

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 397 784**

51 Int. Cl.:

H01M 8/04

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.03.2007 E 09014297 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.09.2012 EP 2161773**

54 Título: **Rehidratación de pilas de combustible**

30 Prioridad:

03.03.2006 GB 0604241

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

11.03.2013

73 Titular/es:

**INTELLIGENT ENERGY LIMITED (100.0%)
Charnwood Building, Holywell Park, Ashby Road
Loughborough Leicestershire LE11 3GB, GB**

72 Inventor/es:

**DAVIES, DAMIAN;
GRANGE, NATHAN y
BENSON, PAUL ALAN**

74 Agente/Representante:

URÍZAR ANASAGASTI, José Antonio

ES 2 397 784 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

Rehidratación de pilas de combustible

5 **[0001]** La presente invención se refiere a pilas de combustible y en particular a pilas de combustible del tipo de membrana de intercambio de protones en las que se suministra hidrógeno al lado del ánodo de la pila de combustible, se suministra oxígeno al lado del cátodo de la pila de combustible y un producto de agua se produce en y se elimina del lado del cátodo de la pila de combustible.

10 **[0002]** Tales pilas de combustible comprenden una membrana de intercambio de protones (MIP) emparedada entre dos electrodos porosos, comprendiendo todo ello un conjunto membrana-electrodo (CME). El CME en sí mismo está emparedado convencionalmente entre: (i) una estructura de difusión de cátodo que tiene una primera cara adyacente a la cara de cátodo del CME y (ii) una estructura de difusión de ánodo que tiene una primera cara adyacente a la cara de ánodo del CME. La segunda cara de la estructura de difusión de ánodo contacta una placa de campo de flujo de fluido del ánodo para recogida de corriente y para distribuir hidrógeno a la segunda cara de la estructura de difusión de ánodo. La segunda cara de la estructura de difusión de cátodo contacta una placa de campo de flujo de fluido del cátodo para recogida de corriente, para distribuir oxígeno a la segunda cara de la estructura de difusión de cátodo y para extraer el exceso de agua del CME. Las placas de campo de flujo de fluido de ánodo y cátodo comprenden cada una convencionalmente un material rígido, eléctricamente conductor que tiene canales de flujo de fluido en la superficie adyacente a la respectiva estructura de difusión para suministro de los gases reactivos (por ejemplo, hidrógeno y oxígeno) y eliminación de los gases de escape (por ejemplo, oxígeno no usado y vapor de agua).

20 **[0003]** Una consideración importante en el funcionamiento de las pilas de combustible como es la gestión del agua dentro del CME. Durante el funcionamiento de una pila de combustible MIP, el agua producto de la reacción entre hidrógeno y oxígeno se forma en sitios catalíticos del CME. Este agua debe ser agotada del CME a través de la estructura de difusión de cátodo, al mismo tiempo que el oxígeno es transportado a la cara del cátodo del CME. Sin embargo, también es importante que el CME siga estando adecuadamente hidratado para garantizar que la resistencia eléctrica interna de la pila se mantenga dentro de límites tolerables. La falta de control de la humidificación del CME lleva a puntos calientes y al fallo potencial de la pila y / o pobre rendimiento eléctrico de la pila.

30 **[0004]** Una función clave en la celda de combustible durante la reacción electroquímica entre el hidrógeno y el oxígeno es el proceso de migración de protones a través del MIP. El proceso de intercambio de protones sólo se producirá cuando el MIP en estado sólido esté suficientemente hidratado. Con agua presente insuficiente, las características de arrastre de agua de la membrana restringirán el proceso de migración de protones conduciendo a un aumento de la resistencia interna de la pila. Con la sobresaturación de la MIP hay posibilidad de que el exceso de agua «inunde» la parte del electrodo del CME y restrinja el acceso de gas a la llamada interfaz de reacción de tres fases. Ambos sucesos tienen un efecto negativo en el rendimiento global de la pila de combustible.

35 **[0005]** Aunque el agua se produce en el cátodo como parte de la reacción de la pila de combustible, es esencial mantener un equilibrio hídrico en todo el CME. Donde se introduce aire seco en la pila hay una tendencia a la creación de una desequilibrada distribución de agua por la membrana de manera que el área alrededor del orificio de entrada está más seco que en otras partes. En última instancia esto podría tensionar mecánicamente la membrana y dar lugar a distribución desigual de corriente, pudiendo ambas cosas provocar un fallo prematuro. Para contrarrestar esto, la práctica actual es pre-humidificar la corriente de aire antes de su suministro a la parte activa de la pila de combustible. Esto suma complejidad al sistema y, a menudo puede ser poco práctico para algunas aplicaciones de pilas de combustible.

45 **[0006]** En las pilas de combustible de cátodo abierto, las placas de campo de flujo de fluido del cátodo están abiertas al aire ambiente, por lo general mediante una fuente de aire a baja presión, como un ventilador, que ofrece la doble función de refrigeración del apilamiento y suministro de oxígeno. Esto permite diseñar un sistema de pila de combustible muy simple evitando las grandes pérdidas por parásitos (es decir, la fuga de energía eléctrica de los sistemas de soporte de pila de combustible) que normalmente se asocian con un apilamiento de pila de combustible que utiliza un cátodo a presión y un subsistema de humidificación. Sin embargo, el doble propósito del flujo de aire (tanto para suministro de oxígeno como de refrigeración por aire) puede conducir a un conflicto en las necesidades de flujo de aire. Un flujo de aire muy estequiométrico por los electrodos del cátodo es necesario para la refrigeración y, dependiendo de las condiciones ambientales y la temperatura del apilamiento esto puede dar lugar a un contenido bajo de agua en membrana (resultando en un rendimiento bajo) o en casos extremos, una pérdida continua neta de agua del apilamiento de pila de combustible en el tiempo que finalmente se traducirá en que la pila deja de funcionar. Esto se debe a que para un nivel establecido de salida de energía de la pila (densidad de corriente) se alcanzará un equilibrio entre el contenido de agua de las membranas de polímero de las pila de combustible y la velocidad de eliminación de agua por el flujo de aire. Una corriente más baja, alto flujo de aire y apilamiento más caliente tenderán a reducir el contenido de agua de la membrana y por el contrario una mayor corriente, bajo flujo de aire y apilamiento más frío aumentará el contenido de agua de la membrana.

[0007] Es un objeto de la presente invención proporcionar un mejor diseño de pila de combustible y una mejor estrategia de control para superar o mitigar al menos parte de los inconvenientes anteriores.

[0008] Según un aspecto, la presente invención proporciona un conjunto de pila de combustible electroquímica que comprende:

5 un apilamiento de pilas de combustible que comprende una serie de pilas de combustible cada una teniendo un conjunto membrana-electrodo y placas de flujo de fluido para el suministro de combustible y oxidante, y una salida eléctrica para el suministro de corriente desde el apilamiento, y

10 un controlador de energía de apilamiento para de forma periódica y temporal aumentar la corriente extraída del apilamiento de pila de combustible, además de o en lugar de la demanda de corriente independiente externa al conjunto de pila de combustible, durante intervalos de rehidratación para aumentar el nivel de hidratación de las pilas de combustible.

