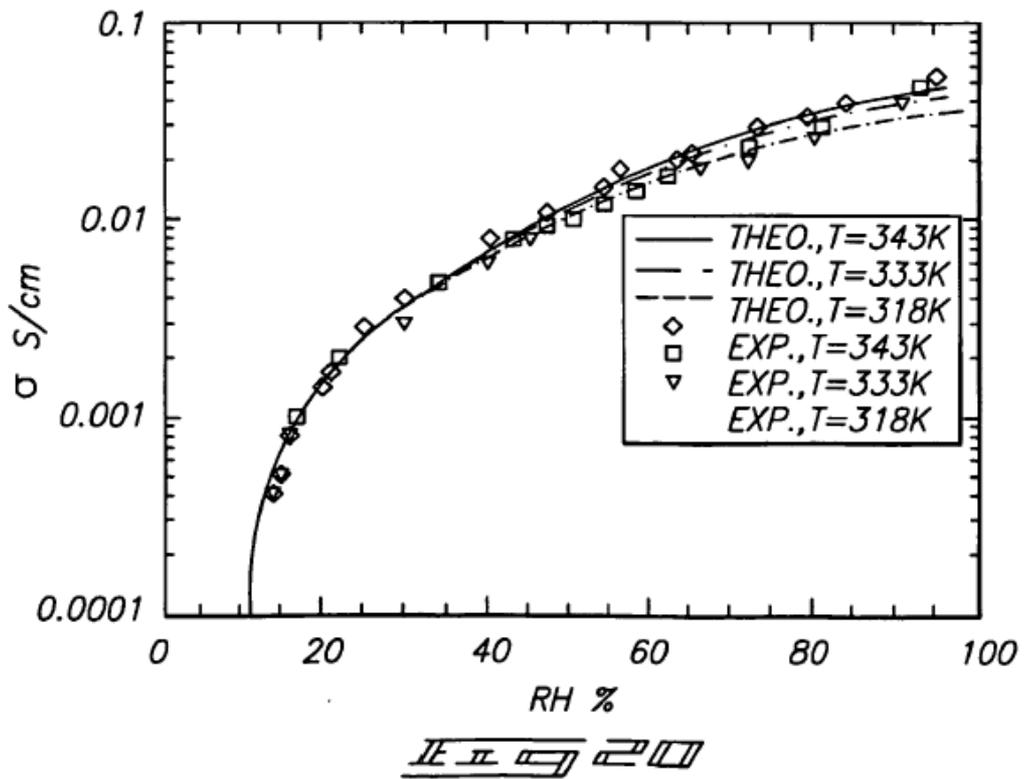
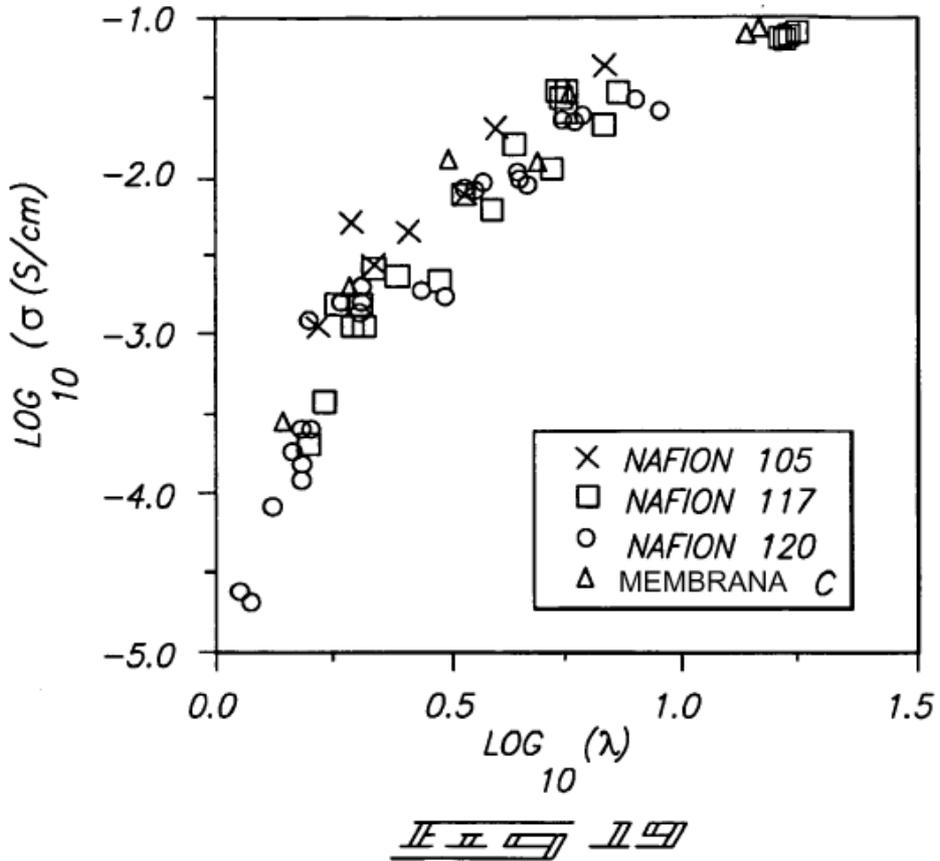
