

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 610 552**

51 Int. Cl.:

<b>H01M</b>	(2006.01)
<b>H01M</b>	(2006.01)
<b>H01M</b>	(2006.01)
<b>H01M</b>	(2006.01)
<b>H01M</b>	(2006.01)
<b>H01M</b>	(2006.01)
<b>H01M</b>	(2006.01)
<b>H01M</b>	(2006.01)
<b>H01M 8/1018</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.05.2011 PCT/IB2011/001478**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **01.12.2011 WO11148265**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.05.2011 E 11730747 (0)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.10.2016 EP 2577783**

54 Título: **Sistema de pila de combustible y método de control del mismo**

30 Prioridad:

**06.10.2010 JP 2010226568**  
**25.05.2010 JP 2010119448**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**28.04.2017**

73 Titular/es:

**TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA (100.0%)**  
**1, Toyota-cho, Toyota-shi**  
**Aichi-ken, 471-8571, JP**

72 Inventor/es:

**KAWAHARA, SHUYA;**  
**KATO, MANABU y**  
**KUMEI, HIDEYUKI**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 610 552 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**

Sistema de pila de combustible y método de control del mismo

5 Antecedentes de la invención

1. Campo de la invención

La invención se refiere a una pila de combustible.

10

2. Descripción de la técnica relacionada

Una pila de combustible posee habitualmente una estructura de pila en la cual una pluralidad de pilas unitarias que sirven como elementos de generación de energía se apila. Los gases de reacción fluyen en pasos de flujo de gas, proporcionados para cada pila unitaria, a través de colectores respectivos y se suministran a una sección de generación de energía de cada pila unitaria. No obstante, si los pasos de flujo de gas de una parte de las pilas unitarias están bloqueados por el contenido en agua congelada, o similares, las cantidades de gases de reacción suministrados a la parte de las pilas unitarias resultan insuficientes, de modo que la parte de las pilas unitarias pueden generar posiblemente una tensión negativa. De esta manera, cuando el funcionamiento de la pila de combustible se continúa en un estado en el que parte de las pilas unitarias generan una tensión negativa, no solo se deteriora en general el rendimiento de generación de energía de la pila de combustible, sino también los electrodos de esas pilas unitarias pueden degradarse probablemente. Hasta ahora se han sugerido varias técnicas de supresión del deterioro del rendimiento de generación de energía de una pila de combustible o degradación de una pila de combustible debido a dicha tensión negativa (véanse, la publicación de la solicitud de patente japonesa n.º 2006-179389 (JP-A-2006-179389), la publicación de solicitud de patente japonesa n.º 2007-035516 (JP-A-2007-035516), el documento WO 2008/132565, y similares).

15

20

25

Sumario de la invención

30

La invención proporciona una técnica de supresión del deterioro del rendimiento y la degradación de una pila de combustible debido a una tensión negativa.

La invención se contempla para resolver, al menos, parte de los problemas descritos anteriormente, y puede implementarse como las siguientes realizaciones o realizaciones alternativas.

35

Un aspecto de la invención proporciona un sistema de pila de combustible que produce energía eléctrica generada en respuesta a una petición procedente de una carga externa. El sistema de pila de combustible incluye: una pila de combustible que posee al menos un elemento de generación de energía; una unidad de detección de tensión negativa que está configurada para detectar una tensión negativa en al menos un elemento de generación de energía; una unidad de control que está configurada para controlar una salida de energía eléctrica de la pila de combustible; y una unidad de medición del valor de corriente acumulado que está configurada para medir un valor de corriente acumulado que se obtiene por una integración en el tiempo de salida de corriente de la pila de combustible, en el que la unidad de control está configurada para memorizar previamente una correlación entre los valores de corriente acumulados aceptables en un periodo durante el cual se genera una tensión negativa en al menos un elemento de generación de energía y las densidades de corriente aceptables en el periodo, y cuando se ha detectado una tensión negativa en al menos un elemento de generación de energía, la unidad de control se configura para ejecutar un proceso de restricción de salida que restringe la salida de energía eléctrica de la pila de combustible de manera que caiga dentro de una amplitud de funcionamiento aceptable definida por los valores de corriente acumulados aceptables y las densidades de corriente aceptables de la correlación. En este caso, los inventores de la invención hallaron que, en un elemento de generación de energía en el cual se genera una tensión negativa, el momento en el que comienza la oxidación del electrodo y el rendimiento de generación de energía comienza a disminuir pueden definirse por la salida de corriente de la pila de combustible en un periodo durante el cual se genera una tensión negativa y un valor de corriente acumulado que se obtiene por una integración en el tiempo de la corriente. Con el sistema de pila de combustible así configurado, cuando se genera una tensión negativa, la salida de energía eléctrica de la pila de combustible se restringe de manera que caiga dentro de la amplitud de funcionamiento aceptable preestablecida definida por los valores de corriente acumulados aceptables y las densidades de corriente aceptables. Por consiguiente, preestableciendo la amplitud de funcionamiento aceptable que no causa deterioro en el rendimiento del elemento de generación de energía en el que se genera una tensión negativa, es posible suprimir el deterioro en el rendimiento de la pila de combustible debido a la tensión negativa, y suprimir la oxidación del electrodo (degradación del electrodo).

40

45

50

55

60

Además, en el sistema de pila de combustible, cuando se muestra la correlación por un gráfico cuyo primer eje representa un valor de corriente acumulado de la pila de combustible y un segundo eje representa una densidad de corriente de la pila de combustible, la correlación puede mostrarse como una curva convexa descendente, en la cual la densidad de corriente aceptable disminuye a medida que el valor de corriente acumulado aceptable aumenta. Con el sistema de pila de combustible anterior, en la correlación entre los valores de corriente acumulados y las

65

densidades de corriente, memorizados en la unidad de control, la amplitud de funcionamiento aceptable puede establecerse en una amplitud apropiada que no cause deterioro en el rendimiento del elemento de generación de energía en el cual se genera una tensión negativa. Por consiguiente, es posible suprimir de modo apropiado el deterioro en el rendimiento y la degradación de la pila de combustible debido a la tensión negativa.

5 Además, en el sistema de pila de combustible, en el proceso de restricción de salida, la unidad de control puede configurarse para disminuir la densidad de corriente de la pila de combustible a lo largo de la curva convexa descendente, que indica valores máximos de las densidades de corriente aceptables, con un aumento en el valor de corriente acumulado. Con el sistema de pila de combustible anterior, cuando se genera una tensión negativa, es posible restringir la salida de energía eléctrica de la pila de combustible a lo largo de los valores limítrofes (valores límite aceptables) de la amplitud de funcionamiento aceptable. Por consiguiente, es posible suprimir el deterioro en el rendimiento y la degradación de la pila de combustible debido a la tensión negativa mientras se suprimen las restricciones excesivas en la salida de energía eléctrica de la pila de combustible.

15 Además, el sistema de pila de combustible puede incluir adicionalmente: una unidad de regulación del estado de funcionamiento que está configurada para incluir al menos una de una unidad de humidificación que controla una cantidad de humidificación del gas de reacción suministrado a la pila de combustible a fin de regular un estado húmedo en el interior de la pila de combustible y una unidad de suministro de fluido refrigerante que controla un caudal del fluido refrigerante suministrado a la pila de combustible a fin de regular una temperatura de funcionamiento de la pila de combustible; y una unidad de modificación de correlación que está configurada para modificar la correlación en respuesta a, al menos, uno del estado húmedo en el interior de la pila de combustible y la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible, en la que, cuando una densidad de corriente correspondiente a una corriente de salida requerida para la carga externa en un periodo durante el cual se genera una tensión negativa en al menos un elemento de generación de energía es superior a un valor predeterminado, la unidad de control puede configurarse para llevar a la unidad de regulación del estado de funcionamiento a regular al menos uno del estado húmedo en el interior de la pila de combustible y la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible, de modo que expanda la amplitud de funcionamiento aceptable de manera tal que la correlación sea modificada por la unidad de modificación de correlación. En este caso, la correlación entre los valores de corriente acumulados y las densidades de corriente aceptables para la pila de combustible en un periodo durante el cual se genera una tensión negativa varía en función de un estado húmedo en el interior de la pila de combustible o de una temperatura de funcionamiento de la pila de combustible. Con el sistema de pila de combustible así configurado, incluso cuando la corriente requerida para la pila de combustible caiga fuera de la amplitud de funcionamiento aceptable de la pila de combustible, la corriente requerida puede ser llevada dentro de la amplitud de funcionamiento aceptable de manera tal que al menos uno del estado húmedo en el interior de la pila de combustible y de la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible se regula para expandir la amplitud de funcionamiento aceptable.

Además, en el sistema de pila de combustible, cuando se completa el proceso de restricción de salida, la unidad de control puede configurarse para memorizar de manera no volátil un valor de corriente acumulado de la salida de corriente de la pila de combustible en el proceso de restricción de salida, y cuando se reanuda el proceso de restricción de salida, la unidad de control puede configurarse para ejecutar el proceso de restricción de salida empleando un valor de corriente acumulado total que se obtiene añadiendo el valor de corriente acumulado memorizado y un valor de corriente acumulado de la salida de corriente de la pila de combustible después de haber reanudado el proceso de restricción de salida. Con el sistema de pila de combustible anterior, se registra un valor de corriente acumulado incluso después de reiniciar el sistema de pila de combustible. Por lo tanto, incluso cuando el proceso de restricción de corriente se ejecuta de nuevo después de reiniciar el sistema de pila de combustible, el proceso de restricción de corriente se ejecuta empleando el valor de corriente acumulado total que se acumula a partir del valor de corriente acumulado registrado.

50 Además, el sistema de pila de combustible puede incluir adicionalmente una unidad de advertencia que está configurada para advertir a un usuario sobre la degradación de la pila de combustible, en el que la unidad de control puede configurarse para memorizar previamente un valor límite inferior de la densidad de corriente de la pila de combustible, y cuando la densidad de corriente de la pila de combustible es inferior al valor límite inferior en el proceso de restricción de salida, la unidad de control puede configurarse para llevar a la unidad de advertencia a advertir al usuario sobre la degradación de la pila de combustible. Con el sistema de pila de combustible anterior, cuando la pila de combustible no se ha recuperado de la tensión negativa pero el valor límite inferior preestablecido de la densidad de corriente de la pila de combustible se ha alcanzado durante el proceso de restricción de salida, se advierte al usuario sobre la degradación de la pila de combustible. Por consiguiente, el usuario es capaz de conocer apropiadamente el momento en el que la pila de combustible debe preservarse.

60 Además, el sistema de pila de combustible puede incluir adicionalmente: una unidad de suministro de fluido refrigerante que está configurada para suministrar fluido refrigerante a la pila de combustible para controlar una temperatura de la pila de combustible; y una unidad de medición de temperatura que está configurada para medir una temperatura de funcionamiento de la pila de combustible, en el que, en el proceso de restricción de salida, la unidad de control puede configurarse para obtener un valor calorífico estimado que es un valor calorífico de la pila de combustible cuando se lleva a la pila de combustible a producir energía eléctrica en una densidad de corriente en

base a un valor de señal de control de densidad de corriente para la pila de combustible, y para controlar una cantidad del fluido refrigerante suministrado a la pila de combustible por la unidad de suministro de fluido refrigerante basándose en la temperatura de funcionamiento medida por la unidad de medición de temperatura y el valor calorífico estimado. Con el sistema de pila de combustible anterior, incluso cuando la salida de energía eléctrica de la pila de combustible se restringe al ejecutar el proceso de restricción de salida, el caudal del fluido refrigerante suministrado se controla apropiadamente, de manera que se facilita un aumento en la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible mientras se ejecuta el proceso de restricción de salida. Por consiguiente, es muy probable que la pila de combustible se recupere del estado de tensión negativa.

En el sistema de pila de combustible, en el proceso de restricción de salida, la unidad de control puede configurarse para emplear el valor calorífico estimado y la temperatura de funcionamiento medida por la unidad de medición de temperatura para calcular un aumento de temperatura estimado de la pila de combustible cuando se lleva a la pila de combustible a producir energía eléctrica durante un periodo predeterminado mientras la pila de combustible recibe el fluido refrigerante, y cuando el aumento de temperatura estimado es inferior o igual a un umbral predeterminado, la unidad de control puede configurarse para llevar a la pila de combustible a generar energía eléctrica en un estado en el que se lleva a la unidad de suministro de fluido refrigerante a detener el suministro del fluido refrigerante en la pila de combustible. Con el sistema de pila de combustible anterior, cuando es difícil llevar la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible a un valor diana puesto que la salida de energía eléctrica de la pila de combustible se restringe a través del proceso de restricción de salida, el suministro de fluido refrigerante a la pila de combustible se detiene. Por consiguiente, se facilita un aumento en la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible mientras se ejecuta el proceso de restricción de salida, de modo que es muy probable que la pila de combustible se recupere del estado de tensión negativa.

Además, en el sistema de pila de combustible, en el proceso de restricción de salida, cuando una tasa de aumento de la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible es inferior a un umbral preestablecido, la unidad de control puede configurarse para llevar a la pila de combustible a generar energía eléctrica en un estado en el que se lleva a la unidad de suministro de fluido refrigerante a detener el suministro de fluido refrigerante en la pila de combustible. Con el sistema de pila de combustible anterior, cuando la tasa de aumento de la temperatura de la pila de combustible no ha alcanzado un valor diana de acuerdo con la temperatura de funcionamiento medida propiamente de la pila de combustible mientras se ejecuta el proceso de restricción de salida, el suministro de fluido refrigerante a la pila de combustible se detiene. Por consiguiente, se facilita un aumento en la temperatura de la pila de combustible mientras se ejecuta el proceso de restricción de salida, de modo que es muy probable que la pila de combustible se recupere del estado de tensión negativa.

Otro aspecto de la invención proporciona un método de control para un sistema de pila de combustible que produce energía eléctrica generada por una pila de combustible que posee al menos un elemento de generación de energía en respuesta a una petición procedente de una carga externa. El método de control incluye: la detección de una tensión negativa en al menos un elemento de generación de energía; la medición de un valor de corriente acumulado que se obtiene por una integración en el tiempo de la salida de corriente de la pila de combustible en un periodo durante el cual se genera una tensión negativa en al menos un elemento de generación de energía; la consulta de una correlación preestablecida entre los valores de corriente acumulados aceptables en el periodo durante el cual se genera una tensión negativa en al menos un elemento de generación de energía y las densidades de corriente aceptables en el periodo; y la ejecución de un proceso de restricción de salida que restringe la salida de energía eléctrica de la pila de combustible de manera que caiga dentro de una amplitud de funcionamiento aceptable definida por los valores de corriente acumulados aceptables y las densidades de corriente aceptables de la correlación.

Otro aspecto adicional de la invención proporciona un sistema de pila de combustible que produce energía eléctrica generada en respuesta a una petición procedente de una carga externa. El sistema de pila de combustible incluye: una pila de combustible que posee al menos un elemento de generación de energía; una unidad de control que está configurada para controlar la salida de energía eléctrica de la pila de combustible; y una unidad de medición del valor de corriente acumulado que está configurada para medir un valor de corriente acumulado que se obtiene por una integración en el tiempo de la salida de corriente de la pila de combustible, en el que la unidad de control está configurada para memorizar previamente una correlación entre los valores de corriente acumulados aceptables en un periodo durante el cual se genera una tensión negativa en al menos un elemento de generación de energía y las densidades de corriente aceptables en el periodo, y cuando se cumple con una condición ambiental preestablecida que indica una posibilidad de que se genere una tensión negativa, la unidad de control está configurada para determinar que se genera una tensión negativa en al menos un elemento de generación de energía y posteriormente para ejecutar un proceso de restricción de salida que restringe la salida de energía eléctrica de la pila de combustible de manera que caiga dentro de una amplitud de funcionamiento aceptable definida por los valores de corriente acumulados aceptables y las densidades de corriente aceptables de la correlación. Con el sistema de pila de combustible así configurado, incluso cuando no se genere una tensión negativa, pero cuando una condición ambiental que sea empírica o experimentalmente presupuesta como un caso en el que es muy probable que se genere una tensión negativa, se ejecuta el proceso de restricción de salida. Por consiguiente, es posible suprimir con mayor fiabilidad el deterioro en el rendimiento y la degradación de la pila de combustible.

Además, en el sistema de pila de combustible, cuando se muestra la correlación por un gráfico cuyo primer eje representa un valor de corriente acumulado de la pila de combustible y un segundo eje representa una densidad de corriente de la pila de combustible, la correlación puede mostrarse como una curva convexa descendente en la cual la densidad de corriente aceptable disminuye a medida que el valor de corriente acumulado aceptable aumenta. Con el sistema de pila de combustible anterior, en la correlación entre los valores de corriente acumulados y las densidades de corriente, memorizados en la unidad de control, la amplitud de funcionamiento aceptable puede establecerse en una amplitud apropiada que no cause deterioro en el rendimiento del elemento de generación de energía en el cual se genera una tensión negativa. Por consiguiente, es posible suprimir de modo apropiado el deterioro en el rendimiento y la degradación de la pila de combustible debido a la tensión negativa.

Además, en el sistema de pila de combustible, en el proceso de restricción de salida, la unidad de control puede configurarse para disminuir la densidad de corriente de la pila de combustible a lo largo de la curva convexa descendente, que indica valores máximos de las densidades de corriente aceptables, con un aumento en el valor de corriente acumulado. Con el sistema de pila de combustible anterior, cuando se genera una tensión negativa, es posible restringir la salida de energía eléctrica de la pila de combustible a lo largo de los valores límite aceptables de la amplitud de funcionamiento aceptable. Por consiguiente, es posible suprimir el deterioro en el rendimiento y la degradación de la pila de combustible debido a la tensión negativa mientras se suprimen restricciones excesivas en la salida de energía eléctrica de la pila de combustible.

Además, el sistema de pila de combustible puede incluir adicionalmente: una unidad de regulación del estado de funcionamiento que está configurada para incluir al menos una de una unidad de humidificación que controla una cantidad de humidificación del gas de reacción suministrado a la pila de combustible a fin de regular un estado húmedo en el interior de la pila de combustible y una unidad de suministro de fluido refrigerante que controla un caudal de fluido refrigerante suministrado a la pila de combustible a fin de regular una temperatura de funcionamiento de la pila de combustible; y una unidad de modificación de correlación que está configurada para modificar la correlación en respuesta a, al menos, uno del estado húmedo en el interior de la pila de combustible y de la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible, en la que, cuando una densidad de corriente correspondiente a una corriente de salida requerida para la carga externa en un periodo durante el cual se genera una tensión negativa en al menos un elemento de generación de energía es superior a un valor predeterminado, la unidad de control puede configurarse para llevar a la unidad de regulación del estado de funcionamiento a regular al menos uno del estado húmedo en el interior de la pila de combustible y de la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible de modo que expanda la amplitud de funcionamiento aceptable de manera tal que la correlación sea modificada por la unidad de modificación de correlación. Con el sistema de pila de combustible anterior, incluso cuando la corriente requerida para la pila de combustible caiga fuera de la amplitud de funcionamiento aceptable de la pila de combustible, la corriente requerida puede caer dentro de la amplitud de funcionamiento aceptable de manera tal que al menos uno del estado húmedo en el interior de la pila de combustible y de la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible se regula para expandir la amplitud de funcionamiento aceptable.

Además, en el sistema de pila de combustible, cuando se completa el proceso de restricción de salida, la unidad de control puede configurarse para memorizar de manera no volátil un valor de corriente acumulado de la salida de corriente de la pila de combustible en el proceso de restricción de salida, y cuando se reanuda el proceso de restricción de salida, la unidad de control puede configurarse para ejecutar el proceso de restricción de salida empleando un valor de corriente acumulado total que se obtiene añadiendo el valor de corriente acumulado memorizado y un valor de corriente acumulado de la salida de corriente de la pila de combustible después de haber reanudado el proceso de restricción de salida. Con el sistema de pila de combustible anterior, incluso cuando el proceso de restricción de corriente se ejecuta de nuevo después de reiniciar el sistema de pila de combustible, el proceso de restricción de corriente se ejecuta empleando el valor de corriente acumulado total que se acumula a partir del valor de corriente acumulado registrado.

Además, el sistema de pila de combustible puede incluir adicionalmente una unidad de advertencia que está configurada para advertir a un usuario sobre la degradación de la pila de combustible, en el que la unidad de control puede configurarse para memorizar previamente un valor límite inferior de la densidad de corriente de la pila de combustible, y cuando la densidad de corriente de la pila de combustible es inferior al valor límite inferior en el proceso de restricción de salida, la unidad de control puede configurarse para llevar a la unidad de advertencia a advertir al usuario sobre la degradación de la pila de combustible. Con el sistema de pila de combustible anterior, cuando la pila de combustible no se ha recuperado de la tensión negativa pero el valor límite inferior preestablecido de la densidad de corriente de la pila de combustible se ha alcanzado durante el proceso de restricción de salida, se advierte al usuario sobre la degradación de la pila de combustible. Por consiguiente, el usuario es capaz de conocer apropiadamente el momento en el que la pila de combustible debe preservarse.