[0009] Según otro aspecto, la presente invención proporciona un conjunto de pila electroquímica de combustible que comprende:

15 un apilamiento de pila de combustible que comprende una serie de pilas de combustible cada una teniendo un conjunto membrana-electrodo y placas de flujo de fluido para suministro de combustible y oxidante, y una salida eléctrica para el suministro de corriente desde el apilamiento;

20 un controlador de apilamiento para modular el flujo de aire a través del apilamiento de pila de combustible en forma periódica independiente de la demanda de corriente en el conjunto del apilamiento de pila de combustible para proporcionar intervalos de rehidratación que aumenten el nivel de hidratación de las pilas de combustible; y

medios para mantener la demanda de corriente a una carga externa al conjunto de pila de combustible durante los intervalos de rehidratación.

[0010] Según otro aspecto, la presente invención proporciona un método de operar un conjunto de pila de combustible electroquímica que tiene un apilamiento de pila de combustible que comprende una serie de pilas de combustible cada una con un conjunto membrana-electrodo y placas de flujo de fluido para suministro de combustible y oxidante al mismo, y una salida eléctrica para suministro de corriente desde el apilamiento, el método comprendiendo las etapas de:

30 aumentar periódica y temporalmente la corriente extraída del apilamiento de pila de combustible independientemente de la demanda de corriente externa al conjunto de pila de combustible durante intervalos de rehidratación para aumentar el nivel de hidratación de las pilas de combustible; y

mantener la demanda de corriente a una carga externa al conjunto de pila de combustible durante los intervalos de rehidratación.

[0011] Según otro aspecto, la presente invención proporciona un método de operar un conjunto de pila de combustible electroquímica que tiene un apilamiento de pila de combustible que comprende una serie de pilas de combustible cada una con un conjunto membrana-electrodo y placas de flujo de fluido para suministro de combustible y oxidante al mismo, y una salida eléctrica para el suministro de corriente desde el apilamiento, el método comprendiendo las etapas de:

40 modular el flujo de aire a través del apilamiento de pila de combustible en forma periódica independiente de la demanda de corriente en el conjunto de apilamiento de pila de combustible para proporcionar intervalos de rehidratación que aumenten el nivel de hidratación de las pilas de combustible, manteniendo la demanda de corriente a una carga externa al conjunto de pila de combustible durante los intervalos de rehidratación

[0012] En un aspecto general, la invención proporciona un conjunto de pila de combustible en el que uno o más parámetros de funcionamiento, como el flujo de corriente eléctrica de, y el flujo de aire a, un apilamiento de pila de combustible dentro del conjunto se modula periódicamente durante intervalos de rehidratación para aumentar de forma intermitente los niveles de hidratación del apilamiento de pilas de combustible independientemente de una demanda de corriente eléctrica en el conjunto de pila de combustible desde una carga externa al conjunto de pila de combustible. Durante el intervalo de rehidratación, el suministro de corriente eléctrica a la carga externa se mantiene.

[0013] Las realizaciones de la presente invención se describirán ahora a modo de ejemplo y con referencia a los dibujos acompañantes en los cuales:

la figura 1 es un gráfico que muestra el potencial de pila en función del tiempo para funcionamiento convencional en estado estacionario de una pila de combustible en comparación con la operación de corriente pulsada de la pila de combustible para dos diferentes intervalos de repetición de pulso;

la Figura 2 es un gráfico que muestra el potencial de pila instantáneo y promediado en función del tiempo para funcionamiento convencional en estado estacionario de una pila de combustible en comparación con la operación de corriente pulsada,

5 la Figura 3 es un diagrama esquemático de una pila de combustible de una unidad de energía de pila de combustible electroquímica para aplicar un esquema pulsado de operación de corriente;

la Figura 4 es un gráfico que muestra la tensión del apilamiento y la corriente del apilamiento en función del tiempo antes, durante y después de un pulso de hidratación del apilamiento, y

10 la Figura 5 es un gráfico que muestra la mejora comparativa del rendimiento de la pila de combustible para la operación de corriente pulsada en (i) una pila de combustible con una sola capa difusora de cátodo, y (ii) una pila de combustible con difusor multi-capa de cátodo.

15 **[0014]** La invención propone romper temporalmente el equilibrio (como sería determinado por las condiciones de funcionamiento existentes de un apilamiento de pila de combustible) de contenido de agua en la membrana y caudal de extracción de agua para lograr una mayor eficiencia del apilamiento y del sistema. El procedimiento consiste en producir agua en exceso en el cátodo de la pila de combustible por períodos cortos de tiempo y subsiguientemente operar el apilamiento con un mayor rendimiento mientras el equilibrio con un menor contenido de agua es restablecido poco a poco. El proceso se puede repetir con ciertas frecuencias de intervalo según las necesidades.

20 **[0015]** Los cortos períodos de tiempo durante los que se produce el exceso de agua se refieren en la presente especificación como "intervalos de rehidratación", cuya expresión tiene por objeto indicar un período de tiempo en el que el conjunto de pila de combustible controla activamente su entorno operativo para aumentar intencionadamente los niveles de hidratación por encima de un nivel que existiría de otro modo en base a la carga eléctrica externa sobre la pila de combustible y sus condiciones ambientales de funcionamiento como la temperatura. Este proceso de rehidratación puede ser alcanzado por una o ambas de las siguientes técnicas:

25 a) operación de la pila de combustible a una salida de energía superior a las condiciones de funcionamiento "normales" según lo determinado por la carga aplicada externamente al conjunto de pila de combustible, por lo tanto, produciendo exceso de agua a través de la reacción electroquímica, y

b) modulación o interrupción breve de la cantidad (caudal) de aire a través de la pila de combustible para reducir al mínimo el proceso de eliminación de agua

30 **[0016]** La principal ventaja de este procedimiento es un mejor rendimiento durante las condiciones normales de funcionamiento debido a un mayor voltaje de la pila, lo que da una eficiencia energética de conversión mejorada. Esto resulta en una menor temperatura de operación del apilamiento que puede extender la esperanza de vida de la membrana. Los efectos beneficiosos del procedimiento de rehidratación descrito aquí son más evidentes durante la puesta en marcha de un conjunto de pila de combustible. Este es particularmente el caso para el acondicionamiento de una pila de combustible de nueva construcción donde el proceso de rehidratación puede mejorar la respuesta de un apilamiento de pila de combustible no acondicionada a demandas inmediatas de gran carga.