IIII IIII

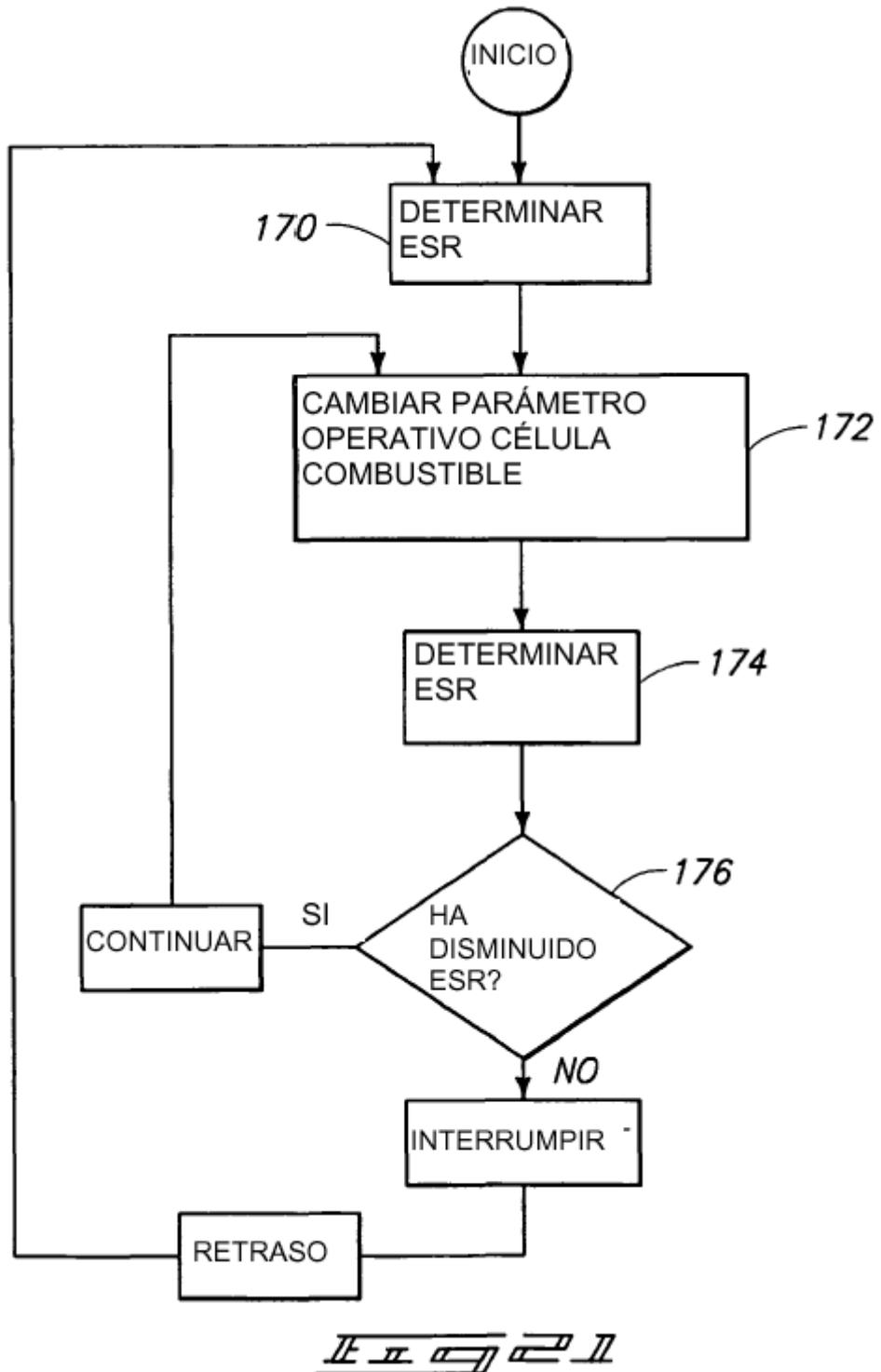


Illegible