Además, el sistema de pila de combustible puede incluir adicionalmente: una unidad de suministro de fluido refrigerante que está configurada para suministrar fluido refrigerante a la pila de combustible para controlar una temperatura de la pila de combustible; y una unidad de medición de temperatura que está configurada para medir una temperatura de funcionamiento de la pila de combustible, en el que, en el proceso de restricción de salida, la unidad de control puede configurarse para obtener un valor calorífico estimado que es un valor calorífico de la pila de combustible cuando se lleva a la pila de combustible a producir energía eléctrica en una densidad de corriente en

base a un valor de señal de control de densidad de corriente para la pila de combustible, y para controlar una cantidad de fluido refrigerante suministrado a la pila de combustible por la unidad de suministro de fluido refrigerante basándose en la temperatura de funcionamiento medida por la unidad de medición de temperatura y el valor calorífico estimado. Con el sistema de pila de combustible anterior, incluso cuando la salida de energía eléctrica de la pila de combustible se restringe al ejecutar el proceso de restricción de salida, el caudal de fluido refrigerante suministrado se controla apropiadamente, de manera que se facilita un aumento en la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible mientras se ejecuta el proceso de restricción de salida. Por consiguiente, es muy probable que la pila de combustible se recupere del estado de tensión negativa.

Además, en el sistema de pila de combustible, en el proceso de restricción de salida, la unidad de control puede configurarse para emplear el valor calorífico estimado y la temperatura de funcionamiento medida por la unidad de medición de temperatura para calcular un aumento de temperatura estimado de la pila de combustible cuando se lleva a la pila de combustible a producir energía eléctrica durante un periodo predeterminado mientras la pila de combustible recibe el fluido refrigerante, y cuando el aumento de temperatura estimado es inferior o igual a un umbral predeterminado, la unidad de control puede configurarse para llevar a la pila de combustible a generar energía eléctrica en un estado en el que se lleva a la unidad de suministro de fluido refrigerante a detener el suministro del fluido refrigerante en la pila de combustible. Con el sistema de pila de combustible anterior, cuando es difícil llevar la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible a un valor diana puesto que la salida de energía eléctrica de la pila de combustible está restringida a través del proceso de restricción de salida, el suministro de fluido refrigerante a la pila de combustible se detiene. Por consiguiente, se facilita un aumento en la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible mientras se ejecuta el proceso de restricción de salida, de modo que es muy probable que la pila de combustible se recupere del estado de tensión negativa.

Además, en el sistema de pila de combustible, en el proceso de restricción de salida, cuando la tasa de aumento de la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible es inferior a un umbral preestablecido, la unidad de control puede configurarse para llevar a la pila de combustible a generar energía eléctrica en un estado en el que se lleva a la unidad de suministro de fluido refrigerante a detener el suministro del fluido refrigerante en la pila de combustible. Con el sistema de pila de combustible anterior, cuando la tasa de aumento de la temperatura de la pila de combustible no ha alcanzado un valor diana de acuerdo con la temperatura de funcionamiento medida de la pila de combustible mientras se ejecuta el proceso de restricción de salida, el suministro de fluido refrigerante a la pila de combustible se detiene. Por consiguiente, se facilita un aumento en la temperatura de la pila de combustible mientras se ejecuta el proceso de restricción de salida, de modo que es muy probable que la pila de combustible se recupere del estado de tensión negativa.

Otro aspecto de la invención proporciona un método de control para un sistema de pila de combustible que produce energía eléctrica generada por una pila de combustible que posee al menos un elemento de generación de energía en respuesta a una petición procedente de una carga externa. El método de control incluye: la medición de un valor de corriente acumulado que se obtiene por una integración en el tiempo de la salida de corriente de la pila de combustible en un periodo durante el cual se cumple con una condición ambiental preestablecida que indica una posibilidad de que se genere una tensión negativa en al menos un elemento de generación de energía; la consulta de una correlación preestablecida entre los valores de corriente acumulados aceptables en el periodo durante el cual se genera una tensión negativa en al menos un elemento de generación de energía y las densidades de corriente aceptables en el periodo; y la ejecución de un proceso de restricción de salida que restringe la salida de energía eléctrica de la pila de combustible de manera que caiga dentro de una amplitud de funcionamiento aceptable definida por los valores de corriente acumulados aceptables y las densidades de corriente aceptables de la correlación.

Tenga en cuenta que los aspectos de la invención pueden implementarse en diversas formas, y, por ejemplo, pueden implementarse en una forma, tal como un sistema de pila de combustible, un vehículo equipado con el sistema de pila de combustible, un método de control para el sistema de pila de combustible, un programa informático para implementar las funciones de dicho sistema, vehículo y método de control, y un medio de grabación que registra el programa informático.

#### Breve descripción de los dibujos

Las características, ventajas, y significado técnico e industrial de las realizaciones a modo de ejemplo de la invención se describirán a continuación con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales los números similares denotan elementos similares, y en los que:

- La Figura 1 es una vista esquemática que muestra la configuración de un sistema de pila de combustible de acuerdo con una primera realización de la invención;
- La Figura 2 es una vista esquemática que muestra la configuración eléctrica del sistema de pila de combustible de acuerdo con la primera realización de la invención;
- La Figura 3A y la Figura 3B son gráficos de ilustración del control de salida en una pila de combustible del sistema de pila de combustible de acuerdo con la primera realización de la invención;
- La Figura 4A, la Figura 4B, y la Figura 4C son gráficos de ilustración del deterioro en el rendimiento de la pila de

combustible debido a la tensión negativa generada por el suministro deficiente de hidrógeno en el sistema de pila de combustible;

La Figura 5 es un diagrama de flujo de ilustración del procedimiento de un proceso de recuperación de tensión negativa en el sistema de pila de combustible;

5 La Figura 6 es un gráfico de ilustración del momento en el que ocurre la transición de la tensión negativa del nivel aceptable de generación de energía al nivel de deterioro en el rendimiento del sistema de pila de combustible;

La Figura 7 es un gráfico de ilustración de una amplitud de funcionamiento aceptable de la pila de combustible, definido mediante un experimento, en el sistema de pila de combustible;

10 La Figura 8A, la Figura 8B, y la Figura 8C son gráficos de ilustración de un proceso de restricción de corriente en el sistema de pila de combustible;

La Figura 9 es una vista esquemática que muestra la configuración eléctrica de un sistema de pila de combustible de acuerdo con una primera realización alternativa a la primera realización;

La Figura 10 es un diagrama de flujo de ilustración del procedimiento de un proceso de recuperación de tensión negativa de acuerdo con la primera realización alternativa a la primera realización;

15 La Figura 11 es una vista esquemática que muestra la configuración eléctrica de un sistema de pila de combustible de acuerdo con una segunda realización alternativa a la primera realización;

La Figura 12 es un diagrama de flujo que muestra el procedimiento de un proceso de recuperación de tensión negativa de acuerdo con la segunda realización alternativa a la primera realización;

20 La Figura 13 es un diagrama de flujo que muestra el procedimiento de un proceso de recuperación de tensión negativa de acuerdo con una segunda realización;

La Figura 14 es un gráfico de ilustración de un proceso de restricción de corriente de acuerdo con la segunda realización;

La Figura 15 es una vista esquemática que muestra la configuración eléctrica de un sistema de pila de combustible de acuerdo con una tercera realización;

25 La Figura 16 es un diagrama de flujo que muestra el procedimiento de un proceso de recuperación de tensión negativa de acuerdo con una tercera realización;

La Figura 17 es un gráfico que muestra una modificación de una amplitud de funcionamiento aceptable resultante de una modificación en el estado de humedad en el interior de la pila de combustible de acuerdo con la tercera realización;

30 La Figura 18 es un diagrama de flujo que muestra el procedimiento de un proceso de modificación de amplitud aceptable de acuerdo con la tercera realización;

La Figura 19 es un gráfico que muestra un ejemplo de un mapa de determinación de humedad empleado para determinar una humedad diana en el interior de la pila de combustible de acuerdo con la tercera realización;

35 La Figura 20A, la Figura 20B, y la Figura 20C son gráficos de ilustración de un proceso de determinación que determina una humedad diana en el interior de la pila de combustible empleando un mapa de determinación de humedad y un proceso de modificación que modifica un mapa de amplitud aceptable de acuerdo con la tercera realización;

La Figura 21A y la Figura 21B son gráficos de ilustración de un proceso de modificación de amplitud aceptable en un sistema de pila de combustible de acuerdo con una cuarta realización;

40 La Figura 22 es un diagrama de flujo que muestra el procedimiento de un proceso de recuperación de tensión negativa de acuerdo con una quinta realización;

La Figura 23 es un diagrama de flujo que muestra el procedimiento de un proceso de control de fluido refrigerante de acuerdo con la quinta realización;

45 La Figura 24 es un diagrama de flujo que muestra el procedimiento de un proceso de recuperación de tensión negativa de acuerdo con una sexta realización;

La Figura 25A y la Figura 25B son diagramas de flujo que muestran respectivamente un primer y un segundo proceso de control de fluido refrigerante de acuerdo con la sexta realización; y

50 La Figura 26A y la Figura 26B son gráficos de ilustración de una modificación en el tiempo de la temperatura de la pila de una pila de tensión negativa en un entorno de baja temperatura de acuerdo con los ejemplos de referencia de la invención.

#### Descripción detallada de las realizaciones

55 La Fig. 1 es una vista esquemática que muestra la configuración de un sistema de pila de combustible de acuerdo con una primera realización de la invención. El sistema 100 de pilas de combustible incluye una pila de combustible 10, una unidad de control 20, una unidad 30 de suministro de gas catódico, una unidad 40 de escape de gas catódico, una unidad 50 de suministro de gas anódico, una unidad 60 de escape de circulación de gas anódico y una unidad 70 de suministro de fluido refrigerante.

60 La pila de combustible 10 es una pila de combustible de electrolito polimérico que recibe hidrógeno (gas anódico) y aire (gas catódico) como gases de reacción para generar energía eléctrica. La pila de combustible 10 posee una estructura de pila en la que se apilan una pluralidad de elementos 11 de generación de energía llamados pilas unitarias. Cada elemento 11 de generación de energía incluye un conjunto de electrodos de membrana (no se muestra) y dos separadores (no se muestran). El conjunto de electrodos de membrana es el elemento de generación de energía en el que los electrodos se disponen en ambas superficies de una membrana electrolítica. Los dos separadores se intercalan en el conjunto de electrodos de membrana.

- 5 En este caso, la membrana electrolítica puede estar formada por una fina película polimérica sólida que exhibe una conductividad favorable del protón en un estado húmedo. Además, cada electrodo puede estar formado por un carbono (C). Tenga en cuenta que una superficie del electrodo, orientada hacia la membrana electrolítica, soporta un catalizador (por ejemplo, platino (Pt)) para facilitar la reacción de generación de energía. Se proporcionan colectores (no se muestran) para gases de reacción y fluido refrigerante para cada elemento 11 de generación de energía. Los gases de reacción en los colectores se suministran a la sección de generación de energía de cada elemento 11 de generación de energía a través de los respectivos pasos de flujo de gas proporcionados para cada elemento 11 de generación de energía.
- 10 La unidad de control 20 está formada por un microordenador que incluye una unidad central de procesamiento y un almacenamiento principal. La unidad de control 20 acepta una petición de energía de salida procedente de una carga externa 200. En respuesta a la petición, la unidad de control 20 controla unidades estructurales del sistema 100 de pilas de combustible descrito a continuación para llevar a la pila de combustible 10 a generar energía eléctrica.
- 15 La unidad 30 de suministro de gas catódico incluye un conducto 31 de gas catódico, un compresor de aire 32, un caudalímetro 33, una válvula de activación-desactivación 34 y una unidad de humidificación 35. El conducto 31 de gas catódico está conectado al cátodo de la pila de combustible 10. El compresor de aire 32 está conectado a la pila de combustible 10 a través del conducto 31 de gas catódico. El compresor de aire 32 recibe y comprime el aire exterior, y suministra el aire comprimido a la pila de combustible 10 como gas catódico.
- 20 El caudalímetro 33 mide el caudal del aire exterior recogido por el compresor de aire 32 en una sección aguas arriba del compresor de aire 32, y luego transmite el caudal medido a la unidad de control 20. La unidad de control 20 acciona el compresor de aire 32 basándose en el caudal medido para controlar la cantidad de aire suministrado a la pila de combustible 10.
- 25 La válvula de activación-desactivación 34 se proporciona entre el compresor de aire 32 y la pila de combustible 10. La válvula de activación-desactivación 34 se abre o cierra en respuesta al flujo de aire suministrado en el conducto 31 de gas catódico. Concretamente, la válvula de activación-desactivación 34 se encuentra normalmente cerrada, y se abre cuando el aire con una presión predeterminada se suministra desde el compresor de aire 32 al conducto 31 de gas catódico.
- 30 La unidad de humidificación 35 humidifica el aire de alta presión bombeado desde el compresor de aire 32. A fin de mantener un estado húmedo de las membranas electrolíticas para obtener una conductividad favorable del protón, la unidad de control 20 emplea la unidad de humidificación 35 para controlar la cantidad de humidificación de aire suministrado a la pila de combustible 10 para regular así el estado húmedo en el interior de la pila de combustible 10.
- 35 La unidad 40 de escape de gas catódico incluye un conducto 41 de gas de escape catódico, una válvula 43 de regulación de presión y una unidad 44 de medición de presión. El conducto 41 de gas de escape catódico se conecta al cátodo de la pila de combustible 10, y expulsa el gas de escape catódico hacia el exterior del sistema 100 de pilas de combustible. La válvula 43 de regulación de presión regula la presión del gas de escape catódico (contrapresión de la pila de combustible 10) en el conducto 41 de gas de escape catódico. La unidad 44 de medición de presión se proporciona en una sección aguas arriba de la válvula 43 de regulación de presión. La unidad 44 de medición de presión mide la presión del gas de escape catódico, y luego transmite la presión medida a la unidad de control 20. La unidad de control 20 regula el grado de apertura de la válvula 43 de regulación de presión basándose en la presión medida por la unidad 44 de medición de presión.
- 40 La unidad 50 de suministro de gas anódico incluye un conducto 51 de gas anódico, un depósito de hidrógeno 52, una válvula de activación-desactivación 53, un regulador 54, un inyector 55 y dos unidades 56u y 56d de medición de presión. El depósito de hidrógeno 52 se conecta al ánodo de la pila de combustible 10 a través del conducto 51 de gas anódico, y suministra hidrógeno llenado en el depósito a la pila de combustible 10. Tenga en cuenta que el sistema 100 de pilas de combustible puede incluir una unidad de reformación en lugar del depósito de hidrógeno 52 como fuente de suministro de hidrógeno. La unidad de reformación reforma el combustible basado en hidrocarburos para producir hidrógeno.
- 45 La válvula de activación-desactivación 53, el regulador 54, la primera unidad 56u de medición de presión, el inyector 55 y la segunda unidad 56d de medición de presión se proporcionan en el conducto 51 de gas anódico desde el lateral aguas arriba (lateral adyacente al depósito de hidrógeno 52) en el orden especificado. La válvula de activación-desactivación 53 se abre o cierra en respuesta a una señal de control procedente de la unidad de control 20. La válvula de activación-desactivación 53 controla el flujo de hidrógeno desde el depósito de hidrógeno 52 hacia el lateral aguas arriba del inyector 55. El regulador 54 es una válvula de reducción de presión que regula la presión del hidrógeno en una sección aguas arriba del inyector 55. El grado de apertura del regulador 54 se controla por la unidad de control 20.
- 50 El inyector 55 es una válvula de activación-desactivación accionada electromagnéticamente cuyo elemento de la
- 55
- 60
- 65



válvula se acciona electromagnéticamente de acuerdo con un intervalo de accionamiento o una duración de apertura de la válvula establecido por la unidad de control 20. La unidad de control 20 controla el intervalo de accionamiento o la duración de apertura de la válvula del inyector 55 para controlar la cantidad de hidrógeno suministrado a la pila de combustible 10. La primera y segunda unidades 56u y 56d de medición de presión miden respectivamente la presión de hidrógeno en una sección aguas arriba del inyector 55 y la presión de hidrógeno en una sección aguas abajo del inyector 55, y luego transmiten las presiones medidas a la unidad de control 20. La unidad de control 20 emplea estas presiones medidas para determinar el intervalo de accionamiento o la duración de apertura de la válvula del inyector 55.

La unidad 60 de escape de circulación de gas anódico incluye un conducto 61 de gas de escape anódico, una unidad 62 de separación de gas-líquido, un conducto 63 de circulación de gas anódico, una bomba 64 de circulación de hidrógeno, un conducto 65 de drenaje anódico y una válvula de drenaje 66. El conducto 61 de gas de escape anódico conecta la salida del ánodo de la pila de combustible 10 a la unidad 62 de separación de gas-líquido. El conducto 61 de gas de escape anódico conduce gas de escape anódico que incluye gas sin reaccionar (hidrógeno, nitrógeno, y similares) que no se emplea en la reacción de generación de energía a la unidad 62 de separación de gas-líquido.

La unidad 62 de separación de gas-líquido se conecta al conducto 63 de circulación de gas anódico y al conducto 65 de drenaje anódico. La unidad 62 de separación de gas-líquido separa los componentes gaseosos y el contenido en agua incluidos en el gas de escape anódico. La unidad 62 de separación de gas-líquido conduce los componentes gaseosos al conducto 63 de circulación de gas anódico, y conduce el contenido en agua al conducto 65 de drenaje anódico.

El conducto 63 de circulación de gas anódico se conecta al conducto 51 de gas anódico en una sección aguas abajo del inyector 55. La bomba 64 de circulación de hidrógeno se proporciona en el conducto 63 de circulación de gas anódico. El hidrógeno contenido en los componentes gaseosos separados por la unidad 62 de separación de gas-líquido se bombea al conducto 51 de gas anódico por medio de la bomba 64 de circulación de hidrógeno. De esta manera, en el sistema 100 de pilas de combustible, el hidrógeno contenido en el gas de escape anódico se circula y suministra de nuevo a la pila de combustible 10, para mejorar así la eficiencia en la utilización del hidrógeno.

El conducto 65 de drenaje anódico se emplea para drenar el contenido en agua separado por la unidad 62 de separación de gas-líquido fuera del sistema 100 de pilas de combustible. La válvula de drenaje 66 se proporciona en el conducto 65 de drenaje anódico. La válvula de drenaje 66 se abre o cierra en respuesta a una señal de control procedente de la unidad de control 20. La unidad de control 20 cierra en general la válvula de drenaje 66 durante el funcionamiento del sistema 100 de pilas de combustible, y abre la válvula de drenaje 66 en un tiempo de drenaje predeterminado establecido previamente o en un momento en el que se expulsa el gas inerte incluido en el gas de escape anódico.

La unidad 70 de suministro de fluido refrigerante incluye un conducto 71 de fluido refrigerante, un radiador 72, una bomba 73 de circulación de fluido refrigerante y dos unidades 74 y 75 de medición de temperatura de fluido refrigerante. El conducto 71 de fluido refrigerante conecta un colector de admisión de fluido refrigerante a un colector de salida de fluido refrigerante. El colector de admisión de fluido refrigerante y el colector de salida de fluido refrigerante se proporcionan en la pila de combustible 10. El conducto 71 de fluido refrigerante circula el fluido refrigerante para enfriar la pila de combustible 10. El radiador 72 se proporciona en el conducto 71 de fluido refrigerante. El radiador 72 intercambia calor entre el fluido refrigerante que fluye en el conducto 71 de fluido refrigerante y el aire exterior para enfriar de este modo el fluido refrigerante.

La bomba 73 de circulación de fluido refrigerante se proporciona en el conducto 71 de fluido refrigerante en una sección aguas abajo del radiador 72 (adyacente a la entrada de fluido refrigerante de la pila de combustible 10). La bomba 73 de circulación de fluido refrigerante bombea el fluido refrigerante enfriado por el radiador 72 a la pila de combustible 10. Las dos unidades 74 y 75 de medición de temperatura de fluido refrigerante se proporcionan respectivamente cercanas a la salida de fluido refrigerante de la pila de combustible 10 y cercanas a la entrada de fluido refrigerante de la pila de combustible 10 en el conducto 71 de fluido refrigerante. Las dos unidades 74 y 75 de medición de temperatura de fluido refrigerante transmiten respectivamente las temperaturas medidas a la unidad de control 20. La unidad de control 20 detecta la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10 a partir de una diferencia entre las temperaturas respectivas medidas por las dos unidades 74 y 75 de medición de temperatura de fluido refrigerante, y, a continuación, controla la cantidad de fluido refrigerante bombeado por la bomba 73 de circulación de fluido refrigerante basándose en la temperatura de funcionamiento detectada para regular de este modo la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10.

La Fig. 2 es una vista esquemática que muestra la configuración eléctrica del sistema 100 de pilas de combustible. El sistema 100 de pilas de combustible incluye una batería secundaria 81, un convertidor de CC/CC 82 y un inversor de CC/CA 83. Además, el sistema 100 de pilas de combustible incluye una unidad 91 de medición de tensión de pila, una unidad 92 de medición de corriente, una unidad 93 de medición de impedancia, y una unidad 94 de detección de un estado de carga.

La pila de combustible 10 se conecta al inversor de CC/CA 83 a través de una línea de alimentación eléctrica en corriente continua LCC. La batería secundaria 81 se conecta a la línea de alimentación eléctrica en corriente continua LCC a través del convertidor de CC/CC 82. El inversor de CC/CA 83 se conecta a la carga externa 200. Tenga en cuenta que, en el sistema 100 de pilas de combustible, parte de la salida de energía eléctrica de la pila de combustible 10 y la batería secundaria 81 se emplea para accionar los auxiliares que constituyen el sistema 100 de pilas de combustible; no obstante, no se muestra el cableado de los auxiliares, y se omite su descripción.