35 **[0017]** Un beneficio secundario es que permite a los apilamientos de pila de combustible refrigerados por aire (cátodo abierto) operar en una amplia gama de ambientes, especialmente en condiciones ambientales más calientes y secas. En un sistema de pila de combustible que utiliza un apilamiento de cátodo abierto, convencionalmente la única manera de ajustar el contenido de agua de la membrana de la pila de combustible es cambiar el flujo del aire emitido por el ventilador de refrigeración, donde un aumento en el flujo de aire se traducirá en una menor temperatura del apilamiento y por el contrario un flujo de aire inferior calentará el apilamiento. Sin embargo, dependiendo de la humedad del aire ambiente, cualquiera de estas acciones en realidad puede resultar en pérdida adicional de agua del apilamiento. La invención propone integrar un apilamiento de pila de combustible en un sistema con hardware y un controlador operativo para proveer rehidratación no directamente dependiente de las condiciones ambientales de operación y de carga externa a fin de mantener un rendimiento más óptimo.

45 **[0018]** El efecto de aumentar de forma periódica y temporal la corriente proveniente de una pila de combustible por encima de su carga base a una corriente más alta se muestra en la figura 1. En este caso, la pila estaba operando a una carga base de 320 mA/cm^2 . La carga base puede considerarse como la que se determina por la demanda externa de corriente en el conjunto de pila de combustible, junto con cualquier carga parasitaria continua en el apilamiento de pilas de combustible por el propio conjunto de pila de combustible (es decir, circuitos de control, ventiladores, etc). La demanda aumentada de corriente periódica y temporal en el apilamiento de pila de combustible se produjo como pulsos de corriente en los que la corriente del apilamiento se incrementó a 900 mA/cm^2 durante un intervalo de rehidratación de unos 5 segundos a intervalos de dos y cinco minutos, respectivamente. La mejora general de la eficiencia se basó en el poder calorífico inferior (PCI) de H_2 a 50 grados C y supone eficiencia cero durante el pulso de rehidratación de 5 segundos a alta carga.

55 **[0019]** Una carga base en régimen permanente de 320 mA/cm^2 resulta en un voltaje de pila de poco más de 0,65 V como se muestra por la línea 10 en la figura 1 y un PCI de 52,4%. El voltaje de pila cuando se opera con intervalos

de rehidratación de 5 segundos de duración cada 2 minutos se da según la línea 11 en la figura 1. Esto corresponde a un ciclo de trabajo de rehidratación de alrededor de 4,2% y da un PCI de 57,6%. El voltaje de pila cuando se opera con intervalos de rehidratación de 5 segundos de duración cada 5 minutos está dado por la línea 12 en la figura 1. Esto corresponde a un ciclo de trabajo de rehidratación de alrededor de 1,7% y da un PCI de 57,2%.

5 **[0020]** La escala del aumento inmediato en la tensión de pila después de intervalos de rehidratación y la decadencia siguiente es evidente en la figura 1. La mejora en el rendimiento dependerá de los factores de retención de agua de la pila de combustible, en particular las características de la membrana de polímero y de cualquier capa de difusión de gas incorporada con ella, así como la temperatura y el flujo de aire a través del apilamiento de pilas. Los intervalos de hidratación son especialmente eficaces cuando se utilizan junto con medios de difusión avanzados adyacentes al CME que colaboran en el control y la retención de los niveles de agua en la membrana. La invención es por ello particularmente ventajosa cuando se utiliza junto con estructuras de difusión multi-capas que ayudan a atrapar el agua, tales como la disposición para apilamientos de cátodo abierto descrita en la solicitud de patente del Reino Unido 0501598.7 y la correspondiente solicitud de patente internacional PCT/GB2006/000074. La Figura 5 muestra una comparación entre las mejoras de rendimiento de la pila de combustible observadas en la operación de corriente pulsada en (i) una pila de combustible con un difusor de cátodo de una sola capa, y (ii) una pila de combustible con un difusor de cátodo multi-capas. La línea superior muestra el voltaje de pila para la configuración (ii) y la línea inferior muestra el voltaje de pila para la configuración (i). Los pulsos de rehidratación tienen lugar cada diez minutos.

10 **[0021]** La figura 2 muestra el efecto sobre el voltaje de pila en tiempo real y promediado de voltaje de una pila de combustible con y sin pulsos de corriente de rehidratación. El eje del voltaje de pila representa el voltaje promedio de la pila en un apilamiento completo, es decir, el voltaje del apilamiento dividido por el número de pilas en el apilamiento. La línea recta superior 20 muestra el voltaje medio de la pila en el tiempo de poco más de 0,69 V, y la línea superior de trazos 21 muestra el voltaje instantáneo de pila, ambos cuando el apilamiento se opera con intervalos de rehidratación. La línea recta inferior 22 muestra el voltaje de la pila medio en el tiempo de poco más de 0,65 V, y la traza inferior 23 muestra el voltaje instantáneo de la pila, ambos cuando el apilamiento funciona sin intervalos de rehidratación. Cabe señalar que la traza inferior 23 exhibe cierta periodicidad en una frecuencia diferente a la de la traza superior 21 porque hay, en ambos casos, una purga periódica del ánodo para eliminar agua que se acumula en una configuración de ánodo de extremo cerrado, y ésta domina la traza inferior 23. Periódicamente, el ánodo de extremo cerrado se conmuta a configuración de extremo abierto para purgar agua del ánodo durante aproximadamente 1 segundo. Sin embargo, los efectos de los intervalos de rehidratación son muy claros a partir del significativo aumento en los voltajes medio e instantáneo 20, 21 respecto a voltajes equivalentes 22, 23 sin intervalos de rehidratación.

[0022] Utilizar el efecto de los intervalos de rehidratación en un sistema de pila de combustible requiere un sistema de control adicional como se describe en relación con la figura 3.

35 **[0023]** Un conjunto de pila de combustible electroquímica 30 comprende un apilamiento de pila de combustible 31 que tiene una serie de pilas de combustible 32 conectadas en serie. Cada pila de combustible 32 incluye un conjunto membrana-electrodo y placas de flujo de fluido para suministro de combustible y oxidante al mismo, según un diseño convencional de apilamiento de pila de combustible. Una salida eléctrica 33 provee suministro de corriente eléctrica desde el apilamiento 31. Un sistema de enfriamiento 34, como un ventilador, proporciona tanto flujo de aire de refrigeración como oxígeno a las placas de flujo. La energía del conjunto de pila de combustible 30 se suministra a una carga externa 41 por terminales de salida externa de energía 35 a través de relés 42 y 43.

40 **[0024]** Una carga eléctrica interna 36 es conmutable por el conmutador 37 bajo el control de un regulador de energía 38, para de forma periódica y temporal aumentar la corriente extraída del apilamiento de pila de combustible 31. Una fuente de energía auxiliar o "depósito" 39 está conectada a los terminales de salida 35, a través del relé 43, para suministrar energía a los terminales de salida de potencia 35 en momentos en que el apilamiento de pila de combustible 31 se conmuta para alimentar la carga interna 36. El circuito de control de carga 40 y el sistema de enfriamiento 34 también pueden estar bajo el control del regulador de energía 38. La fuente de alimentación de reserva 39 es preferentemente una batería recargable, pero cualquier otra forma de dispositivo de almacenamiento de carga adecuado se puede utilizar, como supercondensadores. El circuito de control de carga 40 es preferiblemente un convertidor CC / CC.