signature or mark









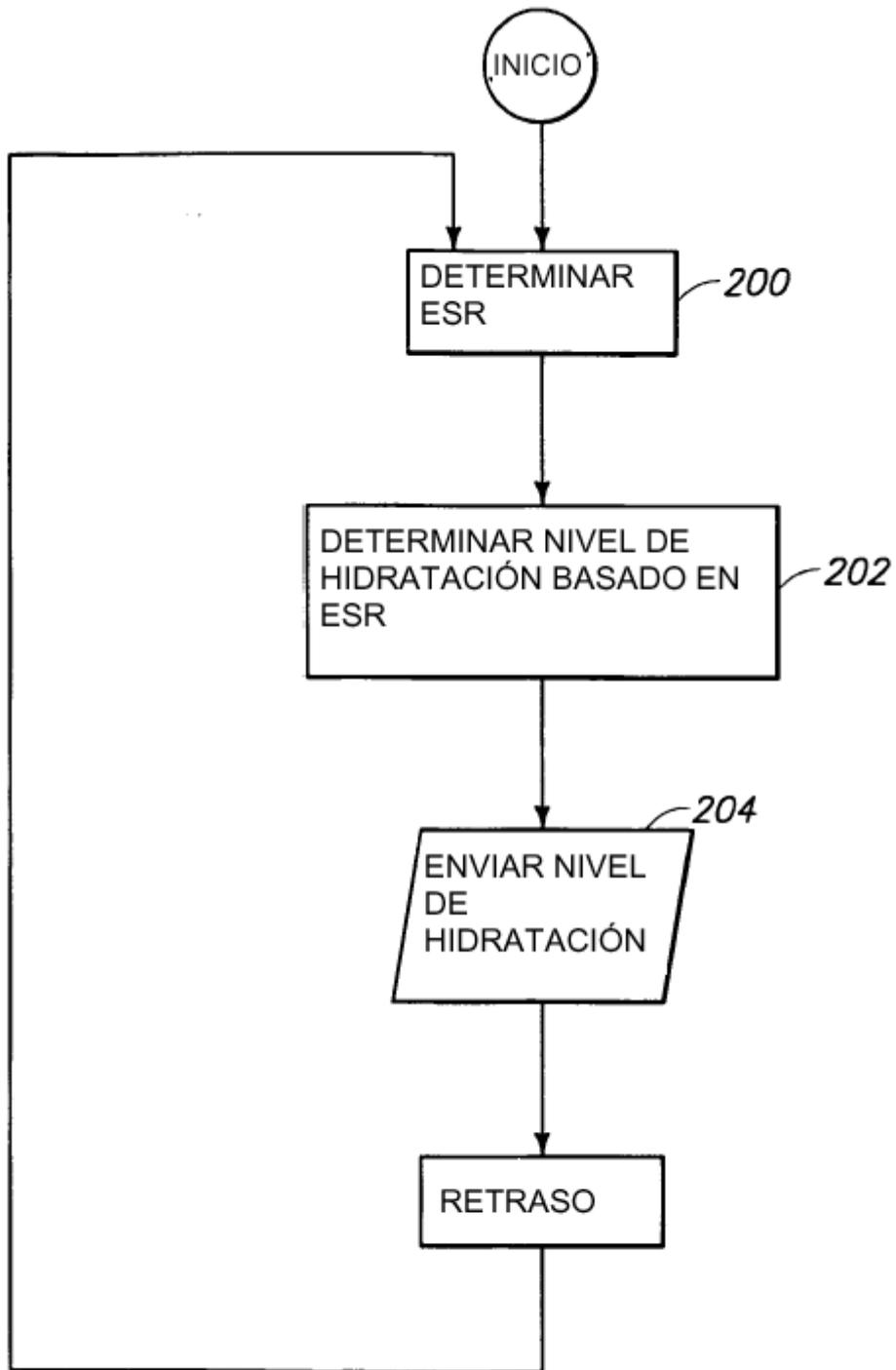


FIG. 2