La batería secundaria 81 funciona como una alimentación eléctrica auxiliar de la pila de combustible 10. La batería secundaria 81, por ejemplo, puede formarse por una batería de iones litio cargable y descargable. El convertidor de CC/CC 82 funciona como una unidad de control de carga/descarga que controla la carga/descarga de la batería secundaria 81. El convertidor de CC/CC 82 regula de forma variable el nivel de tensión de la línea de alimentación eléctrica en corriente continua LCC en respuesta a una señal de control procedente de la unidad de control 20. Si la salida de energía eléctrica de la pila de combustible 10 es insuficiente para una petición de salida procedente de la carga externa 200, la unidad de control 20 ordena al convertidor de CC/CC 82 que descargue la batería secundaria 81 a fin de compensar la energía eléctrica insuficiente.

El inversor de CC/CA 83 convierte la energía eléctrica de corriente continua obtenida de la pila de combustible 10 y de la batería secundaria 81 a energía eléctrica de corriente alterna, y suministra entonces la energía eléctrica de corriente alterna a la carga externa 200. Tenga en cuenta que, cuando se genera energía eléctrica regenerativa en la carga externa 200, la energía eléctrica regenerativa se convierte en energía eléctrica de corriente continua por el inversor de CC/CA 83 y, a continuación, la batería secundaria 81 se carga con la energía eléctrica de corriente continua por medio del convertidor de CC/CC 82.

La unidad 91 de medición de tensión de pila se conecta a cada elemento 11 de generación de energía de la pila de combustible 10 para medir la tensión (tensión de pila) de cada elemento 11 de generación de energía. La unidad 91 de medición de tensión de pila transmite las tensiones de pila medidas a la unidad de control 20. Tenga en cuenta que la unidad 91 de medición de tensión de pila puede transmitir únicamente a la unidad de control 20 la tensión menor de pila entre las tensiones de pila medidas.

La unidad 92 de medición de corriente se conecta a la línea de alimentación eléctrica en corriente continua LCC. La unidad 92 de medición de corriente mide la salida de corriente de la pila de combustible 10, y luego transmite la corriente medida a la unidad de control 20. La unidad 94 de detección de estado de carga se conecta a la batería secundaria 81. La unidad 94 de detección de estado de carga detecta el estado de carga (EDC) de la batería secundaria 81 y, a continuación, transmite el EDC detectado a la unidad de control 20.

La unidad 93 de medición de impedancia se conecta a la pila de combustible 10. La unidad 93 de medición de impedancia aplica una corriente alterna a la pila de combustible 10 para medir así la impedancia de la pila de combustible 10. En este caso, se sabe que la impedancia de la pila de combustible 10 varía con la cantidad de contenido en agua presente en el interior de la pila de combustible 10. Es decir, la correlación entre la impedancia de la pila de combustible 10 y la cantidad de contenido en agua (humedad) en el interior de la pila de combustible 10 se adquiere previamente, y entonces se mide la impedancia de la pila de combustible 10 que permitirá obtener así la cantidad de contenido en agua (humedad) en el interior de la pila de combustible 10.

A propósito, en el sistema 100 de pilas de combustible de acuerdo con la primera realización, la unidad de control 20 también funciona como una unidad 21 de medición del valor de corriente acumulado. La unidad 21 de medición del valor de corriente acumulado integra la salida de corriente de la pila de combustible 10, medida por la unidad 92 de medición de corriente, con respecto al tiempo durante un periodo predeterminado para calcular de ese modo un valor de corriente acumulado que indica la salida de carga eléctrica de la pila de combustible 10. La unidad de control 20 emplea el valor de corriente acumulado para ejecutar el proceso de restricción de corriente de supresión del deterioro en el rendimiento de generación de energía de los elementos 11 de generación de energía, y su descripción detallada se describirá más adelante.

La Fig. 3A y la Fig. 3B son gráficos de ilustración del control de salida en la pila de combustible 10 del sistema 100 de pilas de combustible. La Fig. 3A es un gráfico que muestra las características W-I de la pila de combustible 10, en la cual el eje de ordenadas representa la energía eléctrica de la pila de combustible 10 y el eje de abscisas representa la corriente de la pila de combustible 10. En general, se muestran las características W-I de la pila de combustible mediante una curva convexa ascendente.

La Fig. 3B es un gráfico que muestra las características V-I de la pila de combustible 10, en la cual el eje de ordenadas representa la tensión de la pila de combustible 10 y el eje de abscisas representa la corriente de la pila de combustible 10. En general, se muestran las características V-I de la pila de combustible mediante una curva sigmoide horizontal que desciende con un aumento en la corriente. Tenga en cuenta que, en la Fig. 3A y en la Fig. 3B, los ejes de abscisas de los respectivos gráficos corresponden entre sí.

La unidad de control 20 memoriza previamente estas características W-I y características V-I de la pila de combustible 10. La unidad 20 de control emplea las características W-I para adquirir una corriente diana  $I_t$  que debe

producirse por la pila de combustible 10 para una energía eléctrica  $P_t$  requerida para la carga externa 200. Además, la unidad de control 20 emplea las características V-I para determinar una tensión diana  $V_t$  de la pila de combustible 10 para producir la corriente diana  $I_t$  obtenida a partir de las características W-I. La unidad de control 20 establece la tensión diana  $V_t$  en el convertidor de CC/CC 82 para llevar al convertidor de CC/CC 82 a regular la tensión de la línea de alimentación eléctrica en corriente continua LCC.

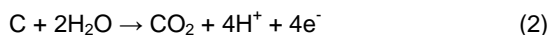
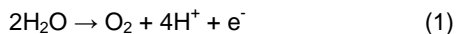
A propósito, como se ha descrito previamente, en la pila de combustible 10, los gases de reacción fluyen desde los colectores hacia los pasos de flujo de gas de cada elemento 11 de generación de energía. No obstante, los pasos de flujo de gas de cada elemento 11 de generación de energía pueden bloquearse posiblemente por el contenido en agua, o similares, producido en la pila de combustible 10. Si se lleva a la pila de combustible 10 a continuar la generación de energía en un estado en el que se bloquean los pasos de gas de parte de los elementos 11 de generación de energía, la reacción de generación de energía se suprime debido a un suministro insuficiente de gases de reacción en la parte de los elementos 11 de generación de energía. Por otra parte, los otros elementos 11 de generación de energía continúan la generación de energía, de modo que la parte de los elementos 11 de generación de energía actúa como resistencia en la pila de combustible 10 para generar de este modo una tensión negativa. En lo sucesivo, en la memoria descriptiva, el elemento 11 de generación de energía en el que se genera una tensión negativa se denomina "pila 11 de tensión negativa".

Se sabe que, a medida que el estado de tensión negativa de cada pila 11 de tensión negativa continúa, la degradación de los electrodos de cada pila 11 de tensión negativa avanza y, a continuación, el rendimiento en la generación de energía de la pila de combustible 10 se deteriora. En este caso, la tensión negativa se produce debido a un suministro deficiente de hidrógeno que se produce a través de la inhibición del suministro de hidrógeno al ánodo o debido al suministro deficiente de oxígeno que se produce a través de la inhibición del suministro de oxígeno al cátodo. En el caso de ocurrencia de tensión negativa debida a un suministro deficiente de hidrógeno al ánodo, el rendimiento de la pila de combustible 10 se deteriora como se indica a continuación en función del nivel de tensión negativa.

La Fig. 4A a la Fig. 4C son gráficos de ilustración del deterioro en el rendimiento de la pila de combustible 10 debido a la tensión negativa generada por el suministro deficiente de hidrógeno en uno cualquiera de los elementos 11 de generación de energía. La Fig. 4A es un gráfico que muestra una variación en la tensión de pila cuando se genera una tensión negativa en uno cualquiera de los elementos 11 de generación de energía. En el gráfico de la Fig. 4A, el eje de ordenadas representa la tensión de pila y el eje de abscisas representa el tiempo.

En el gráfico, la tensión negativa se produce en un momento, y la tensión de pila desciende de manera sustancial verticalmente a la tensión  $T_1$ . Posteriormente, la tensión de pila se mantiene constante en torno a la tensión  $T_1$ , desciende de manera sustancial verticalmente a la tensión  $T_2$  de nuevo en un momento  $t_1$ , y se mantiene entonces sustancialmente constante en la tensión  $T_2$ . De esta manera, el nivel de tensión negativa que se genera a través de un suministro deficiente de hidrógeno disminuye en dos etapas de manera sustancialmente escalonada en un lapso de tiempo.

En este caso, en el ánodo de cada pila 11 de tensión negativa, se producen protones mediante la siguiente reacción química que compensan el suministro deficiente de hidrógeno. Es decir, los protones se producen por reacción de división de agua expresada por la siguiente fórmula de reacción (1) cada cierto tiempo  $t_1$ , y los protones se producen por reacción de oxidación de carbono que constituye el electrodo (ánodo), expresado por la siguiente fórmula de reacción (2), transcurrido el tiempo  $t_2$ .



La Fig. 4B muestra un gráfico que muestra el rendimiento de generación de energía de cada pila 11 de tensión negativa cada cierto tiempo  $t_1$ . La Fig. 4C muestra un gráfico que muestra el rendimiento de generación de energía de cada pila 11 de tensión negativa transcurrido el tiempo  $t_1$ . La Fig. 4B y la Fig. 4C incluyen cada una un gráfico  $G_{I-V}$  que muestra las características I-V de cada pila 11 de tensión negativa, en la que el eje de abscisas representa la densidad de corriente y el eje de ordenadas representa la tensión de pila, y un gráfico  $G_{I-R}$  muestra las características I-R de cada pila 11 de tensión negativa, en la que el eje de abscisas representa la densidad de corriente y el eje de ordenadas representa la resistencia. Tenga en cuenta que, para mostrar modificaciones de las características, en la Fig. 4C, los gráficos  $G_{I-V}$  y  $G_{I-R}$  mostrados en la Fig. 4B se indican por las líneas discontinuas, y se muestran las flechas que indican las direcciones en las que se desplazan los respectivos gráficos.

De esta manera, si se produce una reacción de división de agua en el ánodo de cada pila 11 de tensión negativa, como en el caso cada cierto tiempo  $t_1$ , el deterioro en el rendimiento de generación de energía de la pila de combustible 10 se suprime de manera relevante (Fig. 4B). Tenga en cuenta que, en el caso de la Fig. 4B, las características I-V de cada elemento 11 de generación de energía en el que no se genera tensión negativa coinciden sustancialmente con las características I-V de cada pila 11 de tensión negativa. Por otra parte, si se produce una reacción de oxidación de carbono en el ánodo de cada pila 11 de tensión negativa, como en el caso transcurrido el

tiempo  $t_1$ , las características I-V de cada pila 11 de tensión negativa disminuyen, y la resistencia interna de cada pila 11 de tensión negativa aumenta (Fig. 4C). Tenga en cuenta que el rendimiento de generación de energía de la pila de combustible 10 se deteriora debido al deterioro en el rendimiento de cada pila 11 de tensión negativa. Además, si el carbono del electrodo se oxida, como en el caso transcurrido el tiempo  $t_1$ , es difícil recuperar el rendimiento de generación de energía de cada pila 11 de tensión negativa incluso después de reiniciar la pila de combustible 10.

En lo sucesivo, en la memoria descriptiva, el nivel de tensión negativa en el cual puede continuar la generación de energía mientras se suprime el deterioro del rendimiento de generación de energía de la pila de combustible 10 a través de la reacción de división de agua en el ánodo de cada pila 11 de tensión negativa, como en el caso cada cierto tiempo  $t_1$  se denomina "nivel aceptable de generación de energía". Además, el nivel de tensión negativa en el que la degradación del electrodo de cada pila 11 de tensión negativa se produce y el rendimiento de generación de energía de la pila de combustible 10 se deteriora, como en el caso transcurrido el tiempo  $t_1$  se denomina "nivel de deterioro del rendimiento".

En el sistema 100 de pilas de combustible de acuerdo con la primera realización, cuando se ha detectado una tensión negativa en uno cualquiera de los elementos 11 de generación de energía de la pila de combustible 10, el estado de tensión negativa se recupera por el proceso de recuperación de tensión negativa descrito a continuación. Tenga en cuenta que, en el proceso de recuperación de tensión negativa, cuando se determina que la tensión negativa se debe a un suministro deficiente de hidrógeno, se ejecuta un control de salida que suprime el nivel de tensión negativa de alcanzar el nivel de deterioro de rendimiento para recuperarse así de la tensión negativa mientras se evita la degradación del electrodo de la pila 11 de tensión negativa.

La Fig. 5 es un diagrama de flujo de ilustración del procedimiento del proceso de recuperación de tensión negativa ejecutado por la unidad de control 20. Una vez iniciado el funcionamiento normal de la pila de combustible 10 (etapa E5), cuando se ha detectado una tensión negativa en al menos uno de los elementos 11 de generación de energía por la unidad 91 de medición de tensión de pila, la unidad de control 20 inicia el proceso en la etapa E20 y en las etapas siguientes (etapa E10). En la etapa E20, la unidad de control 20 lleva a la unidad 21 de medición de valor de corriente acumulado a iniciar la medición de un valor de corriente acumulado empleado en un proceso de restricción de corriente (descrito más adelante).

En este caso, en la etapa en la que se ha detectado tensión negativa en la etapa E10, no se determina si el motivo por el que se genera una tensión negativa se debe al suministro deficiente de hidrógeno en el ánodo o se debe al suministro deficiente de oxígeno en el cátodo. A continuación, en la etapa E30, la unidad de control 20 aumenta inicialmente la velocidad de rotación del compresor de aire 32 para aumentar la cantidad de aire suministrado a la celda de combustible 10. Si se genera una tensión negativa debido al suministro deficiente de oxígeno en el cátodo, este funcionamiento elimina el suministro de aire insuficiente y depura también el contenido en agua que bloquea el paso de flujo de gas del lateral del cátodo para poder eliminar el bloqueo.

Si la tensión de la pila 11 de tensión negativa aumenta después de incrementar la cantidad de aire suministrado, la unidad de control 20 determina que la pila 11 de tensión negativa se ha recuperado de la tensión negativa y así pues regresa al control de funcionamiento normal en la pila de combustible 10 (etapa E40). Por otra parte, si la pila 11 de tensión negativa no se ha recuperado de la tensión negativa incluso con un aumento en la cantidad de aire suministrado, la unidad de control 20 determina que el motivo por el que se genera la tensión negativa se debe a un suministro deficiente de hidrógeno, y luego inicia el proceso de restricción de corriente para evitar la degradación del electrodo y el deterioro en el rendimiento de generación de energía en la etapa E50, y en las siguientes etapas.

En la etapa E50, la unidad de control 20 adquiere el valor de corriente acumulado de la unidad 21 de medición del valor de corriente acumulado basándose en la salida de corriente de la pila de combustible 10 en un periodo durante el cual se genera una tensión negativa. En las etapas E60 y E70, la unidad de control 20 emplea el valor de corriente acumulado adquirido en la etapa E50 para obtener un límite de salida de energía eléctrica de la pila de combustible 10, y luego lleva a la pila de combustible 10 a producir energía eléctrica en la amplitud limitada. Al hacer esto, se suprimen la degradación del electrodo de cada pila 11 de tensión negativa y el deterioro en el rendimiento de generación de energía de la pila de combustible 10. En este caso, antes de que se describan los funcionamientos detallados específicos en las etapas E60 y E70, se describirá la correlación entre el valor de corriente acumulado y el límite de salida de energía eléctrica de la pila de combustible 10 para evitar la oxidación del electrodo y el deterioro en el rendimiento de generación de energía debido a la tensión negativa, que se obtuvo mediante el experimento de los inventores de la invención.

La Fig. 6 es un gráfico que muestra los resultados del experimento llevado a cabo por los inventores de la invención con el fin de investigar el momento en el que ocurre la transición de la tensión negativa desde el nivel aceptable de generación de energía al nivel de deterioro en el rendimiento. En el experimento, para uno de los elementos 11 de generación de energía seleccionados, en un estado en el que el paso de flujo de gas del lateral anódico está bloqueado, la generación de energía que lleva a la pila de combustible 10 a producir una corriente constante en caudales constantes de gases de reacción a una temperatura de funcionamiento constante se realizó de forma intermitente cinco veces en un intervalo temporal constante. El gráfico de la Fig. 6 muestra una variación en el tiempo extra de tensión negativa para cada cambio de generación de energía.

5 Durante la primera a tercera generación de energía, el tiempo de medición finalizó antes de que la tensión negativa alcanzase el nivel aceptable de generación de energía. No obstante, durante la cuarta generación de energía, la tensión de pila disminuyó hasta el nivel de deterioro en el rendimiento en curso de medición. A continuación, durante la quinta generación de energía, la tensión de pila disminuyó hasta el nivel de deterioro en el rendimiento inmediatamente después de iniciar la generación de energía.

10 Los inventores de la invención repitieron un experimento similar con una salida de corriente diferente de la pila de combustible 10, y hallaron que un tiempo acumulado que tiene lugar en la transición de la tensión negativa desde el nivel aceptable de generación de energía al nivel de deterioro en el rendimiento es sustancialmente constante para cada densidad de corriente incluso cuando se repite una detención y un reinicio de la generación de energía después de generar una tensión negativa. Esto es atribuible probablemente a que una película de oxidación formada en el ánodo de la pila 11 de tensión negativa a través de la reacción de división de agua es lo bastante fuerte como para permanecer incluso cuando se detiene la generación de energía.

15 Entonces, se entiende que la carga eléctrica que puede producirse durante un periodo desde que se produce la tensión negativa hasta cuando la tensión negativa alcanza el nivel de deterioro en el rendimiento, es sustancialmente constante para cada densidad de corriente y la salida de carga eléctrica durante ese periodo permanece como el historial de generación de energía durante ese tiempo. A través de estos hallazgos, los inventores de la invención descubrieron que la condición de funcionamiento que es aceptable para la pila de combustible 10 antes de que tenga lugar la transición de la tensión negativa al nivel de deterioro en el rendimiento puede definirse por la densidad de corriente de la pila de combustible 10 en un periodo durante el cual se genera una tensión negativa del nivel aceptable de generación de energía y el valor de corriente acumulado de la pila de combustible 10 durante ese tiempo.

25 La Fig. 7 es un gráfico que muestra el resultado del experimento llevado a cabo por los inventores de la invención con el fin de definir la condición de funcionamiento aceptable para la pila de combustible 10 en un periodo durante el cual se genera una tensión negativa del nivel aceptable de generación de energía. En este experimento, se bloqueó el paso de flujo de gas del lateral anódico de uno cualquiera de los elementos 11 de generación de energía, y luego se midió el valor de corriente acumulado cuando se lleva a la pila de combustible 10 a continuar la generación de energía desde cuando se produce una tensión negativa hasta cuando una tensión negativa alcanza el nivel de deterioro en el rendimiento. A continuación, se midió varias veces el valor de corriente acumulado con una densidad de corriente diferente de la pila de combustible 10 para obtener el valor de corriente acumulado para cada densidad de corriente. Tenga en cuenta que, en este experimento, los caudales de los gases de reacción suministrados a la pila de combustible 10 y la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10 eran constantes.

35 La Fig. 7 es un gráfico que se obtiene de manera tal que el eje de ordenadas representa un valor de corriente acumulado, el eje de abscisas representa una densidad de corriente, y se representan los resultados medidos del experimento anterior. De esta manera, la correlación entre las densidades de corriente de la pila de combustible 10 en un periodo durante el cual se genera una tensión negativa del nivel aceptable de generación de energía y los valores de corriente acumulados aceptables para la pila de combustible 10 durante ese tiempo se muestran por una curva de caída convexa descendente. Es decir, a medida que se incrementa la densidad de corriente de la pila de combustible 10 en el periodo durante el cual se genera una tensión negativa del nivel aceptable de generación de energía (en lo sucesivo, también denominado "periodo aceptable de generación de energía"), el valor de corriente acumulado para la pila de combustible 10 durante ese tiempo se reduce. El valor corriente acumulado se reduce sustancialmente de forma exponencial a medida que la densidad de corriente aumenta.

45 En este caso, en la Fig. 7, la amplitud sombreada por debajo de la curva convexa descendente puede entenderse como una amplitud que incluye una combinación de la densidad de corriente y el valor de corriente acumulado aceptables para la pila de combustible 10 durante el periodo aceptable de generación de energía. En lo sucesivo, esta amplitud se denomina "amplitud aceptable de funcionamiento". Es decir, en el caso en el que se genere una tensión negativa debido a un suministro deficiente de hidrógeno, cuando se lleva a la pila de combustible 10 a producir una combinación de la densidad de corriente y el valor de corriente acumulado que cae en la amplitud de funcionamiento, es posible para la pila 10 continuar la generación de energía mientras se evita que la tensión negativa alcance el nivel de deterioro en el rendimiento. Tenga en cuenta que, como puede entenderse por el hecho de que el eje de ordenadas del gráfico es un valor de corriente acumulado, la amplitud de funcionamiento aceptable se reduce con un aumento en la duración de generación de energía de la pila de combustible 10 después de que se produzca una tensión negativa.

50 En el sistema 100 de pilas de combustible de acuerdo con la primera realización, la unidad de control 20 memoriza previamente la correlación entre los valores de corriente acumulados aceptables para la pila de combustible 10 y las densidades de corriente aceptables para la pila de combustible 10 en un periodo durante el cual se genera una tensión negativa, mostrado por el gráfico de la Fig. 7, como un mapa. A continuación, el mapa (en lo sucesivo, referido como "mapa de amplitud aceptable") se emplea para ejecutar el proceso de restricción de corriente en las etapas E60 y E70 (Fig. 5).