[0025] En uso, el apilamiento de pila de combustible 31 está normalmente conmutado para suministrar la carga externa 41, y la carga interna 36 y la fuente de alimentación de reserva 39 están aisladas eléctricamente del apilamiento de pila de combustible 31 y de los terminales de salida de energía 35.

55 **[0026]** Sin embargo, durante los intervalos de rehidratación, el regulador de energía 38 abre el relé 42 y opera el conmutador 37 de modo que la fuente de alimentación depósito 39 está aislada del apilamiento de pila de combustible 31 y la corriente desde el apilamiento de pila de combustible 31 se desvía a la carga interna 36. Para evitar interrupción de energía a la carga externa 41, al mismo tiempo, el regulador de la energía 38 mantiene el relé 43 en una condición cerrada para mantener la continuidad eléctrica entre la fuente de alimentación "depósito" 39 y los terminales de salida de potencia 35 suministrando así la carga externa 41. Al final de un intervalo de

rehidratación, el controlador 38 acciona el interruptor 37 y el relé 42 para aislar la carga interna 36 del apilamiento de pila de combustible 31 y volver a conectar la pila de combustible a los terminales de salida 41. En este momento, la fuente de alimentación de reserva 39 preferentemente permanece conectada para que pueda ser recargada por corriente del apilamiento de pila de combustible 31. Después de un período de carga adecuado, el circuito de control de carga de 40 puede operar para aislar la fuente de alimentación depósito 39 usando un tercer relé 44. Alternativamente, la fuente de alimentación depósito 39 podría simplemente permanecer conectada en todo momento.

[0027] Por lo tanto, se entenderá que el apilamiento de pila de combustible 31 es la fuente principal de energía pero, durante el intervalo de rehidratación, la batería 39 es el único proveedor de energía a la carga externa 41. Cuando el apilamiento de pila de combustible 31 vuelve a estar en línea, es capaz de recargar completamente la batería 39 y a medida que la batería se acerca al estado de plena carga la corriente hacia ella disminuirá.

[0028] Varias modificaciones se pueden hacer a esta disposición. Por ejemplo, el conmutador 37 no tiene por qué ser de la variedad bipolar si no es necesario aislar el apilamiento de pila de combustible 31 y la carga interna 36 de la carga externa 41 durante el intervalo de rehidratación. En otras palabras, siempre que la potencia necesaria pueda todavía ser suministrada a la carga externa 41 durante un intervalo de rehidratación, en principio la carga interna 36 se puede simplemente agregar a la carga externa 41 en paralelo durante el intervalo de rehidratación. En este caso, una fuente de alimentación depósito 39 podría no ser estrictamente necesaria ya que la corriente se mantiene desde el apilamiento de pila de combustible 31 a la carga externa 41, incluso durante el intervalo de rehidratación. Del mismo modo, los terminales de salida de potencia 35 podría estar directamente conectados con el apilamiento de pila de combustible 31; la carga interna 36 conmutada y no conmutada en un primer circuito paralelo según se requiera, y la fuente de alimentación depósito conmutada y no conmutada con control de carga en un segundo circuito paralelo, según sea necesario.

[0029] Así, en un aspecto general, se reconocerá que el regulador de energía del apilamiento 38 puede usar la carga interna 36 para periódica y temporalmente aumentar la corriente extraída de la pila de combustible además o en lugar de la demanda de corriente independiente externa al conjunto de pila de combustible durante los intervalos de rehidratación. Si es necesario, un dispositivo de control de energía se podría utilizar para conmutar la carga interna 36 en una forma controlada para evitar grandes transitorios de conmutación.

[0030] También pueden ser aplicados intervalos de rehidratación usando una reducción temporal y periódica del flujo de aire a los cátodos del apilamiento de pila de combustible 31. Así, el regulador de energía 38 puede ser configurado para reducir potencia al ventilador de refrigeración 34 durante un intervalo de rehidratación. Preferiblemente, el ventilador de refrigeración se apaga durante el intervalo de rehidratación.

[0031] Así, en un aspecto general, el regulador de energía del apilamiento 38 puede modular el flujo de aire a través del apilamiento de pila de combustible 31 en base periódica independiente de la demanda de corriente eléctrica en el apilamiento de pila de combustible para proporcionar intervalos de rehidratación que aumentan el nivel de hidratación de las pilas de combustible. La expresión "independiente" en este contexto tiene por objeto indicar independencia de cambios inmediatos o transitorios en la carga eléctrica externa 41 en el conjunto de pila de combustible 30.

[0032] Tanto la modulación del flujo de aire como la carga aumentada pueden ser utilizadas para los fines de aplicación de intervalos de rehidratación. El gráfico de la figura 4 ilustra los perfiles de voltaje y corriente para esta operación. La traza superior 50 representa voltaje del apilamiento en función del tiempo, y la traza inferior 51 representa la corriente del apilamiento en función del tiempo.

[0033] Durante el período de tiempo 52 ($t = 0$ a 6 segundos), se ilustra el funcionamiento normal de la pila de combustible. Durante el siguiente período de tiempo 53 ($t = 6$ - 10 segundos), los ventiladores de refrigeración 34 que proporcionan el flujo de aire del cátodo se apagan provocando un aumento de la temperatura del apilamiento. Hacia el final de este período de tiempo, se observa una pequeña reducción en el voltaje de la pila, con un correspondiente pequeño aumento en la corriente para mantener potencia constante, debido a limitaciones de transporte masivo. En el punto donde la entrada de tensión al convertidor CC / CC 40 se aproxima a la de la tensión en bornes de la batería 39, la corriente de la pila de combustible se reduce a cero. En este caso, el suministro de potencia a los terminales de salida 35 se suplementará por la batería 39.

[0034] La salida desde el apilamiento de pila de combustible 31 es entonces aislada abriendo el relé 42 con carga electrónica mínima dejando a la batería 39 proporcionar la alimentación continua a la aplicación (por ejemplo, carga externa 41), evidenciado por la caída a cero de la corriente en el período de tiempo 54 ($t \sim 10$ a 11 segundos). En el tiempo $t = 11$ segundos, la resistencia de carga interna 36 se conecta a través de los terminales 33 del apilamiento de pila de combustible 31, como lo demuestra el pico 55. Esta carga eléctricamente el apilamiento de pila de combustible 31 adicionalmente por un periodo de tiempo controlado, en concreto un intervalo de corriente alta 56 ($t \sim 11$ - 12 segundos).