65 La Fig. 8A a la Fig. 8C son gráficos esquemáticos de ilustración de los procesos en las etapas E60 y E70. En la Fig.

- 8A a la Fig. 8C, el mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$  se muestra por el gráfico cuyo eje de ordenadas representa un valor de corriente acumulado y el eje de abscisas representa una densidad de corriente. En los gráficos de los mapas de amplitud aceptables  $M_{PA}$  de la Fig. 8A y la Fig. 8B, se sombrea la amplitud de funcionamiento aceptable. En este caso, en el sistema 100 de pilas de combustible de acuerdo con la primera realización, se establece una densidad de corriente límite inferior  $i_{lim}$  (también referida como "densidad de corriente mínima  $i_{lim}$ ") que debe producirse por la pila de combustible 10 para que la unidad de control 20 continúe el funcionamiento del sistema 100 de pilas de combustible. Por lo tanto, la amplitud igual o inferior a la densidad de corriente mínima  $i_{lim}$  no se incluye en la amplitud de funcionamiento aceptable.
- En la etapa E60, la unidad de control 20 adquiere una densidad de corriente  $i_1$  para un valor de corriente acumulado  $Qe_1$  adquirido por la unidad 21 de medición de valor de corriente acumulado (Fig. 8A). En lo sucesivo, la densidad de corriente adquirida empleando el mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$  también se denomina "densidad de corriente límite". Tenga en cuenta que el valor de la corriente acumulado  $Qe_1$  en este momento se obtiene basándose en la salida de corriente de la pila de combustible 10 durante los procesos de las etapas E20 a E60.
- En la etapa E70, la unidad de control 20 establece la densidad de corriente límite  $i_1$  obtenida en la etapa E60 como una densidad de corriente que es actualmente aceptable para la pila de combustible 10, y luego se lleva a la pila de combustible 10 a generar energía eléctrica en una densidad de corriente  $i_{1c}$ , (también referida como "densidad de corriente restringida  $i_{1c}$ ") que es menor que la densidad de corriente límite  $i_1$ . Concretamente, la unidad de control 20 puede restar un valor preestablecido  $\Delta i$  de la densidad de corriente límite  $i_1$  para calcular la densidad de corriente restringida  $i_{1c}$  ( $i_{1c} = i_1 - \Delta i$ ). Tenga en cuenta que el valor preestablecido  $\Delta i$  puede variar en función de una densidad de corriente límite. Concretamente, también es aplicable que, a medida que se reduce la densidad de corriente límite, el valor  $\Delta i$  aumenta.
- La amplitud de funcionamiento aceptable en el mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$  se reduce por el valor de corriente acumulado  $Qe_1$  en la dirección del eje de ordenadas, de modo que, en la etapa E70, cuando se inicia la generación de energía en la densidad de corriente restringida  $i_{1c}$  que es menor que la densidad de corriente límite  $i_1$ , la salida de energía eléctrica de la pila de combustible 10 cae en la amplitud de funcionamiento aceptable. Por consiguiente, es posible continuar el funcionamiento de la pila de combustible 10 mientras se evita la degradación del electrodo.
- En este caso, la unidad de control 20 inicia el proceso para recuperarse de un suministro deficiente de hidrógeno en la etapa E80 mientras la corriente se restringe para poder continuar el funcionamiento de la pila de combustible 10. Concretamente, es también aplicable que el caudal de hidrógeno suministrado a la pila de combustible 10 se aumente regulando el intervalo de accionamiento o la duración de apertura de la válvula del inyector 55, aumentando la velocidad de rotación de la bomba 64 de circulación de hidrógeno, o similares, para aumentar la presión de hidrógeno en la pila de combustible 10.
- Tenga en cuenta que, cuando el sistema 100 de pilas de combustible se coloca en un entorno de baja temperatura, el paso de flujo de gas del ánodo puede bloquearse por un contenido en agua congelada. Por lo tanto, en este caso, puede ejecutarse el proceso de aumento de la temperatura de la pila de combustible 10, por ejemplo, se reduce la velocidad de rotación de la bomba 73 de circulación de fluido refrigerante.
- Después de iniciar un proceso de recuperación de suministro deficiente de hidrógeno en la etapa E80, cuando la pila 11 de tensión negativa aún no se recupera de la tensión negativa, la unidad de control 20 repite de nuevo el proceso de restricción de corriente en las etapas E50 a E70 (etapa E90). En la etapa E50, al igual que en el caso previo, la unidad de control 20 adquiere un valor de corriente acumulado  $Qe_2$  basándose en la salida de corriente de la pila de combustible 10 desde cuando se ha detectado una tensión negativa hasta el tiempo de corriente (etapa E50). Después, el mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$  se emplea para adquirir una densidad de corriente límite  $i_2$  correspondiente al valor de corriente acumulado  $Qe_2$  (Fig. 8B). En la etapa E70, la unidad de control 20 lleva a la pila de combustible 10 a generar energía eléctrica en una densidad de corriente restringida  $i_{2c}$  que es menor que la densidad de corriente límite  $i_2$ .
- La FIG. 8C es un gráfico esquemático de ilustración de una variación en la densidad de corriente límite en el proceso restrictivo de corriente. El proceso de restricción de corriente en las etapas E50 a E80 se ejecuta reiteradamente hasta que la pila 11 de tensión negativa se recupere de la tensión negativa (etapa E90). Durante la repetición del proceso de restricción de corriente, la densidad de corriente límite se reduce de manera progresiva a lo largo de la curva mostrada en el gráfico (flechas en el gráfico) con un aumento en el valor de corriente acumulado. Además, la salida de corriente de la pila de combustible 10 se reduce de manera progresiva a lo largo de la curva mostrada en el gráfico, al igual que en el caso de la variación en la densidad de corriente límite. Tenga en cuenta que, cuando la densidad de corriente restringida adquirida en la etapa E60 sea inferior o igual a la densidad de corriente mínima  $i_{lim}$ , la unidad de control 20 determina que la pila 11 de tensión negativa no se ha recuperado de la tensión negativa y la energía eléctrica mínima de la pila de combustible 10 no puede obtenerse, y luego ejecuta el proceso de reinicio de la pila de combustible 10.
- De esta manera, con el sistema 100 de pilas de combustible de acuerdo con la primera realización, cuando se determina en el proceso de recuperación de tensión negativa que el motivo por el que se genera una tensión

negativa se debe a un suministro deficiente de hidrógeno, se continúa la generación de energía mientras se suprime una disminución de la tensión negativa al nivel de deterioro en el rendimiento por medio del proceso de restricción de corriente. Entonces, durante el proceso de restricción de corriente, se ejecuta el proceso de recuperación de tensión negativa. Por consiguiente, es posible suprimir el deterioro en el rendimiento de generación de energía de la pila de combustible 10 y la degradación de los electrodos de la pila de combustible 10 debido a la tensión negativa.

A continuación, se describirá una primera realización alternativa a la primera realización. La Fig. 9 es una vista esquemática que muestra la configuración eléctrica de un sistema 100a de pilas de combustible de acuerdo con la primera realización alternativa a la primera realización de la invención. La Fig. 9 es sustancialmente idéntica a la Fig. 2, excepto que se añade una unidad 23 de registro de valor de corriente acumulado. Tenga en cuenta que la otra configuración del sistema 100a de pilas de combustible en este ejemplo de configuración es similar a la del sistema 100 de pilas de combustible de acuerdo con la primera realización (Fig. 1). La unidad 23 de registro de valor de corriente acumulado (Fig. 9) del sistema 100a de pilas de combustible está formada por una memoria de datos no volátil borrrable y regrabable, tal como una memoria de solo lectura borrrable programable (EPROM).

La FIG. 10 es un diagrama de flujo que muestra el procedimiento de un proceso de recuperación de tensión negativa ejecutado por el sistema 100a de pilas de combustible. La Fig. 10 es sustancialmente idéntica a la Fig. 5, excepto que la etapa E100 se añade después de la etapa E90. En el sistema 100a de pilas de combustible, cuando se ha detectado una tensión negativa en la pila de combustible 10, se ejecuta un proceso de recuperación de tensión negativa, al igual que en el caso del sistema 100 de pilas de combustible de acuerdo con la primera realización. Entonces, en el proceso de recuperación de tensión negativa, cuando se determina que el motivo por el que se genera una tensión negativa se debe a un suministro deficiente de hidrógeno, se ejecuta un proceso de restricción de corriente similar al descrito en la primera realización (etapas E50 a E90).

Cuando la pila 11 de tensión negativa se ha recuperado de la tensión negativa durante el proceso de restricción de corriente, la unidad de control 20 registra el valor de corriente acumulado empleado en el proceso de restricción de corriente en la unidad 23 de registro de valor de corriente acumulado (etapa E100). En este caso, se supone que la pila 11 de tensión negativa se ha recuperado de la tensión negativa a través del proceso de restricción de corriente. En tal caso también, a menos que se lleve a cabo el mantenimiento del elemento 11 de generación de energía en el que se ha generado una tensión negativa, se genera de nuevo una tensión negativa en ese elemento 11 de generación de energía, y entonces una amplitud de funcionamiento aceptable cuando se inicia el proceso de restricción de corriente se encontrará en la amplitud de funcionamiento aceptable en el final del proceso de restricción de corriente previo.

Entonces, en la etapa E100, la unidad de control 20 registra de forma no volátil el valor de corriente acumulado en la preparación para el siguiente proceso de restricción de corriente. En este caso, la unidad de control 20 identifica los elementos 11 de generación de energía en los que se genera una tensión negativa (pilas 11 de tensión negativa) en el momento en que se produce una tensión negativa, y registra un valor de corriente acumulado en la unidad 23 de registro de valor acumulado para las pilas 11 de tensión negativa correspondientes.

Cuando el proceso de restricción de corriente se ejecuta de nuevo, la unidad de control 20 carga el valor de corriente acumulado que corresponde a cada pila 11 de tensión negativa y que se registra en la unidad 23 de registro de valor de corriente acumulado como valor inicial del valor de corriente acumulado, y luego inicia la medición del valor de corriente acumulado en la etapa E20. Es decir, la unidad de control 20 ejecuta el proceso de restricción de corriente empleando un valor de corriente acumulado total que se obtiene añadiendo el valor de corriente acumulado registrado en la unidad 23 de registro de valor de corriente acumulado y un valor de corriente acumulado de salida de corriente de la pila de combustible 10 después de reanudar el proceso de restricción de corriente. Tenga en cuenta que, cuando se mantiene el elemento 11 de generación de energía que provoca la generación de tensión negativa, puede inicializarse el valor de corriente acumulado del elemento 11 de generación de energía mantenido, registrado en la unidad 23 de registro de valor de corriente acumulado.

A continuación, se describirá una segunda realización alternativa a la primera realización. La Fig. 11 es una vista esquemática que muestra la configuración de un sistema 100b de pilas de combustible de acuerdo con la segunda realización alternativa a la primera realización de la invención. La Fig. 11 es sustancialmente idéntica a la Fig. 9, excepto que se añade una unidad de advertencia 25. Tenga en cuenta que la otra configuración del sistema 100b de pilas de combustible en este ejemplo de configuración es similar a la del sistema 100a de pilas de combustible en la primera realización alternativa (Fig. 9).

La unidad de advertencia 25 (Fig. 11) del sistema 100b de pilas de combustible advierte visual o auditivamente a un usuario del sistema 100b de pilas de combustible del mantenimiento de la pila de combustible 10 en respuesta a una señal de control procedente de la unidad de control 20. La unidad de advertencia 25 puede, por ejemplo, formarse por una pantalla o una unidad emisora de luz que sea reconocible por el usuario o puede formarse por un altavoz o un indicador acústico.

La Fig. 12 es un diagrama de flujo que muestra el procedimiento de un proceso de recuperación de tensión negativa ejecutado por el sistema 100b de pilas de combustible. La Fig. 12 es sustancialmente idéntica a la Fig. 10, excepto

que se añaden las etapas E62 y E63. En el proceso de recuperación de tensión negativa ejecutado por el sistema 100b de pilas de combustible de acuerdo con este ejemplo de configuración, se emplea el mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$  (Fig. 8A a Fig. 8C) para obtener una densidad de corriente límite en la etapa E60, y luego se determina en la etapa E62 si la densidad de corriente límite es inferior o igual a un umbral predeterminado. En este caso, el umbral predeterminado puede ser, por ejemplo, una densidad de corriente requerida para obtener energía eléctrica mediante la cual se puede continuar el funcionamiento del sistema 100b de pilas de combustible.

Cuando se determina en la etapa E62 que la densidad de corriente límite es inferior al umbral predeterminado, la unidad de control 20 determina que es difícil continuar el funcionamiento del sistema 100b de pilas de combustible a menos que se lleve a cabo el mantenimiento de la pila de combustible 10, y luego lleva a la unidad de advertencia 25 a ejecutar el proceso de advertencia (etapa E63). Concretamente, en el proceso de advertencia, es aplicable que se detenga el funcionamiento del sistema 100b de pilas de combustible y entonces se informa al usuario con un mensaje que da lugar a la sustitución de la pila 11 de tensión negativa.

De este modo, se proporciona al usuario del sistema mediante la unidad de advertencia 25, con el sistema 100b de pilas de combustible de acuerdo con este ejemplo de configuración, la información sobre la restricción de la salida de energía eléctrica de la pila de combustible 10 y la dificultad de continuar el funcionamiento del sistema 100b de pilas de combustible en el proceso de restricción de corriente. Por consiguiente, el usuario es capaz de conocer una situación en la que debe llevarse a cabo el mantenimiento de la pila de combustible 10. Tenga en cuenta que es aplicable que, cuando el valor de corriente acumulado es superior o igual a un umbral predeterminado mientras se ejecuta el proceso de restricción de corriente o cuando se registra el valor de corriente acumulado en la etapa E100, la unidad de control 20 informa al usuario de ese hecho a través de la unidad de advertencia 25.

A continuación, se describirá una segunda realización. La Fig. 13 es un diagrama de flujo que muestra el procedimiento de un proceso de recuperación de tensión negativa de acuerdo con la segunda realización de la invención. La Fig. 13 es sustancialmente idéntica a la Fig. 5, excepto que se proporcionan las etapas E61 y E71 en lugar de las etapas E60 y E70, y se añade la etapa E91. Tenga en cuenta que la configuración de un sistema de pila de combustible de acuerdo con la segunda realización es similar a la del sistema 100 de pilas de combustible descrito en la primera realización (Fig. 1 y Fig. 2). En el sistema de pila de combustible de acuerdo con la segunda realización, en las etapas E50 a E91, se obtiene un valor de corriente acumulado aceptable para la pila de combustible 10 y, a continuación, se ejecuta el proceso de restricción de corriente basándose en el valor de corriente acumulado.

La Fig. 14 es un gráfico de ilustración del proceso de restricción de corriente de acuerdo con la segunda realización, y es un gráfico que muestra un mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$  similar al descrito en la primera realización. En la etapa E61, la unidad de control 20 adquiere una densidad de corriente límite  $i_1$  correspondiente al valor de corriente acumulado  $Q_{e1}$  adquirido en la etapa E50. Entonces, se determina una densidad de corriente restringida  $i_{1c}$  que es menor, por medio de un valor preestablecido, que la densidad de corriente límite  $i_1$  como un valor de señal de control de salida para la pila de combustible 10, y luego se lleva a la pila de combustible 10 a generar energía eléctrica en la densidad de corriente restringida  $i_{1c}$ .

En la etapa E71, la unidad de control 20 emplea nuevamente el mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$  para adquirir un valor de corriente acumulado  $Q_{e2}$  correspondiente a la densidad de corriente restringida  $i_{1c}$  que es un valor de señal de control para la pila de combustible 10. La unidad de control 20 establece un valor menor, por medio de un valor predeterminado, que el valor de corriente acumulado  $Q_{e2}$  como un valor de corriente acumulado (en lo sucesivo, también referido como "valor de corriente acumulado límite") aceptable para la pila de combustible 10. A continuación, la unidad de control 20 ejecuta un proceso de recuperación de un suministro deficiente de hidrógeno en la etapa E80, y después determina en la etapa E90 si la pila 11 de tensión negativa se ha recuperado de la tensión negativa.

Cuando la pila 11 de tensión negativa se ha recuperado de la tensión negativa, la unidad de control 20 reanuda el control de funcionamiento normal (etapa E5). Además, cuando la pila 11 de tensión negativa no se recupera de la tensión negativa, la unidad de control 20 adquiere un valor de corriente acumulado en un periodo durante el cual se genera una tensión negativa de la unidad 21 de medición de valor de corriente acumulado, y luego determina si el valor de corriente acumulado ha alcanzado el valor de corriente acumulado límite adquirido en la etapa E71 (etapa E91). Cuando el valor de corriente acumulado actual no ha alcanzado el valor de corriente acumulado límite, la unidad de control 20 repite los procesos de las etapas E80 y E90.

Cuando el valor de corriente acumulado actual ha alcanzado el valor de corriente acumulado límite en la etapa E91, la unidad de control 20 regresa a la etapa E61 y, a continuación, establece una densidad de corriente  $i_{2c}$  que es menor, por medio de un valor preestablecido, que la densidad de corriente restringida  $i_{1c}$ , que se ha establecido como un valor de señal de control, al igual que un nuevo valor de señal de control para la pila de combustible 10. En la etapa E71, el mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$  se emplea para adquirir un valor de corriente acumulado  $Q_{e2}$  correspondiente a la densidad de corriente  $i_{2c}$ , y luego un valor de corriente acumulado límite se determina basándose en el valor de corriente acumulado  $Q_{e2}$ .



De esta manera, en el proceso de restricción de corriente de acuerdo con la segunda realización, la unidad de control 20 emplea el mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$  para obtener un valor de corriente acumulado límite correspondiente a una densidad de corriente establecida como valor de señal de control para la pila de combustible 10. A continuación, hasta que el valor de corriente acumulado esté próximo al valor de corriente acumulado límite, se lleva a la pila de combustible 10 a continuar la generación de energía en la densidad de corriente establecida como un valor de señal de control. Cuando el valor de corriente acumulado está próximo al valor de corriente acumulado límite, la unidad de control 20 disminuye la densidad de corriente que es un valor de señal de control, y adquiere de nuevo un valor de corriente acumulado límite que corresponde al valor de señal de control disminuido, para llevar de este modo a la pila de combustible 10 a continuar la generación de energía. Haciendo esto, como se indica por la flecha en el gráfico de la Fig. 14, la densidad de corriente de la pila de combustible 10 se reduce a lo largo de la curva mostrada en el gráfico de manera progresiva con un aumento en el valor de corriente acumulado.

Con el sistema de pila de combustible de acuerdo con la segunda realización así como en el caso del sistema 100 de pilas de combustible de acuerdo con la primera realización, es posible suprimir el deterioro en el rendimiento de generación de energía de la pila de combustible 10 y la degradación de los electrodos de la pila de combustible 10 debido a una tensión negativa. Tenga en cuenta que también es aplicable que la unidad de control 20 calcule una duración de generación de energía disponible en una densidad de corriente que es un valor de señal de control basándose en un valor de corriente acumulado límite adquirido del mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$ , y luego controla el momento en el que la densidad de corriente, es decir, el valor de señal de control, se reduce basándose en la duración de generación de energía.

A continuación, se describirá una tercera realización. La Fig. 15 es una vista esquemática que muestra la configuración eléctrica de un sistema 100B de pilas de combustible de acuerdo con la tercera realización de la invención. La Fig. 15 es sustancialmente idéntica a la Fig. 2, excepto que se añade un conmutador de conexión-desconexión 84 en la línea de alimentación eléctrica en corriente continua LCC y se añade una unidad 22 de modificación de amplitud aceptable en la unidad de control 20. Tenga en cuenta que la otra configuración del sistema 100B de pilas de combustible es similar a la configuración descrita en la primera realización (Fig. 1). No obstante, en el sistema 100B de pilas de combustible de acuerdo con la tercera realización, la pila de combustible 10 se hace funcionar a una temperatura de funcionamiento constante.

El conmutador de conexión-desconexión 84 se proporciona entre el convertidor de CC/CC 82 y la pila de combustible 10. El conmutador de conexión-desconexión 84 se abre o cierra en respuesta a una señal de control procedente de la unidad de control 20. Cuando el conmutador de conexión-desconexión 84 está cerrado, la pila de combustible 10 está conectada eléctricamente a la carga externa 200; mientras que, cuando el conmutador de conexión-desconexión 84 está abierto, la pila de combustible 10 está aislada eléctricamente de la carga externa 200. Tenga en cuenta que, cuando la pila de combustible 10 está aislada de la carga externa 200, la batería secundaria 81 es capaz de producir energía eléctrica suministrada a la carga externa 200.

En el sistema 100B de pilas de combustible de acuerdo con la tercera realización, la unidad de control 20 también funciona como la unidad 22 de modificación de amplitud aceptable. La unidad 22 de modificación de amplitud aceptable ejecuta un proceso para modificar la amplitud de funcionamiento aceptable de la pila de combustible 10 en un proceso de restricción de corriente de un proceso de recuperación de tensión negativa. Los detalles específicos del proceso se describirán más adelante.

La Fig. 16 es un diagrama de flujo que muestra el procedimiento del proceso de recuperación de tensión negativa de acuerdo con la tercera realización. La Fig. 16 es sustancialmente idéntica a la Fig. 5, excepto que se añade la etapa E65. En el sistema 100B de pilas de combustible de acuerdo con la tercera realización, como en el caso del sistema 100 de pilas de combustible de acuerdo con la primera realización, se ejecuta el proceso de recuperación de tensión negativa. Entonces, en el proceso de recuperación de tensión negativa, cuando se determina que se genera una tensión negativa debido a un suministro deficiente de hidrógeno, se ejecutan el proceso de restricción de corriente y el proceso de recuperación de suministro deficiente de hidrógeno.

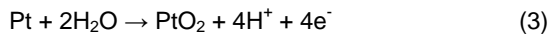
En este caso, en el proceso de restricción de corriente, cuando la corriente aceptable para la pila de combustible 10 es considerablemente menor que la corriente diana de la pila de combustible 10 para suministrar energía eléctrica requerida para la carga externa 200, existe la posibilidad de que la corriente insuficiente no pueda compensarse incluso con la batería secundaria 81. Entonces, en el sistema 100B de pilas de combustible de acuerdo con la tercera realización, cuando la diferencia entre la densidad de corriente límite adquirida en la etapa E60 y la densidad de corriente para producir la corriente diana de la pila de combustible 10 sea superior a un valor predeterminado, se lleva a la unidad 22 de modificación de amplitud aceptable a ejecutar el proceso de modificación de amplitud aceptable (etapa E65).

La Fig. 17 es un gráfico que ilustra una modificación de la amplitud de funcionamiento aceptable debido a una modificación en la humedad en el interior de la pila de combustible 10. El gráfico mostrado en la Fig. 17 se obtuvo llevando a cabo un experimento similar al experimento llevado a cabo para obtener el gráfico de la Fig. 7 en un estado en el que se redujo la humedad en el interior de la pila de combustible 10. Tenga en cuenta que, en la Fig. 17, al igual que en el caso del gráfico de la Fig. 7, se sombrea la amplitud de funcionamiento aceptable por debajo

de la curva mostrada en el gráfico. Además, en el gráfico de la Fig. 17, por razones de conveniencia, se muestran la línea discontinua que indica la curva mostrada en el gráfico de la Fig. 7 y la flecha que indica una modificación de la curva de línea discontinua.

5 Los inventores de la invención hallaron que, al disminuir la humedad en el interior de la pila de combustible 10, la curva que muestra la correlación entre un valor de corriente acumulado y una densidad de corriente en un periodo aceptable de generación de energía cambia de forma ascendente, y la amplitud aceptable de funcionamiento se expande. El motivo por el que se expande la amplitud de funcionamiento aceptable se debe al siguiente motivo.

10 Se sabe que, en el periodo aceptable de generación de energía, la reacción expresada por la fórmula de reacción (1) descrita anteriormente y la reacción expresada por la siguiente fórmula de reacción (3) se desarrollan en el ánodo de la pila 11 de tensión negativa desactivando así el catalizador.



15 A medida que disminuye la humedad en el interior de la pila de combustible 10, la cantidad de contenido en agua en el ánodo (el contenido en agua del conjunto de electrodos de membrana) se reduce, de modo que las reacciones anteriores se desarrollan poco a poco y se suprime la desactivación del catalizador. Por lo tanto, la amplitud de funcionamiento aceptable se expande por la cantidad que puede retrasarse en el desarrollo de la desactivación del catalizador.

20 Es decir, al disminuir la humedad en el interior de la pila de combustible 10, se puede expandir la amplitud de funcionamiento aceptable de la pila de combustible 10 en el proceso de restricción de corriente, de manera que es posible aumentar la densidad de corriente aceptable para la pila de combustible 10. A continuación, en el sistema 100B de pilas de combustible de acuerdo con la tercera realización, en el proceso de modificación de amplitud aceptable descrito a continuación, la humedad en el interior de la pila de combustible 10 se disminuye para expandir la amplitud de funcionamiento aceptable.

25 La Fig. 18 es un diagrama de flujo que muestra el procedimiento del proceso de modificación de amplitud aceptable ejecutado por la unidad 22 de modificación de amplitud aceptable. En la etapa E110, la unidad 22 de modificación de amplitud aceptable abre el conmutador de conexión-desconexión 84 para aislar eléctricamente la pila de combustible 10 de la carga externa 200. A continuación, se suministra energía eléctrica desde la batería secundaria 81 a la carga externa 200. La unidad 22 de modificación de amplitud aceptable lleva a la pila de combustible 10 a detener la generación de energía una vez para permitir así que la humedad en el interior de la pila de combustible 10 se regule con facilidad. En la etapa E120, se adquiere una humedad diana en el interior de la pila de combustible 10 para expandir la amplitud de funcionamiento aceptable.

30 La Fig. 19 es un gráfico que muestra un ejemplo de un mapa de determinación de humedad  $M_{DH}$  que es empleado por la unidad 22 de modificación de amplitud aceptable para determinar la humedad diana en el interior de la pila de combustible 10 en la etapa E120. El mapa de determinación de humedad  $M_{DH}$  se muestra como una curva de caída convexa descendente cuando el eje de ordenadas representa un valor de corriente acumulado y el eje de abscisas representa una humedad. El mapa de determinación de humedad  $M_{DH}$  se obtiene de manera tal que un experimento similar al descrito en la Fig. 7 se lleva a cabo para cada humedad en el interior de la pila de combustible 10 para obtener valores medidos, y luego los valores medidos se emplean para representar una combinación de un valor de corriente acumulado y una humedad para cada densidad de corriente de la pila de combustible 10.

35 La Fig. 20A y la Fig. 20B son gráficos de ilustración de un proceso de determinación de una humedad diana en el interior de la pila de combustible 10 empleando el mapa de determinación de humedad  $M_{DH}$  en la etapa E120. La Fig. 20A es un gráfico que muestra el mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$  empleado en la etapa E60 de la Fig. 16. En este caso, se supone que, en la etapa E60, se ha medido un valor de corriente acumulado  $Q_{e_a}$ , se ha determinado una densidad de corriente límite  $i_a$  a partir del mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$ , y la carga externa 200 requiere una densidad de corriente  $i_t$  fuera de la amplitud de funcionamiento aceptable de la pila de combustible 10. En este momento, la unidad 22 de modificación de amplitud aceptable determina una humedad diana en el interior de la pila de combustible 10 de la siguiente manera.

40 La unidad 22 de modificación de amplitud aceptable determina un valor de corriente acumulado  $Q_{e_i}$  que es superior, por medio de un valor predeterminado establecido previamente, al valor de corriente acumulado medido actualmente  $Q_{e_a}$  como el valor limítrofe de la amplitud de funcionamiento aceptable expandida. A continuación, se selecciona el mapa de determinación de humedad  $M_{DH}$  correspondiente a la densidad de corriente requerida entre los mapas de determinación de humedad  $M_{DH}$  preparados para las respectivas densidades de corriente, y después se emplea el mapa de determinación de humedad  $M_{DH}$  seleccionado para adquirir una humedad  $h$  correspondiente al valor de corriente acumulado  $Q_{e_i}$  como humedad diana (Fig. 20B).

45 En la etapa E130 (Fig. 18), la unidad 22 de modificación de amplitud aceptable ejecuta el control para que la humedad en el interior de la pila de combustible 10 coincida con la humedad diana adquirida en la etapa E120. Concretamente, la unidad 22 de modificación de amplitud aceptable aumenta la velocidad de rotación del compresor

de aire 32 de la unidad 30 de suministro de gas catódico (Fig. 1) para aumentar la cantidad de aire suministrado a la pila de combustible 10 y para disminuir la cantidad de humidificación del aire suministrado por medio de la unidad de humidificación 35. Al hacer esto, el interior de la pila de combustible 10 puede depurarse por el aire suministrado mediante el cual se disminuye la humedad, y la humedad en el interior de la pila de combustible 10 puede disminuir.

5 Tenga en cuenta que la unidad 22 de modificación de amplitud aceptable determina si la humedad en el interior de la pila de combustible 10 ha alcanzado la humedad diana basándose en el valor medido por la unidad 93 de medición de impedancia.

10 La Fig. 20C es un gráfico de ilustración de un proceso de modificación del mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$  en la etapa E140. La Fig. 20C es un gráfico que muestra el mapa de amplitud aceptable cambiado  $M_{PA}$ . Tenga en cuenta que, en la Fig. 20C, la curva que indica el mapa de amplitud aceptable precambiado  $M_{PA}$  se muestra por la línea discontinua, y la amplitud de funcionamiento aceptable se indica por sombreado.

15 En este caso, en el sistema 100B de pilas de combustible de acuerdo con la tercera realización, el mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$  para cada humedad en el interior de la pila de combustible 10 se prepara previamente y se memoriza en la unidad de control 20. La unidad 22 de modificación de amplitud aceptable selecciona el mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$  correspondiente a la humedad diana adquirida en la etapa E120 entre los mapas de amplitud aceptables  $M_{PA}$  para las humedades respectivas como un nuevo mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$ . En el proceso de restricción de corriente después de haber disminuido la humedad en el interior de la pila de combustible 10, se emplea el nuevo mapa de amplitud aceptable seleccionado  $M_{PA}$ . Tenga en cuenta que el nuevo mapa de amplitud aceptable seleccionado  $M_{PA}$  posee la amplitud de funcionamiento aceptable expandida, de modo que la densidad de corriente  $i_t$  requerida para la carga externa 200 se incluye en la amplitud de funcionamiento aceptable.

25 En la etapa E150 (Fig. 18), la unidad 22 de modificación de amplitud aceptable pone en marcha la pila de combustible 10, y cierra el conmutador de conexión-desconexión 84 (es decir, activa el interruptor de conexión-desconexión 84) para conectar eléctricamente la pila de combustible 10 a la carga externa 200. En la etapa E160, mientras se detiene la pila de combustible 10, se determina si la pila 11 de tensión negativa se ha recuperado de la tensión negativa. Cuando la pila 11 de tensión negativa se ha recuperado de la tensión negativa, se reanuda el control de funcionamiento normal (etapa E5 de la Fig. 16) de la pila de combustible 10. Por otra parte, cuando la pila 11 de tensión negativa no se ha recuperado de la tensión negativa, el proceso regresa a la etapa E50 y luego inicia el proceso de restricción de corriente empleando el nuevo mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$  seleccionado y cambiado.

35 De esta manera, el sistema 100B de pilas de combustible de acuerdo con la tercera realización es capaz de expandir la amplitud de funcionamiento aceptable de la pila de combustible 10 en el proceso de restricción de corriente mediante la regulación de la humedad en el interior de la pila de combustible 10. Por consiguiente, con el sistema 100B de pilas de combustible de acuerdo con la tercera realización, es posible suministrar de forma fiable energía eléctrica correspondiente a una petición procedente de la carga externa 200, al mismo tiempo que se suprime el deterioro en el rendimiento y la degradación de la pila de combustible debido a una tensión negativa.

40 A continuación, se describirá una cuarta realización. La Fig. 21A y la Fig. 21B son gráficos de ilustración de un proceso de modificación de amplitud aceptable en un sistema de pila de combustible de acuerdo con la cuarta realización de la invención. Tenga en cuenta que la configuración del sistema de pila de combustible de acuerdo con la cuarta realización es similar a la del sistema de pila de combustible de acuerdo con la tercera realización. No obstante, en el sistema de pila de combustible de acuerdo con la cuarta realización, la pila de combustible 10 funciona en un estado en el que la humedad en el interior de la pila de combustible 10 se mantiene constante.

50 La Fig. 21A es un gráfico que muestra una variación en la correlación entre un valor de corriente acumulado y una densidad de corriente en un periodo aceptable de generación de energía cuando se varía la temperatura de la pila de combustible 10, como en el caso de la Fig. 17. La línea continua de la Fig. 21A se obtuvo de manera tal que un experimento similar al experimento llevado a cabo para obtener el gráfico de la Fig. 7 se lleva a cabo en un estado en el que se disminuye la temperatura de la pila de combustible 10.

55 La curva que muestra la correlación entre un valor de corriente acumulado y una densidad de corriente cambió de forma ascendente cuando se disminuyó la temperatura de la pila de combustible 10. Esto se debe a que el desarrollo de la reacción expresada por la fórmula de reacción (3) descrita en la tercera realización se vuelve moderado debido a una disminución de la temperatura de la pila de combustible 10. De esta manera, disminuyendo la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10, al igual que en el caso descrito en la tercera realización, es posible expandir la amplitud de funcionamiento aceptable de la pila de combustible 10 en el proceso de restricción de corriente.

60 En este caso, un experimento similar al descrito en la Fig. 7 se lleva a cabo con una temperatura de funcionamiento diferente de la pila de combustible 10, y se obtiene previamente la correlación entre un valor de corriente acumulado y una densidad de corriente para cada temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10 para permitir de este modo obtener el mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$  para cada temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10. Además, es posible obtener un mapa de determinación de temperatura de funcionamiento  $M_{DT}$  para

5 cada densidad de corriente, que muestra la correlación entre un valor de corriente acumulado y una temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10 basándose en los datos experimentales. La Fig. 21B muestra un ejemplo del mapa de determinación de temperatura de funcionamiento  $M_{DT}$  en una densidad de corriente en un gráfico cuyo eje de ordenadas representa un valor de corriente acumulado y el eje de abscisas representa una temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10.

10 En el sistema de pila de combustible de acuerdo con la cuarta realización, el mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$  para cada temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10 y el mapa de determinación de temperatura de funcionamiento  $M_{DT}$  para cada densidad de corriente se memorizan previamente en la unidad de control 20. A continuación, el proceso de modificación de amplitud aceptable descrito en la tercera realización se ejecuta empleando estos mapas  $M_{PA}$  y  $M_{DT}$  al regular la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10 en lugar de regular la humedad en el interior de la pila de combustible 10. Tenga en cuenta que la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10 puede regularse de manera tal que la velocidad de rotación de la bomba 73 de circulación de fluido refrigerante de la unidad 70 de suministro de fluido refrigerante se controla para modificar la eficiencia de refrigeración mediante el fluido refrigerante.

20 De esta manera, con el sistema de pila de combustible de acuerdo con la cuarta realización, al igual que en el caso del sistema de pila de combustible de acuerdo con la tercera realización, es posible suministrar de manera fiable energía eléctrica correspondiente a una petición procedente de la carga externa 200 al mismo tiempo que se suprime el deterioro en el rendimiento y la degradación de la pila de combustible 10 debido a la tensión negativa.

25 A continuación, se describirá una quinta realización. La Fig. 22 es un diagrama de flujo que muestra el procedimiento de un proceso de recuperación de tensión negativa ejecutado en un sistema de pila de combustible de acuerdo con la quinta realización de la invención. La Fig. 22 es sustancialmente idéntica a la Fig. 12, excepto que se añade un proceso de control de fluido refrigerante de la etapa E68. Tenga en cuenta que la configuración del sistema de pila de combustible de acuerdo con la quinta realización es similar a la del sistema 100b de pilas de combustible de acuerdo con la segunda realización alternativa a la primera realización (Fig. 1, Fig. 11). Tenga en cuenta que, en el sistema de pila de combustible de acuerdo con la quinta realización, cuando la temperatura exterior o la temperatura de la pila de combustible 10 es inferior a cero o cuando el sistema se pone en marcha, el fluido refrigerante se suministra desde la unidad 70 de suministro de fluido refrigerante a la pila de combustible 10 en un caudal constante mínimo en el que se suprime la degradación de la pila de combustible 10.

35 En este caso, a fin de recuperarse de un estado en el que se genera una tensión negativa debido a la congelación en los pasos de flujo del gas de reacción de la pila de combustible 10, la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10 se lleva deseablemente a alcanzar una temperatura por encima de cero para eliminar el estado congelado. Sin embargo, cuando se ejecuta el proceso de restricción de corriente, la generación de calor de la pila de combustible 10 se suprime por la cantidad que se restringe de la corriente de salida de la pila de combustible 10 (ley de Joule). Por lo tanto, en este caso, es difícil aumentar la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10. Entonces, en el sistema de pila de combustible de acuerdo con la quinta realización, cuando el proceso de restricción de corriente se ejecuta en un entorno de baja temperatura, tal como por debajo de cero, se ejecuta el proceso de control de fluido refrigerante de la etapa E68 para facilitar un aumento de la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10.

45 La Fig. 23 es un diagrama de flujo que muestra el procedimiento del proceso de control de fluido refrigerante de la etapa E68. El proceso de control de fluido refrigerante puede ejecutarse cada vez que se ejecuta el proceso de restricción de corriente en el momento de la puesta en marcha del sistema de pila de combustible. Además, el proceso de control de fluido refrigerante puede ejecutarse cuando la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10, obtenida basándose en los valores medidos por las unidades 74 y 75 de medición de temperatura de fluido refrigerante, es inferior a cero o cuando la temperatura exterior es inferior a cero.

50 En la etapa E200, la unidad de control 20 adquiere un valor calorífico estimado (en lo sucesivo, referido como "valor calorífico estimado  $Q_e$ ") cuando se lleva a la pila de combustible 10 a generar energía eléctrica durante una duración de generación de energía predeterminada  $t$  (por ejemplo, aproximadamente 10 a 30 segundos) en una densidad de corriente restringida obtenida a partir de una densidad de corriente límite. Concretamente, la unidad de control 20 puede calcular el valor calorífico estimado  $Q_e$  empleando la expresión matemática (4) en base a la ley de Joule.

$$Q_e = I^2 \times R \times t \quad (4)$$

60 En este caso,  $I$  es una densidad de corriente restringida, y  $R$  es una constante que se preestablece basándose en la resistencia interna de la pila de combustible 10. Tenga en cuenta que la unidad de control 20 puede adquirir un valor calorífico estimado correspondiente a una densidad de corriente restringida basándose en un mapa o tabla obtenido previamente a través de un experimento, o similares, en lugar de la expresión matemática anterior (4).

65 En la etapa E210, la unidad de control 20 adquiere una capacidad calorífica supuesta  $C_c$  de la pila de combustible 10 cuando el fluido refrigerante circula en la pila de combustible 10 por medio de la unidad 70 de suministro de fluido

refrigerante. En este caso la "capacidad calorífica supuesta  $C_c$  de la pila de combustible 10" es un valor correspondiente a una cantidad calorífica por la que la temperatura de la pila de combustible 10 aumenta en 1 °C.

A propósito, cuando se hace circular fluido refrigerante en la pila de combustible 10, la cantidad calorífica requerida para aumentar la temperatura de la pila de combustible 10 varía en función de la temperatura de la pila de combustible 10 o de la temperatura y caudal de fluido refrigerante. Como se ha descrito previamente, en el sistema de pila de combustible de acuerdo con la quinta realización, se suministra fluido refrigerante a la pila de combustible 10 en un caudal constante mínimo preestablecido. Entonces, en el sistema de pila de combustible de acuerdo con la quinta realización, la unidad de control 20 memoriza previamente un mapa o tabla que es capaz de determinar de manera única una capacidad calorífica supuesta  $C_c$  correspondiente a la temperatura del fluido refrigerante y a la temperatura de la pila de combustible 10, y emplea el mapa o la tabla para adquirir la capacidad calorífica supuesta  $C_c$ .

En la etapa E220, la unidad de control 20 emplea el valor calorífico estimado  $Q_e$  adquirido en la etapa E200 y la capacidad calorífica supuesta  $C_c$  de la pila de combustible 10 adquirida en la etapa E210, para calcular una temperatura estimada  $T_e$  que es una temperatura prevista de la pila de combustible 10 después de la duración de generación de energía predeterminada  $t$ . Concretamente, la temperatura estimada  $T_e$  puede calcularse empleando la siguiente expresión matemática (5).

$$Q_e = C_c \times (T_e - T_m) \quad (5)$$

En este caso,  $T_m$  es una temperatura de funcionamiento medida de la corriente de la pila de combustible 10.

En la etapa E230, la unidad de control 20 determina si la temperatura estimada  $T_e$  calculada en la etapa E220 es inferior o igual a un umbral predeterminado. En este caso, el umbral predeterminado puede establecerse a una temperatura (por ejemplo, 0 °C) en la que se comienza a eliminar un estado congelado en los pasos de flujo de gas de reacción de la pila de combustible 10.

Cuando la temperatura estimada  $T_e$  es superior al umbral predeterminado, la unidad de control 20 ejecuta los procesos en la etapa E70 y en las siguientes etapas del proceso de restricción de corriente (Fig. 22) mientras se continúa el suministro de fluido refrigerante a la pila de combustible 10 en el supuesto de que la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10 alcance un valor diana en una duración de generación de energía predeterminada  $t$ . Por otra parte, cuando la temperatura estimada  $T_e$  es inferior o igual al umbral predeterminado, la unidad de control 20 detiene el suministro y la circulación de fluido refrigerante a la pila de combustible 10 a fin de facilitar un aumento de temperatura de la pila de combustible 10 en la duración de generación de energía predeterminada  $t$  (etapa E240).

En este caso, en el sistema de pila de combustible de acuerdo con la quinta realización, como se ha descrito previamente, se suministra fluido refrigerante a la pila de combustible 10 incluso cuando la temperatura de la pila de combustible 10 sea baja, tal como en el momento de puesta en marcha del sistema. Esto se debe al siguiente motivo. Es decir, en el momento de puesta en marcha del sistema, o similares, debido al bloqueo de los pasos de flujo de gas en el interior de la pila de combustible 10, es muy probable que la cantidad de energía eléctrica generada se vuelva no uniforme entre los elementos 11 de generación de energía de la pila de combustible 10 o entre regiones de generación de energía de cada elemento 11 de generación de energía.

Cuando el suministro de fluido refrigerante a la pila de combustible 10 se detiene mientras una distribución de generación de energía en el interior de la pila de combustible 10 es no uniforme, el elemento 11 de generación de energía o región que genera una cantidad relativamente grande de energía eléctrica puede degradarse de modo local debido a la generación de calor resultante de la generación de energía. Con el fin de evitar la degradación local de la pila de combustible 10 debido a la cantidad no uniforme de valor calorífico, incluso cuando la temperatura de la pila de combustible 10 sea baja, el fluido refrigerante se suministra deseablemente a la pila de combustible 10.