[0035] Durante este intervalo de corriente alta 56, el oxidante restante dentro de los canales de flujo de fluido del apilamiento de pila de combustible 31 es consumido y la tensión en los terminales del apilamiento baja a 0 V. Sin los

5 ventiladores 34 extrayendo el subproducto agua, se mantiene exceso de agua en la interfaz CME / capa de difusión de gas de cada pila 31. Después del intervalo de corriente alta 56, el apilamiento de pila de combustible 31 está aislado de toda carga eléctrica durante el intervalo de aislamiento 57 ($t = 12$ a 16 segundos). Durante este intervalo de aislamiento, el flujo de corriente es cero y el voltaje del apilamiento 50 se recupera a un máximo en el punto 58 ($t = 16$ segundos). Durante un intervalo de tiempo de reconexión 59 ($t \sim 16 - 18$ segundos), la energía del apilamiento 31 se pone nuevamente en línea de una manera controlada usando el control digital en el convertidor CC / CC 40 para aumentar gradualmente el valor de ajuste del límite de corriente. En el punto 60, la pila de combustible está totalmente en línea y comienza a recargar la batería 39 (en $t = 18$ segundos). La pila de combustible recarga la batería, así como suministra energía a la carga externa 41 durante el siguiente período de tiempo 61. La corriente cae gradualmente a medida que la batería 39 se aproxima al estado de carga completo.

10 **[0036]** Después de un intervalo de tiempo adecuado, por ejemplo: entre 2 y 5 minutos, se inicia la operación de rehidratación siguiente (no se muestra en la figura 4). Se puede utilizar cualquier intervalo de tiempo conveniente que sea eficaz para proporcionar un aumento medio útil de la tensión de la pila. Dependiendo de las condiciones ambientales, tales como la temperatura y la humedad, y de si la pila de combustible funciona bajo una carga constante fija o variable, el intervalo de tiempo puede ser tan corto como 1 minuto o hasta 2 horas, por ejemplo.

15 **[0037]** La frecuencia óptima de las operaciones de rehidratación puede depender de una serie de factores, incluyendo condiciones atmosféricas tales como temperatura y humedad. Cuando se utiliza una capa de difusión de gas multi-capas del cátodo, puede haber un aumento significativamente mayor del rendimiento electroquímico y un período más largo de tiempo para que el rendimiento de la pila de combustible vuelva a un nivel equilibrado en comparación con disposiciones de difusión de gas de una sola capa. Este es también el caso para el uso de la técnica con apilamientos de cátodo abierto frente a cátodos convencionales presurizados donde, en el último caso, el encauzamiento forzado del flujo de aire elimina rápidamente el exceso de agua.

20 **[0038]** Preferentemente, las operaciones de rehidratación se aplican automáticamente en forma periódica fija. Sin embargo, se entenderá que un algoritmo de control adicional puede ser usado para conmutar el conjunto de pila de combustible 30 entre un modo normal en el que no se llevarán a cabo las operaciones de rehidratación, y un modo de rehidratación en el que se llevan a cabo las operaciones temporales y periódicas de rehidratación. La periodicidad de las operaciones de rehidratación puede ser controlada de acuerdo con algunos parámetros medibles de funcionamiento del apilamiento, tales como la temperatura promedio, humedad, perfil de tensión, perfil de corriente y demanda de energía, etc. El ciclo de trabajo de los intervalos de rehidratación puede ser controlado de acuerdo con algunos parámetros de funcionamiento mensurables del apilamiento tales como temperatura media, humedad, perfil de tensión, perfil de corriente y demanda de energía, etc. Preferiblemente, se extrae corriente cero en el intervalo de aislamiento 57, pero se entiende que se puede extraer una corriente baja. En algunas realizaciones, el intervalo de aislamiento podría no ser necesario.

25 **[0039]** Otras realizaciones están intencionalmente en el ámbito de las reivindicaciones acompañantes.

35

REIVINDICACIONES

1. Un conjunto de pila de combustible electroquímica (30) que comprende:
 - 5 un apilamiento de pila de combustible (31) que comprende una serie de pilas de combustible (32) cada una con un conjunto membrana-electrodo y placas de flujo de fluido para suministro de combustible y oxidante al mismo, y una salida eléctrica (33) para suministro de corriente desde el apilamiento;
 - 10 un regulador de apilamiento (38) adaptado para modular el flujo de aire a través del apilamiento de pila de combustible (31) en base periódica independiente de la demanda de corriente en el conjunto de apilamiento de pila de combustible para proporcionar intervalos de rehidratación que aumentan el nivel de hidratación de las pilas de combustible; y
 - medios adaptados para mantener la demanda de corriente para una carga externa en el conjunto de apilamiento de pila de combustible durante los intervalos de rehidratación.
2. El conjunto (30) de la reivindicación 1 en donde el regulador de apilamiento (38) es un regulador de energía de apilamiento que además comprende un dispositivo de carga conmutable (36), el regulador de energía de apilamiento adaptado para aumentar periódica y temporalmente la corriente extraída del apilamiento de pila de combustible, además de o en lugar de, la demanda de corriente independiente externa al conjunto de pila de combustible, pasando corriente del apilamiento de pila de combustible a través del dispositivo de carga conmutable durante intervalos de rehidratación para aumentar el nivel de hidratación de las células de combustible.
- 20 3. El conjunto de la reivindicación 2 que incluye además una fuente de alimentación de reserva (39), acoplada a terminales externos de salida de energía (35) del conjunto de pila de combustible (30), en el que el regulador de energía de apilamiento (38) está adaptado para aislar eléctricamente la salida eléctrica (33) del apilamiento de pila de combustible (31) de los terminales externos de salida de energía (35) durante los intervalos de rehidratación.
- 25 4. El conjunto de la reivindicación 1 que incluye además una fuente de alimentación de reserva (39), acoplada a terminales externos de salida de energía (35) del conjunto de pila de combustible (30), y un dispositivo de control de carga (40) para controlar el suministro de corriente a los terminales externos de salida de energía de uno o ambos de la fuente de alimentación de reserva y el apilamiento de pila de combustible (31).
- 30 5. El conjunto de la reivindicación 3 o reivindicación 4 en el que la fuente de alimentación de reserva (39) es una batería recargable.
6. El conjunto de la reivindicación 1 en la cual el regulador de energía del apilamiento (38) está adaptado para aplicar los intervalos de rehidratación a intervalos regulares.
7. El conjunto de la reivindicación 1 o reivindicación 6 en el que el regulador de energía del apilamiento (38) está adaptado para aplicar los intervalos de rehidratación en respuesta a un parámetro del apilamiento de pila de combustible que está dentro de unos criterios de umbral.
- 35 8. El conjunto de la reivindicación 2 en el que el regulador de energía del apilamiento (38) está adaptado para aplicar intervalos de rehidratación que incluyen cada uno un intervalo de corriente alta en el que la corriente extraída del apilamiento de pila de combustible es mayor que la demanda de corriente de funcionamiento normal y un intervalo de aislamiento en el que la corriente extraída de la pila de combustible es menor que la demanda de corriente de funcionamiento normal.
- 40 9. El conjunto de la reivindicación 8, en el que el regulador (38) está adaptado para aislar eléctricamente el apilamiento de pila de combustible (31) durante el intervalo de aislamiento.
10. El conjunto de la reivindicación 4, en el que el dispositivo de control de carga (40) está adaptado para suministrar energía en rampa ascendente desde el apilamiento de pila de combustible a los terminales de salida de energía externa (35) tras el intervalo de rehidratación.
- 45 11. Un método de operación de un conjunto de pila de combustible electroquímica (30) que tiene un apilamiento de pila de combustible (31) que comprende una serie de pilas de combustible (32) cada una con un conjunto membrana-electrodo y placas de flujo de fluido para suministro de combustible y oxidante al mismo, y una salida eléctrica (33) para suministro de corriente desde el apilamiento, el método comprendiendo las etapas de:
 - 50 modular el flujo de aire a través del apilamiento de pila de combustible sobre una base periódica independiente de la demanda de corriente en el conjunto de apilamiento de pila de combustible para proporcionar intervalos de rehidratación que aumentan el nivel de hidratación de las pilas de

combustible mientras se mantiene la demanda de corriente para una carga (41) externa al conjunto de pila de combustible (30) durante los intervalos de rehidratación.