Sin embargo, cuando se ejecuta el proceso de restricción de corriente, el valor calorífico de la pila de combustible 10 está restringido, de modo que el valor calorífico es relativamente pequeño en una sección en la que la cantidad de energía eléctrica generada aumenta de modo local en la pila de combustible 10. Por consiguiente, al igual que en el caso de la etapa E240, incluso cuando el suministro de fluido refrigerante a la pila de combustible 10 se detiene durante el proceso de restricción de corriente, es menos probable que la degradación de la pila de combustible 10 se produzca debido al valor calorífico no uniforme descrito previamente. Por lo tanto, al detener el suministro de fluido refrigerante, es posible facilitar un aumento de la temperatura de la pila de combustible 10 sin degradar la pila de combustible 10.

Una vez detenido el suministro de fluido refrigerante a la pila de combustible 10 en la etapa E240, la unidad de control 20 ejecuta los procesos de la etapa E70 y de las siguientes etapas del proceso de restricción de corriente (Fig. 22). Tenga en cuenta que, cuando la pila 11 de tensión negativa se ha recuperado de la tensión negativa y se reanuda el funcionamiento normal de la pila de combustible 10, la unidad de control 20 reinicia el suministro de fluido refrigerante a la pila de combustible 10.

De esta manera, con el sistema de pila de combustible de acuerdo con la quinta realización, incluso cuando se produce una tensión negativa en la pila de combustible 10 y se ejecuta el proceso de restricción de corriente, el suministro de fluido refrigerante a la pila de combustible 10 se controla apropiadamente para facilitar un aumento de la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10. Por consiguiente, la recuperación del estado de tensión negativa se facilita con un aumento de la temperatura de la pila de combustible 10.

A continuación, se describirá una sexta realización. La Fig. 24 es un diagrama de flujo que muestra el procedimiento de un proceso de recuperación de tensión negativa ejecutado en un sistema de pila de combustible de acuerdo con la sexta realización de la invención. La Fig. 24 es sustancialmente idéntica a la Fig. 22, excepto que se proporciona la etapa E68F en lugar de la etapa E68. Tenga en cuenta que la configuración del sistema de pila de combustible de acuerdo con la sexta realización es similar a la configuración del sistema de pila de combustible descrito en la quinta realización (Fig. 1, Fig. 11). Tenga en cuenta que, en el sistema de pila de combustible de acuerdo con la sexta realización, la unidad de control 20 mide y registra periódicamente la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10 (por ejemplo, en un intervalo de un segundo).

En el sistema de pila de combustible de acuerdo con la sexta realización, cuando el proceso de restricción de corriente se ejecuta mientras el sistema se pone en marcha o la temperatura de la pila de combustible 10 es baja (por ejemplo, la temperatura es igual o inferior a 0 °C), se ejecuta un primer o un segundo proceso de control de fluido refrigerante después de la etapa E62 (etapa E68F). Concretamente, en la etapa E68F después de iniciar el proceso de restricción de corriente, se ejecuta el primer proceso de control de fluido refrigerante. A continuación, a través de las etapas del proceso de restricción de corriente, cuando se cumple con una condición predeterminada en el momento en que se vuelve a ejecutar la etapa E68F, se ejecuta el segundo proceso de control de fluido refrigerante.

La Fig. 25A es un diagrama de flujo que muestra el procedimiento del primer proceso de control de fluido refrigerante. La Fig. 25A es sustancialmente idéntica a la Fig. 23. Es decir, el primer proceso de control de fluido refrigerante se ejecuta de manera similar al proceso de control de fluido refrigerante descrito en la quinta realización. En el primer proceso de control de fluido refrigerante, cuando se determina en la etapa E230 que es difícil que la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10 alcance la temperatura de funcionamiento diana a través del proceso de restricción de corriente, el suministro de fluido refrigerante a la pila de combustible 10 se detiene (etapa E240).

La Fig. 25B es un diagrama de flujo que muestra el procedimiento del segundo proceso de control de fluido refrigerante. El segundo proceso de control de fluido refrigerante se ejecuta cuando el suministro de fluido refrigerante a la pila de combustible 10 no se detiene en el primer proceso de control de fluido refrigerante. En la etapa E250, la unidad de control 20 calcula la tasa de aumento (dT/dt) de la temperatura de funcionamiento T, que es la tasa de modificación temporal en la temperatura de funcionamiento T de la pila de combustible 10, basándose en la temperatura de funcionamiento registrada de la pila de combustible 10.

En la etapa E260, la unidad de control 20 calcula un tiempo estimado  $t_e$  hasta que la temperatura de funcionamiento T de la pila de combustible 10 alcance una temperatura de funcionamiento diana (por ejemplo, 0 °C) basándose en la tasa de aumento calculada en la temperatura de funcionamiento T. En la etapa E270, la unidad de control 20 ejecuta el proceso de determinación empleando el tiempo estimado  $t_e$ . Cuando el tiempo estimado  $t_e$  es superior a un umbral predeterminado (por ejemplo, 30 segundos), la unidad de control 20 determina que la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10 no alcanza la temperatura de funcionamiento diana en un periodo predeterminado en un estado en el que se continúa el suministro de fluido refrigerante, y luego detiene el suministro de fluido refrigerante a la pila de combustible 10 (etapa E280).

Por otra parte, cuando el tiempo estimado  $t_e$  es menor o igual que el umbral predeterminado, la unidad de control 20 determina que la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10 puede alcanzar la temperatura de funcionamiento diana en el periodo predeterminado incluso cuando se continúe el suministro de fluido refrigerante a la pila de combustible 10. A continuación, la unidad de control 20 ejecuta incesantemente el proceso de restricción de corriente (Fig. 22) al mismo tiempo que se continúa el suministro de fluido refrigerante a la pila de combustible 10.

En este caso, en el primer proceso de control de fluido refrigerante, incluso cuando se determina que la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10 alcanza la temperatura diana en una duración de generación de energía predeterminada incluso cuando se continúa el suministro de fluido refrigerante, la temperatura de funcionamiento puede no aumentar de la forma prevista puesto que la salida de energía eléctrica de la pila de combustible 10 está restringida. No obstante, con el sistema de pila de combustible de acuerdo con la sexta realización, en el segundo proceso de control de fluido refrigerante, se determina de nuevo si el suministro de fluido refrigerante a la pila de combustible 10 se continúa basándose en la tasa de modificación temporal en las temperaturas de funcionamiento medidas actualmente de la pila de combustible 10. Por consiguiente, cuando el proceso de restricción de corriente se ejecuta mientras el sistema se pone en marcha o la temperatura de la pila de combustible 10 es baja, el control de suministro de fluido refrigerante se ejecuta además de manera apropiada, de modo que se facilita un aumento de la temperatura de la pila de combustible 10, y se facilita la recuperación del estado de tensión negativa.

La Fig. 26A y la Fig. 26B son gráficos que muestran los resultados de los experimentos llevados a cabo por los inventores de la invención como ejemplos de referencia de la invención. La Fig. 26A y la Fig. 26B son gráficos que muestran una variación temporal en la temperatura de la pila de tensión negativa (temperatura de la pila) y una variación temporal en la densidad de corriente de la pila de combustible cuando se lleva a una de las pilas unitarias de la pila de combustible a generar una tensión negativa en un entorno de baja temperatura por debajo de cero. La Fig. 26A muestra el caso en el que la salida de energía eléctrica de la pila de combustible está restringida en una densidad de corriente constante sustancialmente baja. La Fig. 26B muestra el caso en el que la densidad de corriente se aumenta gradualmente. Tenga en cuenta que la escala de cada uno de los ejes de ordenadas y ejes de abscisas de la Fig. 26A y de la Fig. 26B es igual entre sí.

En este caso, la tensión negativa en parte de las pilas unitarias de la pila de combustible puede ocurrir probablemente puesto que el contenido en agua que permanece en los pasos de flujo de gas de reacción proporcionados en la parte de las pilas unitarias se congela en un entorno de baja temperatura y entonces los pasos de flujo de gas se bloquean. En tal caso, es deseable que la temperatura de la pila de combustible se aumente para descongelar el contenido en agua congelada de los pasos de flujo de gas para eliminar así el suministro deficiente de gas de reacción, recuperándose de este modo de la tensión negativa.

Como se muestra en los gráficos de la Fig. 26A y la Fig. 26B, un aumento en la temperatura de la pila es más ligero cuando se lleva a la pila de combustible a producir energía eléctrica en una densidad de corriente baja constante que cuando se lleva a la pila de combustible a producir energía eléctrica en una densidad de corriente superior a la densidad de corriente baja constante. Por consiguiente, cuando se genera una tensión negativa, se lleva deseablemente a la pila de combustible a producir energía eléctrica en una densidad de corriente elevada lo más posible para aumentar así la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible en un breve periodo de tiempo.

En el proceso de restricción de corriente cuando se genera una tensión negativa, descrito en las realizaciones anteriores, la densidad de corriente se disminuye de manera progresiva a lo largo de la curva convexa descendente que muestra el mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$  con un aumento en el valor de corriente acumulado. Haciendo esto, la pila de combustible 10 puede funcionar cercana a una densidad de corriente límite aceptable en la amplitud de funcionamiento aceptable, de manera que es posible aumentar la temperatura de la pila de combustible 10 en un periodo de tiempo menor en un entorno de baja temperatura, por lo que es fácil recuperarse de la tensión negativa. Es decir, es más deseable en el caso del proceso de restricción de corriente de acuerdo con las realizaciones anteriores que cuando la corriente se restringe a una densidad de corriente baja constante cuando se genera una tensión negativa.

Tenga en cuenta que el aspecto de la invención no se limita a los ejemplos o realizaciones anteriores; el aspecto de la invención puede implementarse en diversas formas sin apartarse del alcance de la invención. Por ejemplo, son posibles las siguientes primera a decimotercera realizaciones alternativas.

En primer lugar, se describirá la primera realización alternativa. En las realizaciones descritas previamente, la unidad de control 20 memoriza, como el mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$ , la correlación entre los valores de corriente acumulados aceptables para la pila de combustible 10 y las densidades de corriente aceptables para la pila de combustible 10 en un periodo durante el cual se genera una tensión negativa. Sin embargo, la correlación no necesita memorizarse como un mapa; en su lugar, por ejemplo, la correlación puede memorizarse como una expresión aritmética o una función.

A continuación, se describirá la segunda realización alternativa. En las realizaciones descritas previamente, la correlación entre los valores de corriente acumulados aceptables para la pila de combustible 10 y las densidades de corriente aceptables para la pila de combustible 10 en un periodo durante el cual se genera una tensión negativa se establece en el mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$  definido por la curva de caída convexa descendente. Sin embargo, la correlación puede establecerse en el mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$  definido por una curva que posee otra forma. Por ejemplo, la correlación puede establecerse en el mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$  definido por una línea lineal que se desciende linealmente. Sin embargo, la curva de caída convexa descendente que define el mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$  en las realizaciones anteriores se basa en el experimento llevado a cabo por los inventores de la invención, y es más deseable como un gráfico que define la amplitud de funcionamiento aceptable en un periodo durante el cual se genera una tensión negativa.

A continuación, se describirá la tercera realización alternativa. En las realizaciones descritas previamente, en el proceso de restricción de corriente del proceso de recuperación de tensión negativa, la densidad de corriente de la pila de combustible 10 se disminuye de manera progresiva a lo largo de la curva convexa descendente que define el mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$  con un aumento en el valor de corriente acumulado. No obstante, en el proceso de restricción de corriente, la densidad de corriente de la pila de combustible 10 puede no disminuir de manera progresiva a lo largo de la curva convexa descendente. La densidad de corriente de la pila de combustible 10 solo necesita controlarse de modo que caiga dentro de la amplitud de funcionamiento aceptable que se define en el mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$ . No obstante, como en el caso de las realizaciones anteriores, la densidad de corriente de la pila de combustible 10 se disminuye de forma más deseable de manera progresiva a lo largo de la curva

convexa descendente ya que es posible ejecutar un control en una densidad de corriente más próxima a una densidad de corriente límite aceptable en el proceso de restricción de corriente.

5 A continuación, se describirá la cuarta realización alternativa. En las realizaciones descritas previamente, la unidad 91 de medición de tensión de pila mide las tensiones de todos los elementos 11 de generación de energía de la pila de combustible 10 para detectar de ese modo la tensión negativa. No obstante, la unidad 91 de medición de tensión de pila no necesita medir las tensiones de todos los elementos 11 de generación de energía; la unidad 91 de medición de tensión de pila solo necesita medir la tensión de al menos uno de los elementos 11 de generación de energía para detectar de ese modo una tensión negativa. Por ejemplo, se sabe que es muy probable que la tensión negativa se produzca en el elemento 11 de generación de energía dispuesto en el extremo de la pila de combustible 10, en el que la temperatura de funcionamiento tiende a ser la más baja, entre los elementos 11 de generación de energía. Entonces, la unidad 91 de medición de tensión de pila puede medir la tensión de solo el elemento 11 de generación de energía dispuesto en el extremo para detectar una tensión negativa.

15 A continuación, se describirá la quinta realización alternativa. En la primera realización, la densidad de corriente mínima  $i_{lim}$  se establece como una densidad de corriente límite mínima de la pila de combustible 10 en el proceso de restricción de corriente, y la unidad de control 20 ejecuta el proceso de reinicio de la pila de combustible 10 empleando la densidad de corriente mínima  $i_{lim}$  como umbral. No obstante, la densidad de corriente mínima  $i_{lim}$  puede no establecerse en la unidad de control 20.

20 A continuación, se describirá la sexta realización alternativa. En la tercera o cuarta realización, una de la humedad en el interior de la pila de combustible 10 y de la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10 se regula para ejecutar el proceso de expansión de la amplitud de funcionamiento aceptable. No obstante, también es aplicable que tanto la humedad en el interior de la pila de combustible 10 como la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10 se regulen para expandir la amplitud de funcionamiento aceptable. En este caso, es deseable que se prepare un mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$  para cada combinación de la humedad en el interior de la pila de combustible 10 y de la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10.

30 A continuación, se describirá la séptima realización alternativa. En la tercera o cuarta realización, la unidad 22 de modificación de amplitud aceptable selecciona el mapa correspondiente a la humedad en el interior de la pila de combustible 10 o a la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10 entre los mapas de amplitud aceptables  $M_{PA}$  preparados previamente para cada humedad en el interior de la pila de combustible 10 o para cada temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10 para expandir la amplitud de funcionamiento aceptable. No obstante, la unidad 22 de modificación de amplitud aceptable puede emplear una expresión aritmética preestablecida, un algoritmo, o similares, para corregir la correlación establecida en el mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$  en respuesta a la humedad en el interior de la pila de combustible 10 o a la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10 para expandir de este modo la amplitud de funcionamiento aceptable.

40 A continuación, se describirá la octava realización alternativa. En las realizaciones descritas previamente, la correlación entre las densidades de corriente de la pila de combustible 10 y los valores de corriente acumulados de la pila de combustible 10 se establece en el mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$ . No obstante, la correlación entre los valores de corriente, en lugar de las densidades de corriente, de la pila de combustible 10 y los valores de corriente acumulados de la pila de combustible 10 puede establecerse en el mapa de amplitud aceptable  $M_{PA}$ . El valor de corriente de la pila de combustible 10 se obtiene multiplicando la densidad de corriente por el área del electrodo, de modo que la correlación entre los valores de corriente de la pila de combustible 10 y los valores de corriente acumulados de la pila de combustible 10 también puede considerarse como un tipo de correlación entre las densidades de corriente de la pila de combustible 10 y los valores de corriente acumulados de la pila de combustible 10.

50 A continuación, se describirá la novena realización alternativa. En los sistemas de pilas de combustible de acuerdo con las realizaciones descritas previamente, cuando la pila de tensión negativa no se ha recuperado de la tensión negativa después de aumentar la cantidad de gas catódico suministrado, se determina que se genera una tensión negativa debido a un suministro deficiente de hidrógeno, y luego se ejecuta el proceso de restricción de corriente. No obstante, también es aplicable que el proceso de restricción de corriente se inicie después de que se haya detectado una tensión negativa sin ejecutar el proceso de recuperación de tensión negativa mediante el aumento de la cantidad de gas catódico suministrado.

60 A continuación, se describirá la décima realización alternativa. En los sistemas de pilas de combustible de acuerdo con las realizaciones descritas previamente, el proceso para la recuperación de la tensión negativa se inicia cuando se ha detectado una tensión negativa, y el proceso de restricción de corriente se ejecuta en ese proceso. No obstante, también es aplicable que, en el sistema de pila de combustible, el proceso de restricción de corriente se ejecute cuando se cumpla con una condición ambiental preestablecida que indica una posibilidad de que se genere una tensión negativa incluso cuando no se ha detectado una tensión negativa. Por ejemplo, el proceso de restricción de corriente descrito en las realizaciones anteriores puede ejecutarse en un entorno en el que la temperatura exterior es igual o inferior a cero, cuando la temperatura de la pila de combustible 10 esté cercana a una temperatura igual o inferior a cero, o similares. Además, pueden ejecutarse el proceso de advertencia (etapa E63 de



la Fig. 12), el proceso de modificación de amplitud aceptable (etapa E65 de la Fig. 16) o el proceso de control de fluido refrigerante (etapa E68 de la Fig. 22, etapa E68F de la Fig. 24) de acuerdo con el proceso de restricción de corriente.

5 A continuación, se describirá la undécima realización alternativa. En la segunda, tercera o cuarta realización descrita previamente, como se describe en otro ejemplo de configuración de la primera realización, el valor de corriente acumulado puede registrarse de forma no volátil en la unidad 23 de registro de valor de corriente acumulado. Además, cuando el valor de corriente acumulado límite es superior o igual a un umbral predeterminado o cuando la densidad de corriente restringida es inferior o igual a un umbral predeterminado, el proceso de advertencia puede ser ejecutado por la unidad de advertencia 25.

10 A continuación, se describirá la duodécima realización alternativa. En la quinta realización descrita previamente, se determina si se continúa el suministro de fluido refrigerante basándose en el valor calorífico estimado  $Q_e$  o en la temperatura estimada  $T_e$  de la pila de combustible 10, calculados empleando la capacidad calorífica supuesta  $C_c$ . En su lugar, la unidad de control 20 puede controlar el caudal de fluido refrigerante suministrado a la pila de combustible 10 basándose en la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10 y en el valor calorífico estimado  $Q_e$ . Es decir, la unidad de control 20 puede disminuir el caudal de fluido refrigerante suministrado a la pila de combustible 10 a medida que el valor calorífico estimado  $Q_e$  se reduce, y puede disminuir el grado de disminución del caudal de fluido refrigerante suministrado a medida que la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible 10 aumenta.

15 A continuación, se describirá la decimotercera realización alternativa. En la quinta realización descrita previamente, la unidad de control 20 emplea el mapa o tabla preparado previamente para adquirir una capacidad calorífica supuesta  $C_c$  correspondiente a la temperatura de la pila de combustible 10 y a la temperatura del fluido refrigerante. No obstante, la unidad de control 20 puede tener una capacidad calorífica supuesta  $C_c$  como una constante que es irrelevante para la temperatura de la pila de combustible 10 o para la temperatura del fluido refrigerante. En este caso, la capacidad calorífica supuesta  $C_c$  puede establecerse como la suma ( $CFC + CRE$ ) del CFC total de las capacidades caloríficas de los componentes de la pila de combustible 10 y de la capacidad calorífica CRE de una cantidad constante de fluido refrigerante presente en el interior de la pila de combustible 10.

20  
25  
30

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema de pila de combustible que produce energía eléctrica en respuesta a una petición procedente de una carga externa, que comprende:

5 una pila de combustible (10) que posee al menos un elemento (11) de generación de energía;  
 una unidad (91) de detección de tensión negativa que está configurada para detectar una tensión negativa en el al menos un elemento de generación de energía;  
 una unidad de control (20) que está configurada para controlar la salida de energía eléctrica de la pila de  
 10 combustible (10); y  
 una unidad (21) de medición de valor de corriente acumulado que está configurada para medir un valor de corriente acumulado que se obtiene por una integración en el tiempo de la salida de corriente de la pila de combustible (10), en el que  
 15 la unidad de control (20) está configurada para memorizar previamente una correlación entre los valores de corriente acumulados que son aceptables durante un periodo en el cual se genera una tensión negativa en el al menos un elemento (11) de generación de energía y las densidades de corriente que son aceptables en el periodo y  
 cuando se ha detectado una tensión negativa en el al menos un elemento (11) de generación de energía, la  
 20 unidad de control (20) está configurada para ejecutar un proceso de restricción de salida que restringe la salida de energía eléctrica de la pila de combustible (10) de manera que caiga en una amplitud de funcionamiento aceptable definida por los valores de corriente acumulados aceptables y las densidades de corriente aceptables de la correlación.

2. El sistema de pila de combustible según la reivindicación 1, en el que  
 25 cuando la correlación se muestra por un gráfico cuyo primer eje representa un valor de corriente acumulado de la pila de combustible (10) y un segundo eje representa una densidad de corriente de la pila de combustible (10), la correlación se muestra como una curva convexa descendente en la que la densidad de corriente aceptable disminuye a medida que el valor de corriente acumulado aceptable aumenta.

3. El sistema de pila de combustible según la reivindicación 2, en el que  
 30 en el proceso de restricción de salida, la unidad de control (20) está configurada para disminuir la densidad de corriente de la pila de combustible (10) a lo largo de la curva convexa descendente, que indica valores máximos de las densidades de corriente aceptables, con un aumento en el valor de corriente acumulado.