12. El método de la reivindicación 11 en el que la etapa de mantener la demanda de corriente durante intervalos de rehidratación comprende usar una fuente de alimentación de reserva (39).

5 13. El método de la reivindicación 12 que además incluye los pasos de:

aumentar periódica y temporalmente la corriente extraída del apilamiento de pilas de combustible independientemente de la demanda de corriente externa al conjunto de pila de combustible durante intervalos de rehidratación para aumentar el nivel de hidratación de las pilas de combustible pasando corriente del apilamiento de pila de combustible a través de un dispositivo de carga conmutable (36) dentro del conjunto de pila de combustible; y

10 mantener la demanda de corriente para una carga (41) externa al conjunto de pila de combustible (30) durante los intervalos de rehidratación.

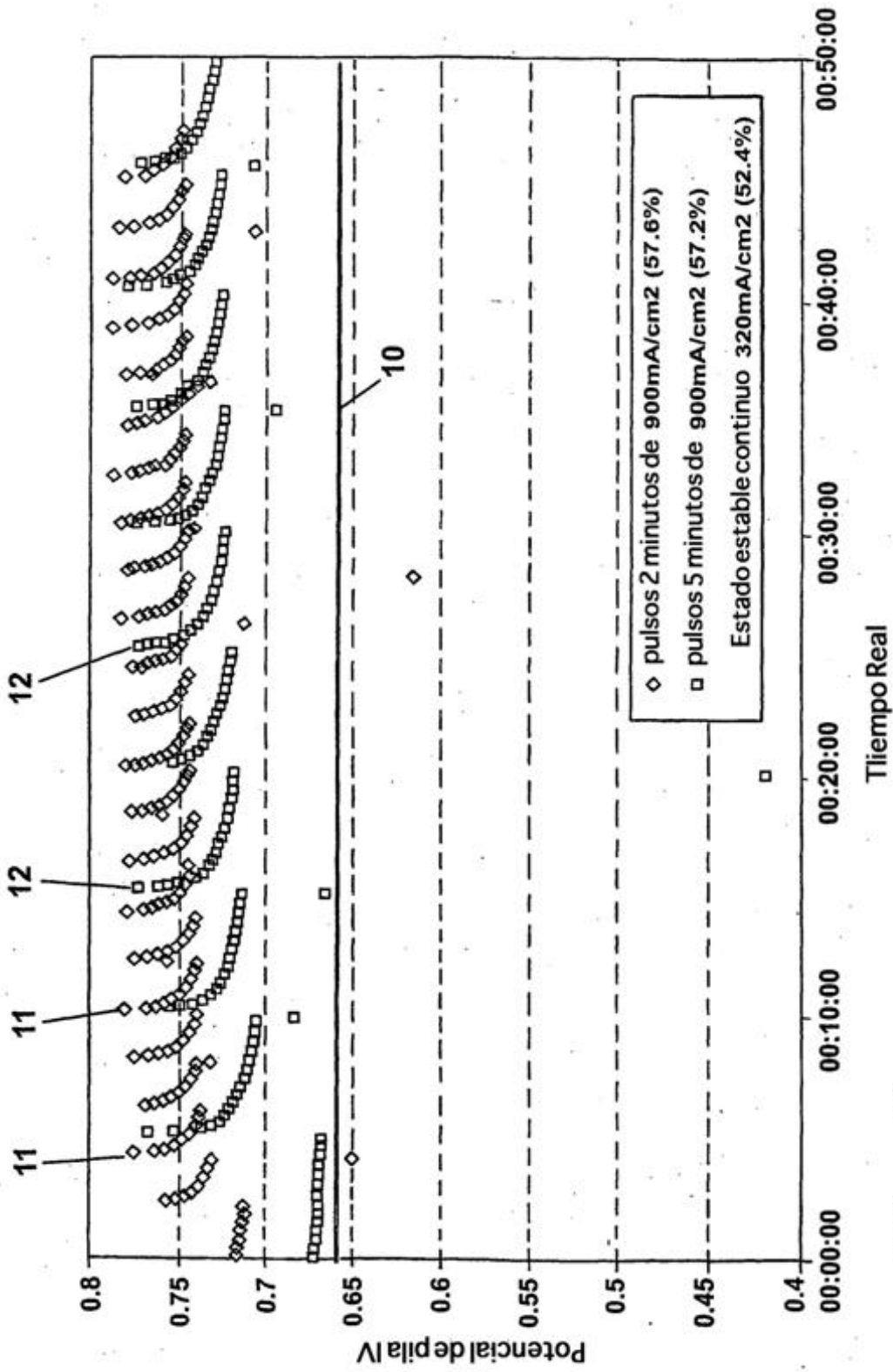


Fig. 1

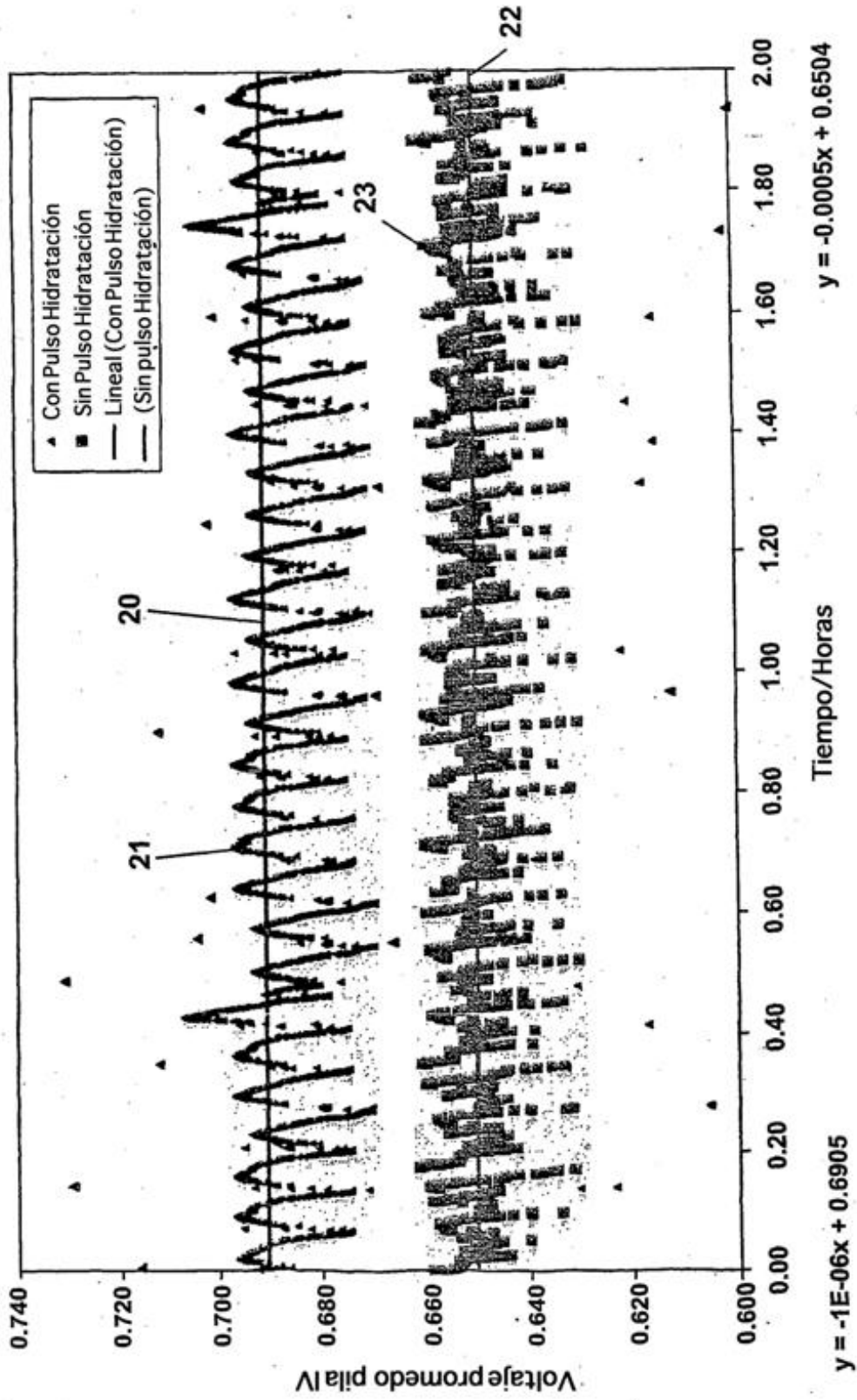


Fig. 2

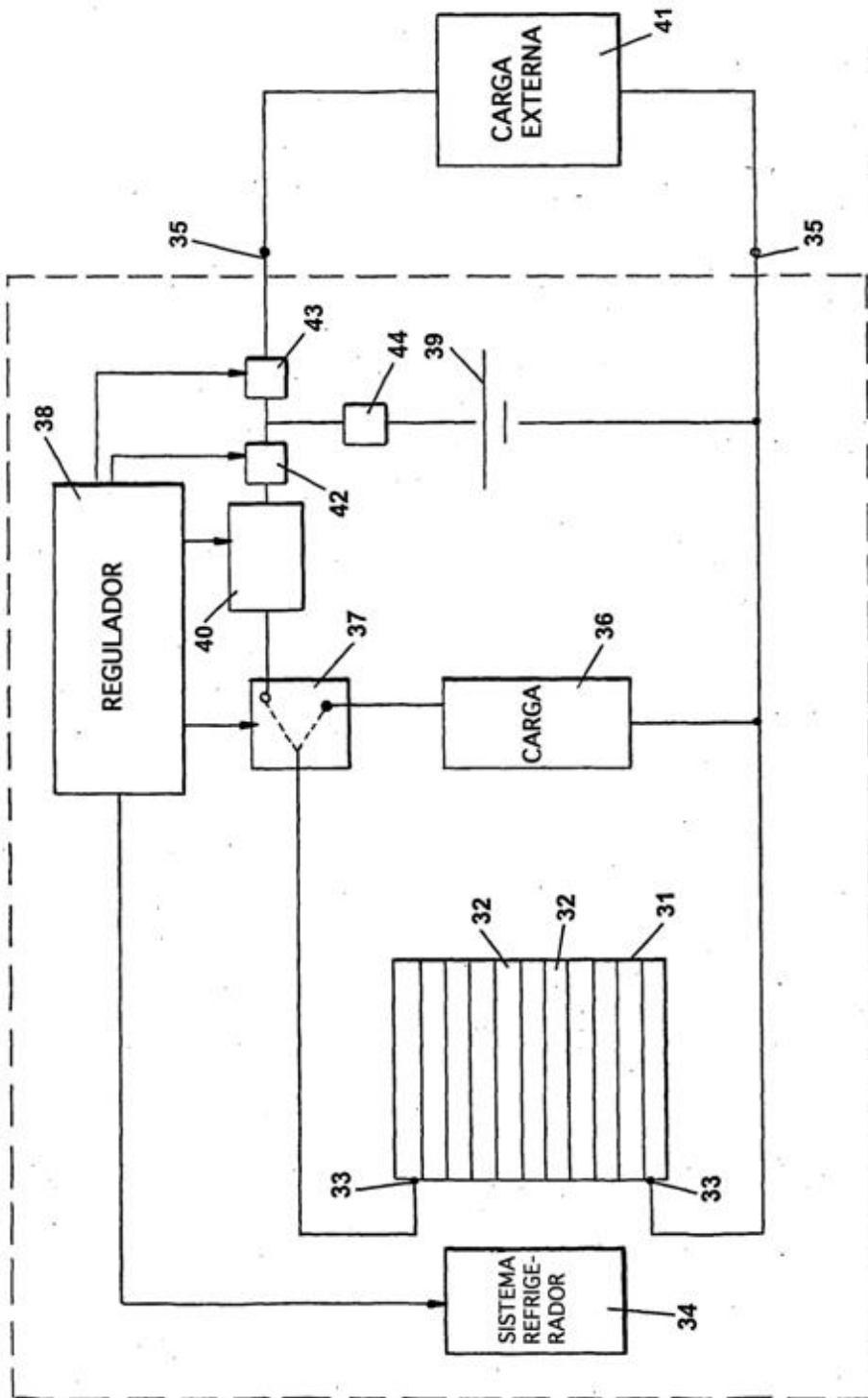


Fig. 3

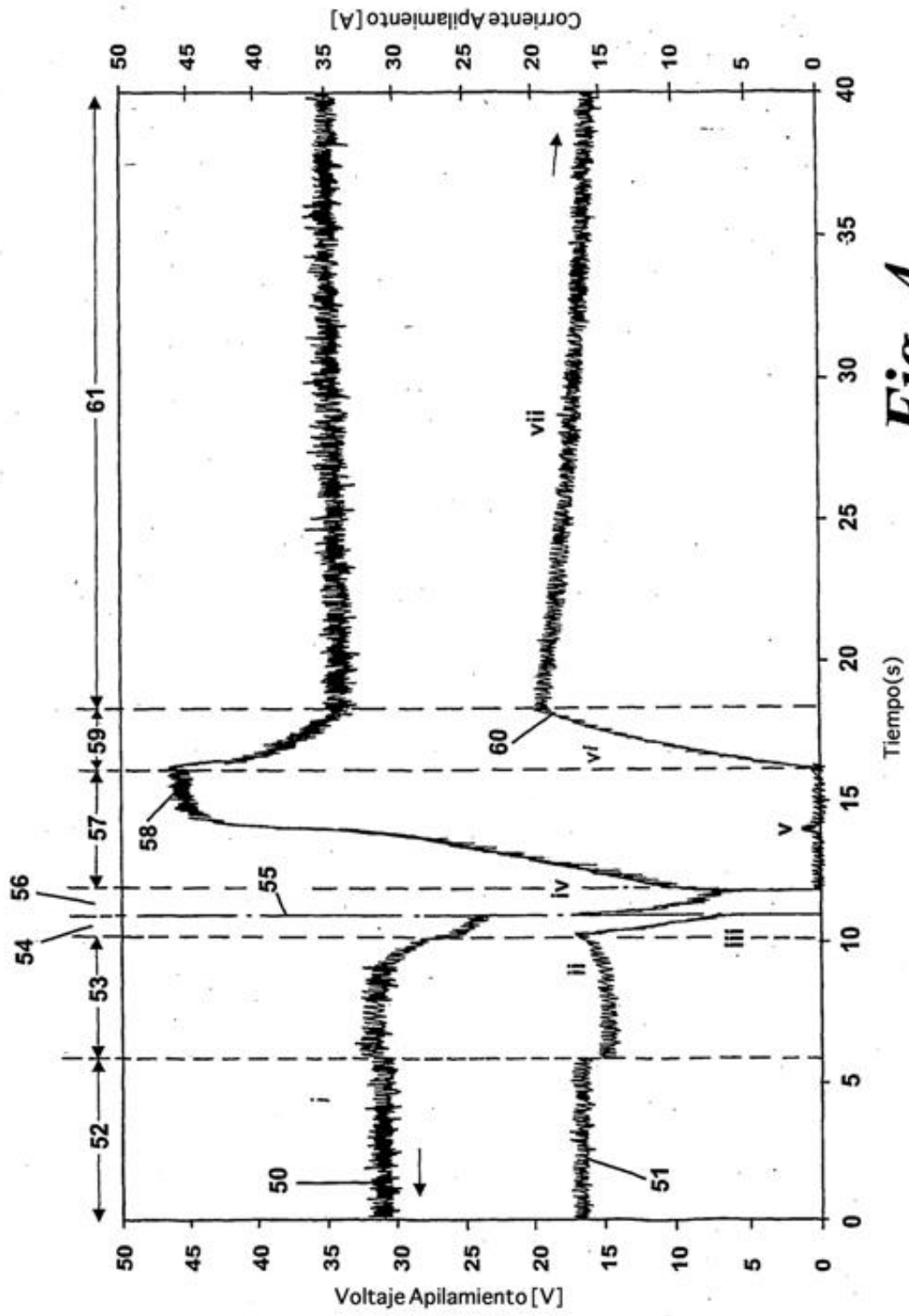


Fig. 4

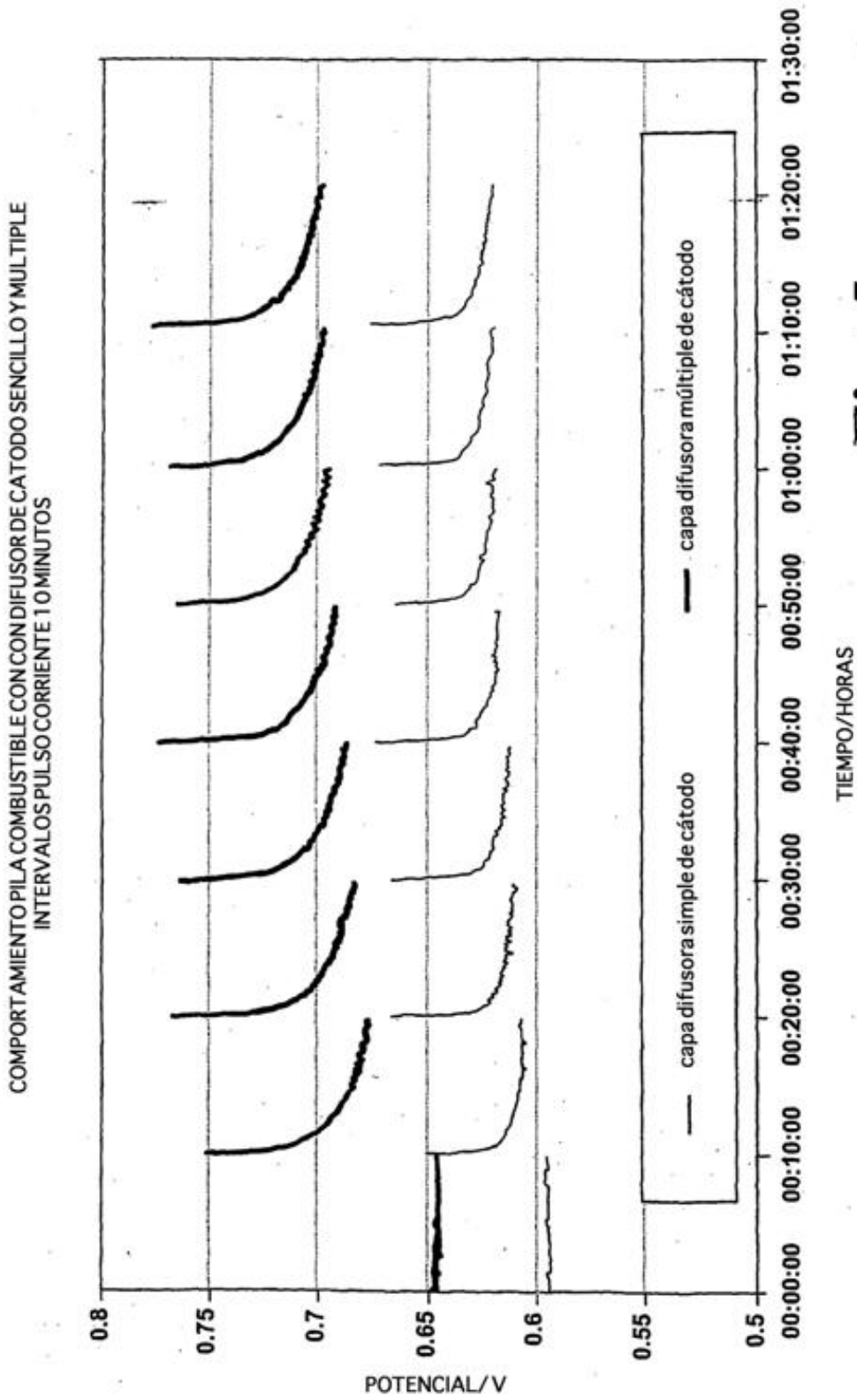


Fig. 5