4. El sistema de pila de combustible según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende además:  
 35 una unidad de regulación del estado de funcionamiento que está configurada para incluir al menos una de una unidad de humidificación (35) que controla una cantidad de humidificación de gas de reacción suministrado a la pila de combustible (10) a fin de regular un estado húmedo en el interior de la pila de combustible (10) y una  
 40 unidad (70) de suministro de fluido refrigerante que controla un caudal de fluido refrigerante suministrado a la pila de combustible (10) a fin de regular una temperatura de funcionamiento de la pila de combustible (10); y  
 una unidad de modificación de correlación que está configurada para modificar la correlación en respuesta a, al menos, uno del estado húmedo en el interior de la pila de combustible (10) y la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible (10), en el que  
 45 cuando una densidad de corriente correspondiente a una corriente de salida requerida para la carga externa en un periodo durante el cual se genera una tensión negativa en el al menos un elemento (11) de generación de energía es superior a un valor predeterminado, la unidad de control (20) está configurada para llevar a la unidad de regulación del estado de funcionamiento a regular al menos uno del estado húmedo en el interior de la pila de combustible (10) y de la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible (10) de manera que expanda la  
 50 amplitud de funcionamiento aceptable de manera tal que la correlación sea modificada por la unidad de modificación de correlación.

5. El sistema de pila de combustible según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que, cuando se completa el proceso de restricción de salida, la unidad de control (20) está configurada para memorizar de forma no volátil un valor de corriente acumulado de la salida de corriente de la pila de combustible (10) en el proceso de restricción de salida y, cuando se reanuda el proceso de restricción de salida, la unidad de control (20) está configurada para ejecutar el proceso de restricción de salida empleando un valor de corriente acumulado total que se obtiene añadiendo el valor de corriente acumulado memorizado y un valor de corriente acumulado de la salida de corriente de la pila de combustible (10) después de haber reanudado el proceso de restricción de salida.  
 60

6. El sistema de pila de combustible según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende además:  
 una unidad de advertencia (25) que está configurada para advertir a un usuario sobre la degradación de la pila de combustible (10), en el que  
 65 la unidad de control (20) está configurada para memorizar previamente un valor límite inferior de la densidad de corriente de la pila de combustible (10) y, cuando la densidad de corriente de la pila de combustible (10) es

inferior al valor límite inferior en el proceso de restricción de salida, la unidad de control (20) está configurada para llevar a la unidad de advertencia (25) a advertir al usuario sobre la degradación de la pila de combustible (10).

5 7. El sistema de pila de combustible según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende además:

una unidad (70) de suministro de fluido refrigerante que está configurada para suministrar fluido refrigerante a la pila de combustible (10) para controlar así una temperatura de la pila de combustible (10); y  
 10 una unidad de medición de temperatura que está configurada para medir una temperatura de funcionamiento de la pila de combustible (10), en el que,  
 en el proceso de restricción de salida, la unidad de control (20) está configurada para obtener un valor calorífico estimado que es un valor calorífico de la pila de combustible (10) cuando se lleva a la pila de combustible (10) a producir energía eléctrica en una densidad de corriente a base de un valor de señal de control de densidad de corriente para la pila de combustible (10), y para controlar una cantidad del fluido refrigerante suministrado a la pila de combustible (10) por la unidad (70) de suministro de fluido refrigerante basándose en la temperatura de funcionamiento medida por la unidad de medición de temperatura y en el valor calorífico estimado.

8. El sistema de pila de combustible según la reivindicación 7, en el que  
 20 en el proceso de restricción de salida, la unidad de control (20) está configurada para emplear el valor calorífico estimado y la temperatura de funcionamiento medida por la unidad de medición de temperatura para calcular un aumento de temperatura estimado de la pila de combustible (10) cuando se lleva a la pila de combustible (10) a producir energía eléctrica durante un periodo de tiempo predeterminado mientras la pila de combustible (10) recibe el fluido refrigerante y, cuando el aumento de temperatura estimado es inferior o igual a un umbral predeterminado,  
 25 la unidad de control (20) está configurada para llevar a la pila de combustible (10) a generar energía eléctrica en un estado en el que se lleva a la unidad (70) de suministro de fluido refrigerante a detener el suministro del fluido refrigerante a la pila de combustible (10).

9. El sistema de pila de combustible según la reivindicación 8, en el que  
 30 en el proceso de restricción de salida, cuando una tasa de aumento de la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible (10) es inferior a un umbral preestablecido, la unidad de control (20) está configurada para llevar a la pila de combustible (10) a generar energía eléctrica en un estado en el que se lleva a la unidad (70) de suministro de fluido refrigerante a detener el suministro de fluido refrigerante a la pila de combustible (10).

10. Un método de control para un sistema de pila de combustible que produce energía eléctrica generada por una pila de combustible que posee al menos un elemento de generación de energía en respuesta a una petición procedente de una carga externa, que comprende:

la detección de una tensión negativa en el al menos un elemento (11) de generación de energía;  
 40 la medición de un valor de corriente acumulado que se obtiene por una integración en el tiempo de la salida de corriente de la pila de combustible (10) en un periodo durante el cual se genera una tensión negativa en el al menos un elemento (11) de generación de energía;  
 la consulta de una correlación preestablecida entre los valores de corriente acumulados que son aceptables en el periodo durante el cual se genera una tensión negativa en el al menos un elemento (11) de generación de energía y las densidades de corriente que son aceptables en el periodo; y  
 45 la ejecución de un proceso de restricción de salida que restringe la salida de energía eléctrica de la pila de combustible (10) de manera que caiga dentro de una amplitud de funcionamiento aceptable definida por los valores de corriente acumulados aceptables y las densidades de corriente aceptables de la correlación.

11. Un sistema de pila de combustible que produce energía eléctrica generada en respuesta a una petición procedente de una carga externa, que comprende:

una pila de combustible (10) que posee al menos un elemento (11) de generación de energía;  
 una unidad de control (20) que está configurada para controlar la salida de energía eléctrica de la pila de combustible (10);  
 55 una unidad (21) de medición de valor de corriente acumulado que está configurada para medir un valor de corriente acumulado que se obtiene por una integración en el tiempo de una salida de corriente de la pila de combustible (10), en el que  
 la unidad de control (20) está configurada para memorizar previamente una correlación entre los valores de corriente acumulados que son aceptables en un periodo durante el cual se genera una tensión negativa en el al menos un elemento (11) de generación de energía y las densidades de corriente que son aceptables en el periodo y  
 60 cuando se cumple con una condición ambiental preestablecida que indica una posibilidad de que se genere una tensión negativa, la unidad de control (20) está configurada para determinar que una tensión negativa se genera en el al menos un elemento (11) de generación de energía y luego para ejecutar un proceso de restricción de salida que restringe la salida de energía eléctrica de la pila de combustible (10) de manera que caiga dentro de  
 65

una amplitud de funcionamiento aceptable definida por los valores de corriente acumulados aceptables y las densidades de corriente aceptables de la correlación.

- 5 12. El sistema de pila de combustible según la reivindicación 11, en el que cuando la correlación se muestra por un gráfico cuyo primer eje representa un valor de corriente acumulado de la pila de combustible (10) y un segundo eje representa una densidad de corriente de la pila de combustible (10), la correlación se muestra como una curva convexa descendente en la que la densidad de corriente aceptable disminuye a medida que el valor de corriente acumulado aceptable aumenta.
- 10 13. El sistema de pila de combustible según la reivindicación 12, en el que, en el proceso de restricción de salida, la unidad de control (20) está configurada para disminuir la densidad de corriente de la pila de combustible (10) a lo largo de la curva convexa descendente, que indica los valores máximos de las densidades de corriente aceptables, con un aumento en el valor de corriente acumulado.
- 15 14. El sistema de pila de combustible según una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, que comprende además:  
una unidad de regulación del estado de funcionamiento que está configurada para incluir al menos una de una unidad de humidificación (35) que controla una cantidad de humidificación de gas de reacción suministrado a la pila de combustible (10) a fin de regular un estado húmedo en el interior de la pila de combustible (10) y una  
20 unidad (70) de suministro de fluido refrigerante que controla un caudal de fluido refrigerante suministrado a la pila de combustible (10) a fin de regular una temperatura de funcionamiento de la pila de combustible (10); y una unidad de modificación de correlación que está configurada para modificar la correlación en respuesta a, al menos, uno del estado húmedo en el interior de la pila de combustible (10) y de la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible (10), en el que,  
25 cuando una densidad de corriente correspondiente a una corriente de salida requerida para la carga externa en un periodo durante el cual se genera una tensión negativa en el al menos un elemento (11) de generación de energía es superior a un valor predeterminado, la unidad de control (20) está configurada para llevar a la unidad de regulación del estado de funcionamiento a regular al menos uno del estado húmedo en el interior de la pila de combustible (10) y de la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible (10) de manera que expanda la  
30 amplitud de funcionamiento aceptable de manera tal que la correlación sea modificada por la unidad de modificación de correlación.
- 35 15. El sistema de pila de combustible según una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, en el que, cuando se completa el proceso de restricción de salida, la unidad de control (20) está configurada para memorizar de manera no volátil un valor de corriente acumulado de la salida de corriente de la pila de combustible (10) en el proceso de restricción de salida y, cuando se reanuda el proceso de restricción de salida, la unidad de control (20) está configurada para ejecutar el proceso de restricción de salida empleando un valor de corriente acumulado total que se obtiene añadiendo el valor de corriente acumulado memorizado y un valor de corriente acumulado de la salida de corriente de la pila de combustible (10) después de haber reanudado el proceso de restricción de salida.
- 40 16. El sistema de pila de combustible según una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 15, que comprende además:  
una unidad de advertencia (25) que está configurada para advertir a un usuario sobre la degradación de la pila de combustible (10), en el que  
45 la unidad de control (20) está configurada para memorizar previamente un valor límite inferior de la densidad de corriente de la pila de combustible (10) y, cuando la densidad de corriente de la pila de combustible (10) es inferior al valor límite inferior en el proceso de restricción de salida, la unidad de control (20) está configurada para llevar a la unidad de advertencia (25) a advertir al usuario sobre la degradación de la pila de combustible (10).
- 50 17. El sistema de pila de combustible según una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 16, que comprende además:  
una unidad (70) de suministro de fluido refrigerante que está configurada para suministrar fluido refrigerante a la pila de combustible (10) para controlar así una temperatura de la pila de combustible (10); y  
55 una unidad de medición de temperatura que está configurada para medir una temperatura de funcionamiento de la pila de combustible (10), en el que, en el proceso de restricción de salida, la unidad de control (20) está configurada para obtener un valor calorífico estimado que es un valor calorífico de la pila de combustible (10) cuando se lleva a la pila de combustible (10) a producir energía eléctrica en una densidad de corriente a base de un valor de señal de control de densidad de corriente para la pila de combustible (10), y para controlar una  
60 cantidad del fluido refrigerante suministrado a la pila de combustible (10) por la unidad (70) de suministro de fluido refrigerante basándose en la temperatura de funcionamiento medida por la unidad de medición de temperatura y en el valor calorífico estimado.
- 65 18. El sistema de pila de combustible según la reivindicación 17, en el que, en el proceso de restricción de salida, la unidad de control (20) está configurada para emplear el valor calorífico estimado y la temperatura de funcionamiento medida por la unidad de medición de temperatura para calcular un

5 aumento de temperatura estimado de la pila de combustible (10) cuando se lleva a la pila de combustible (10) a producir energía eléctrica durante un periodo de tiempo predeterminado mientras la pila de combustible (10) recibe el fluido refrigerante y, cuando el aumento de temperatura estimado es inferior o igual a un umbral predeterminado, la unidad de control (20) está configurada para llevar a la pila de combustible (10) a generar energía eléctrica en un estado en el que se lleva a la unidad (70) de suministro de fluido refrigerante a detener el suministro de fluido refrigerante a la pila de combustible (10).

10 19. El sistema de pila de combustible según la reivindicación 18, en el que, en el proceso de restricción de salida, cuando una tasa de aumento de la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible (10) es inferior a un umbral preestablecido, la unidad de control (20) está configurada para llevar a la pila de combustible (10) a generar energía eléctrica en un estado en el que se lleva a la unidad (70) de suministro de fluido refrigerante a detener el suministro de fluido refrigerante a la pila de combustible (10).

15 20. Un método de control para un sistema de pila de combustible que produce energía eléctrica generada por una pila de combustible que posee al menos un elemento (11) de generación de energía en respuesta a una petición procedente de una carga externa, que comprende:

20 la medición de un valor de corriente acumulado que se obtiene por una integración en el tiempo de la salida de corriente de la pila de combustible (10) en un periodo durante el cual se cumple con una condición ambiental preestablecida que indica una posibilidad de que se genere una tensión negativa en el al menos un elemento (11) de generación de energía;

la consulta de una correlación preestablecida entre los valores de corriente acumulados que son aceptables en un periodo durante el cual se genera una tensión negativa en el al menos un elemento (11) de generación de energía y las densidades de corriente que son aceptables en el periodo; y

25 la ejecución de un proceso de restricción de salida que restringe la salida de energía eléctrica de la pila de combustible (10) de manera que caiga dentro de una amplitud de funcionamiento aceptable definida por los valores de corriente acumulados aceptables y las densidades de corriente aceptables de la correlación.

FIG. 1

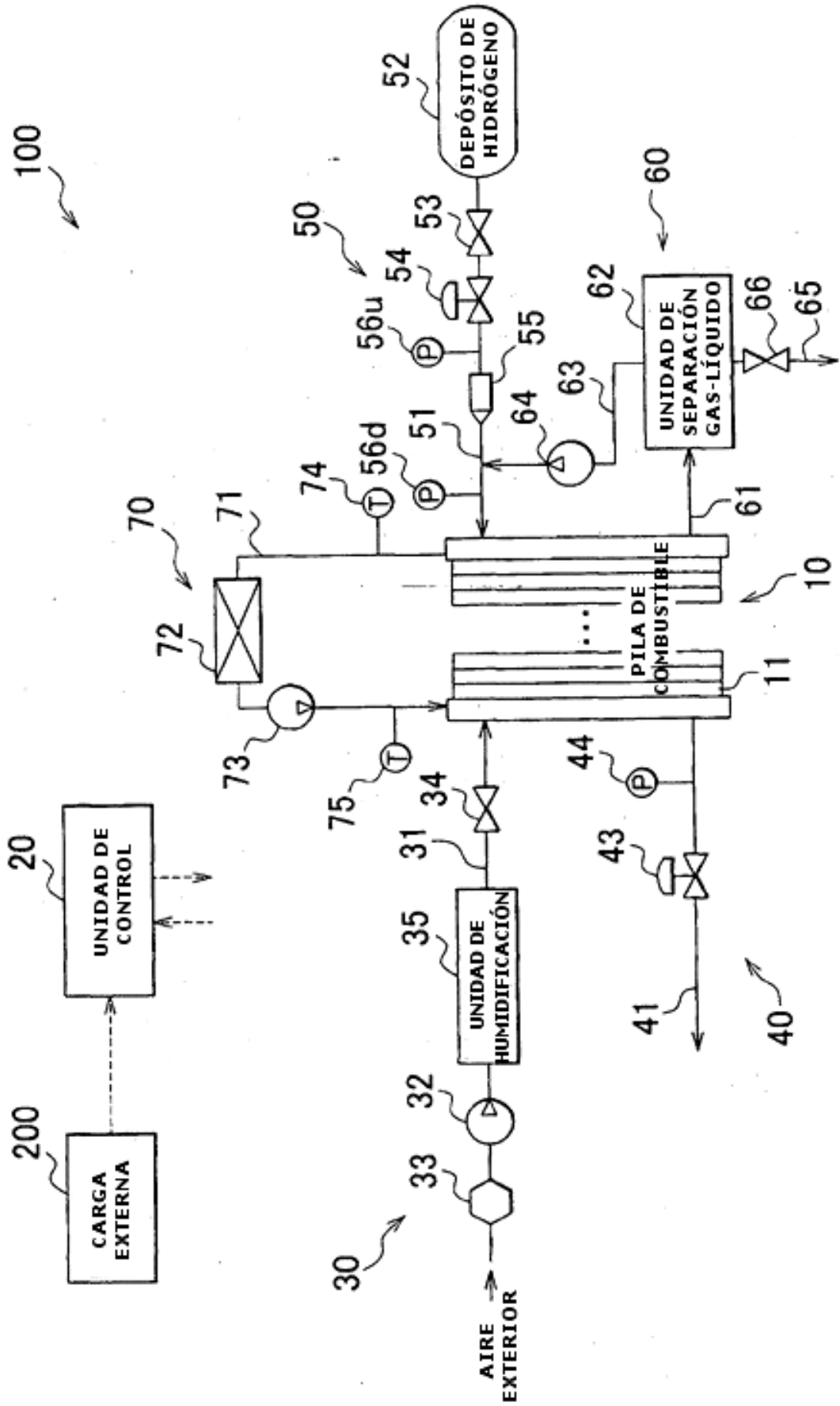


FIG. 2

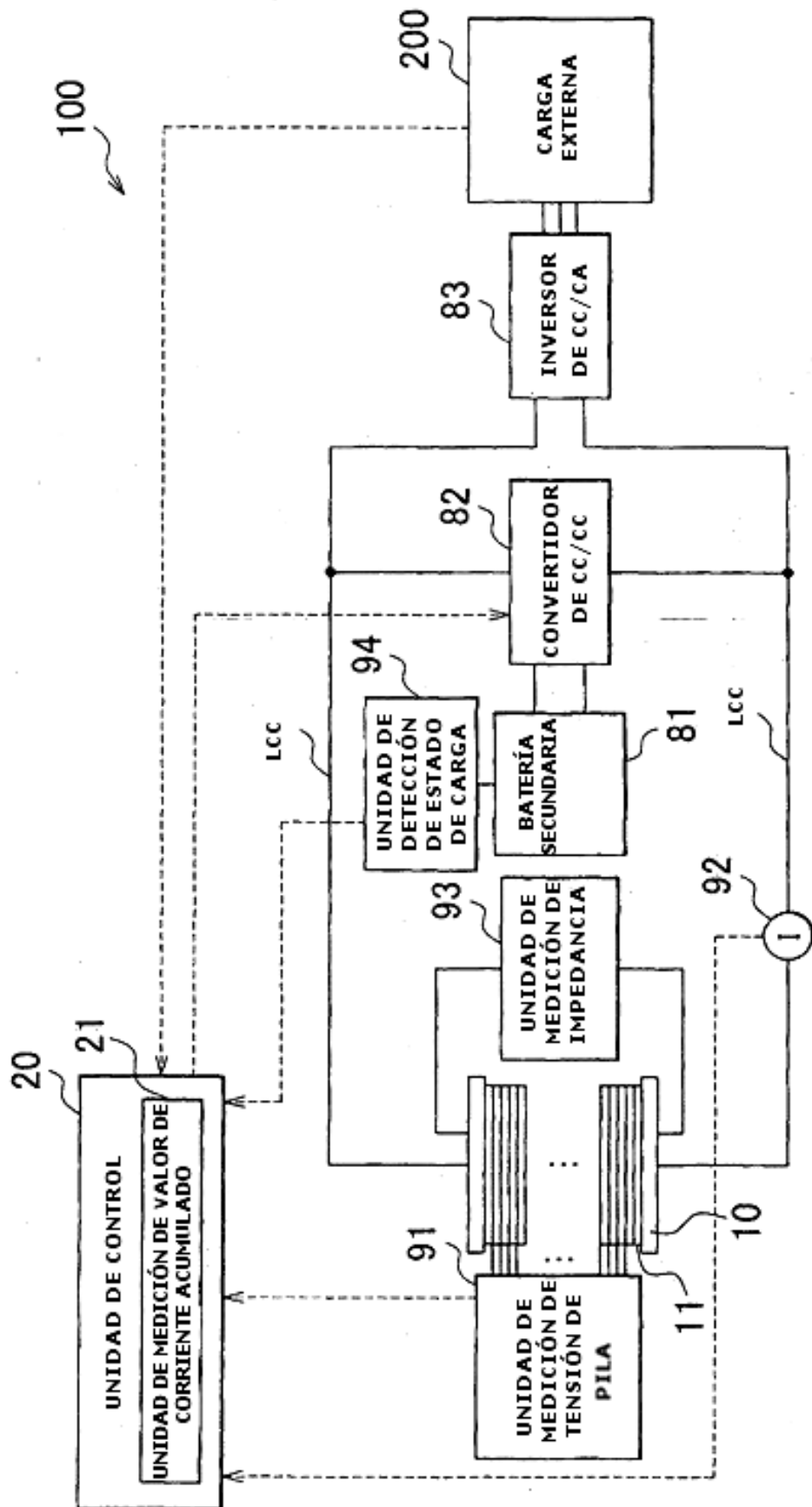


FIG. 3A

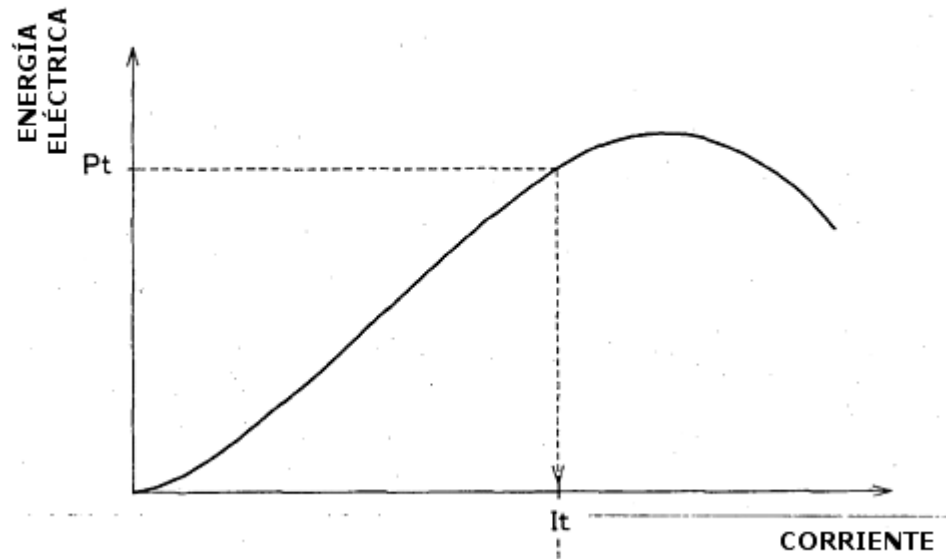


FIG. 3B

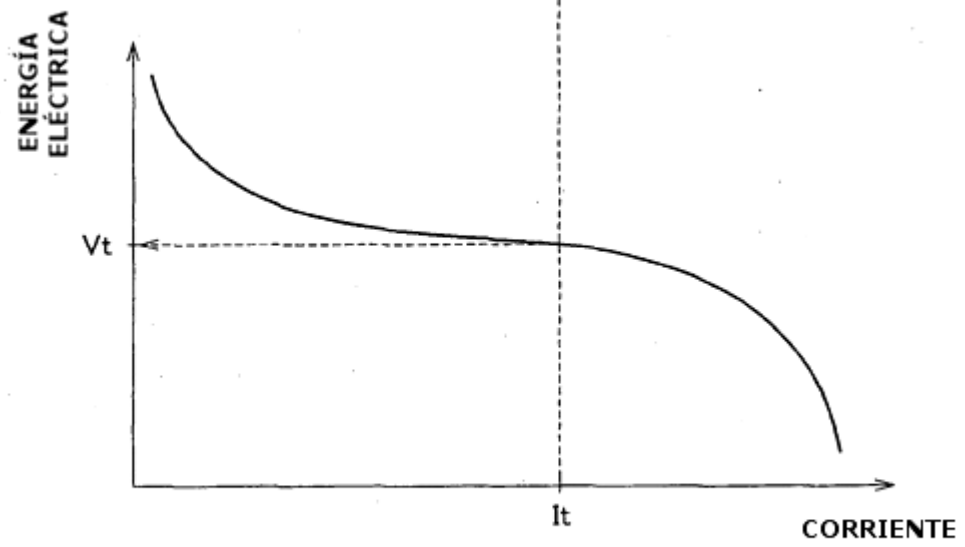




FIG. 4A

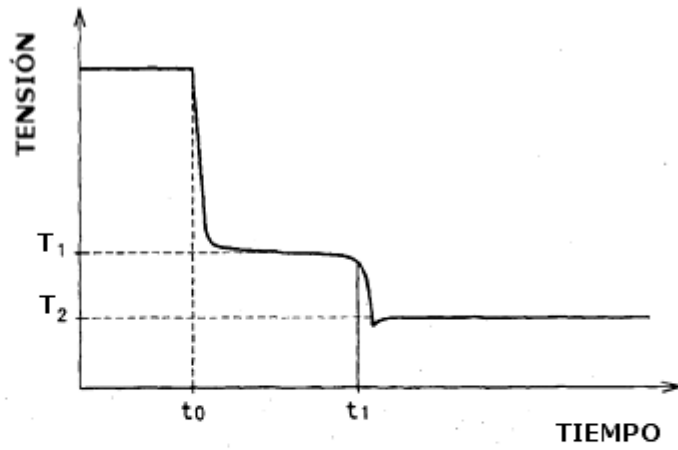


FIG. 4B

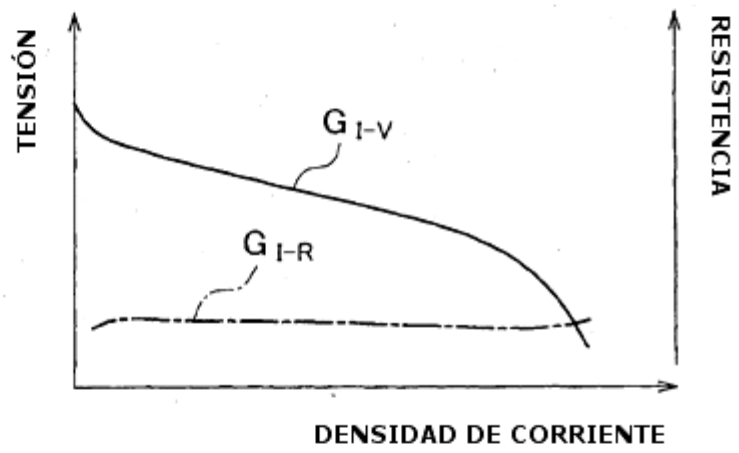


FIG. 4C

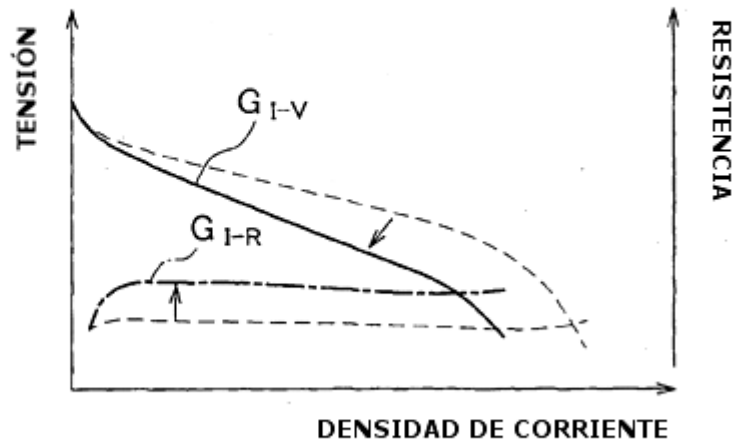


FIG. 5

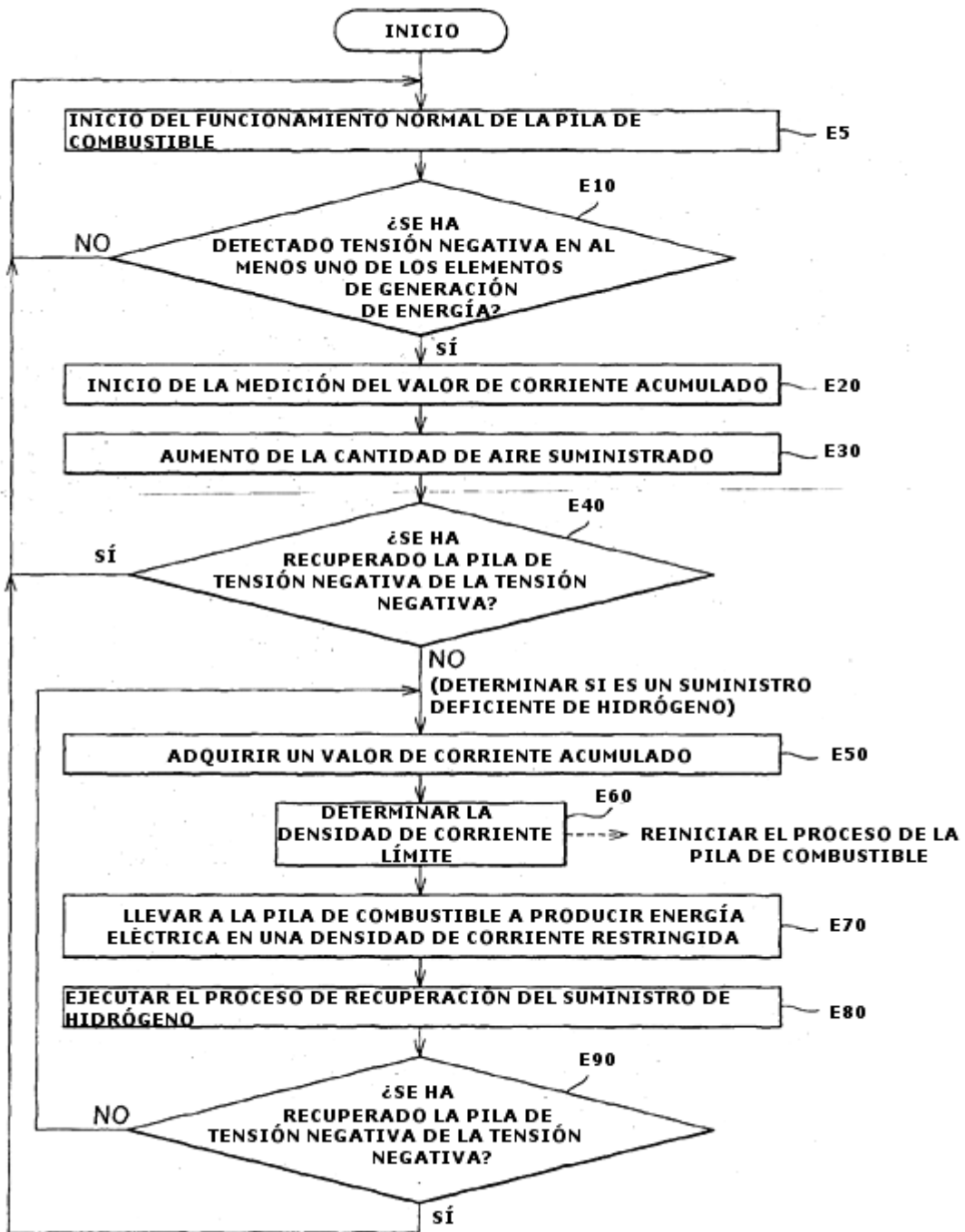
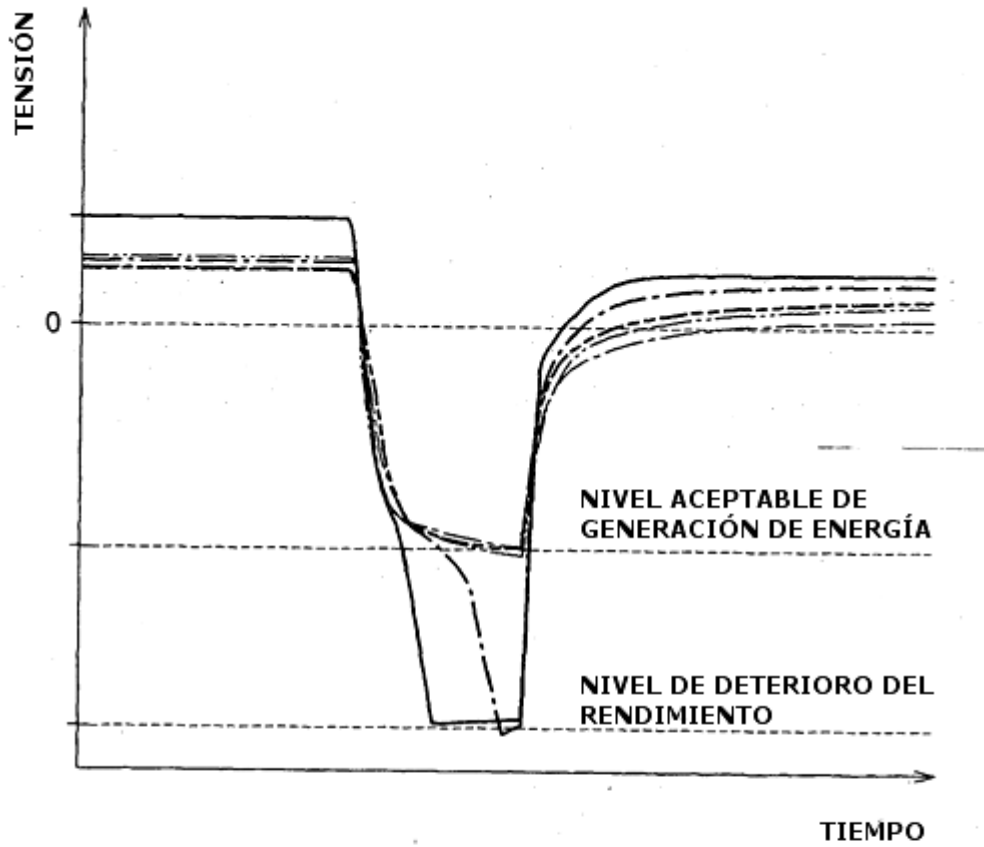


FIG. 6



- PRIMERA GENERACIÓN DE ENERGÍA ————
- SEGUNDA GENERACIÓN DE ENERGÍA - - - - -
- TERCERA GENERACIÓN DE ENERGÍA - · - · -
- CUARTA GENERACIÓN DE ENERGÍA - - - - -
- QUINTA GENERACIÓN DE ENERGÍA ————

FIG. 7

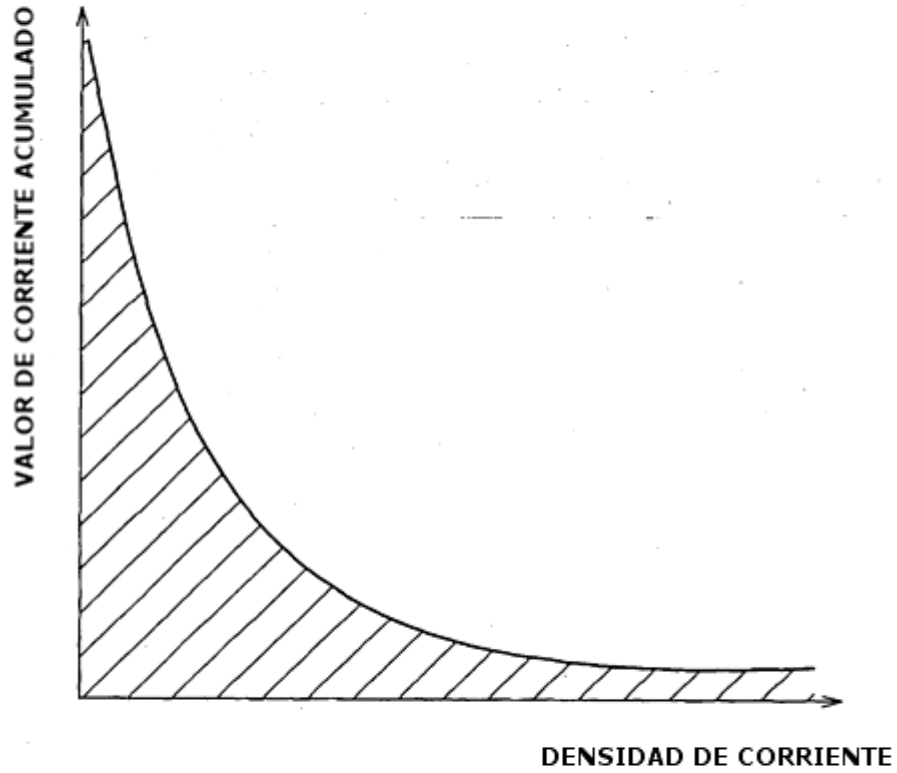


FIG . 8A

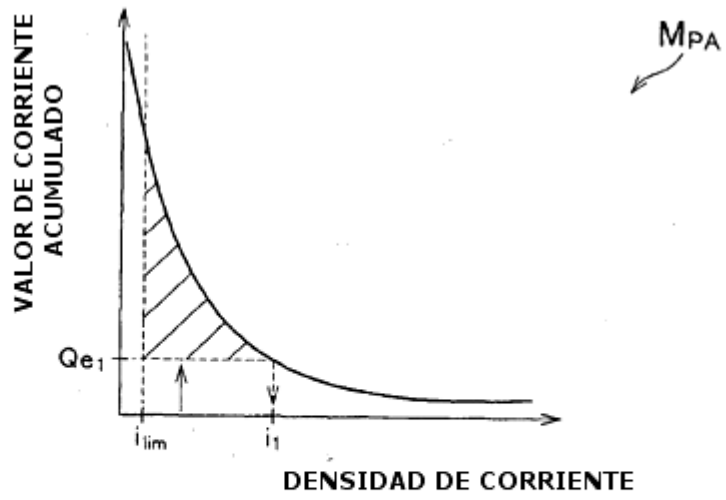


FIG . 8B

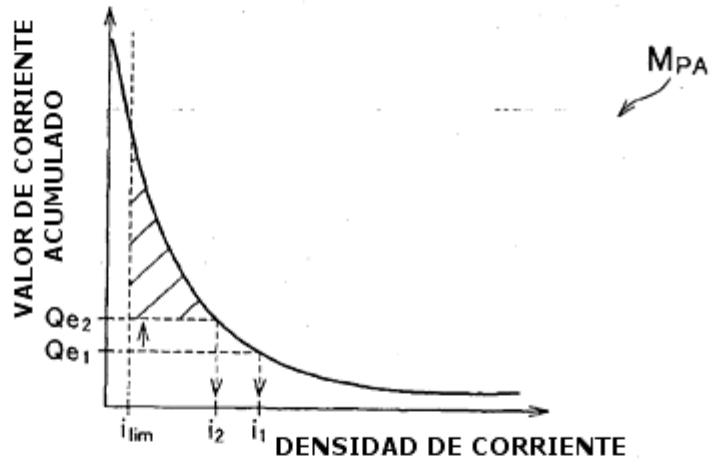


FIG . 8C

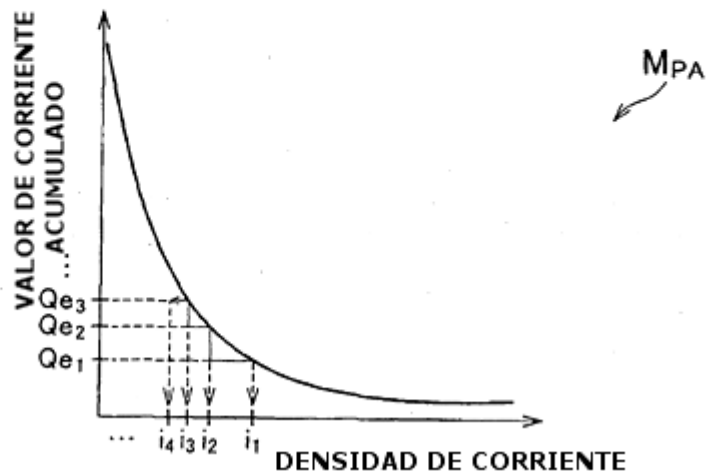


FIG. 9

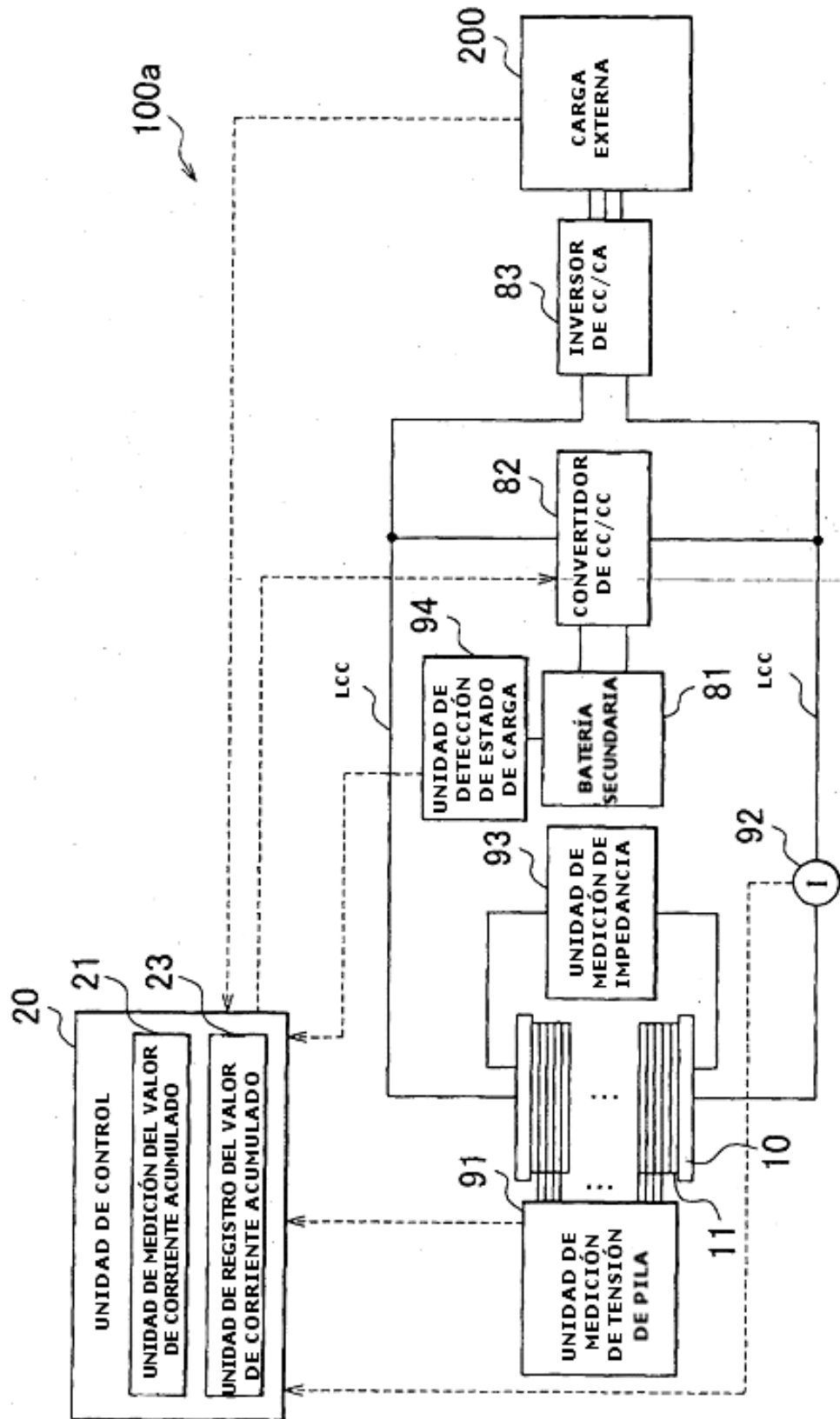


FIG. 10

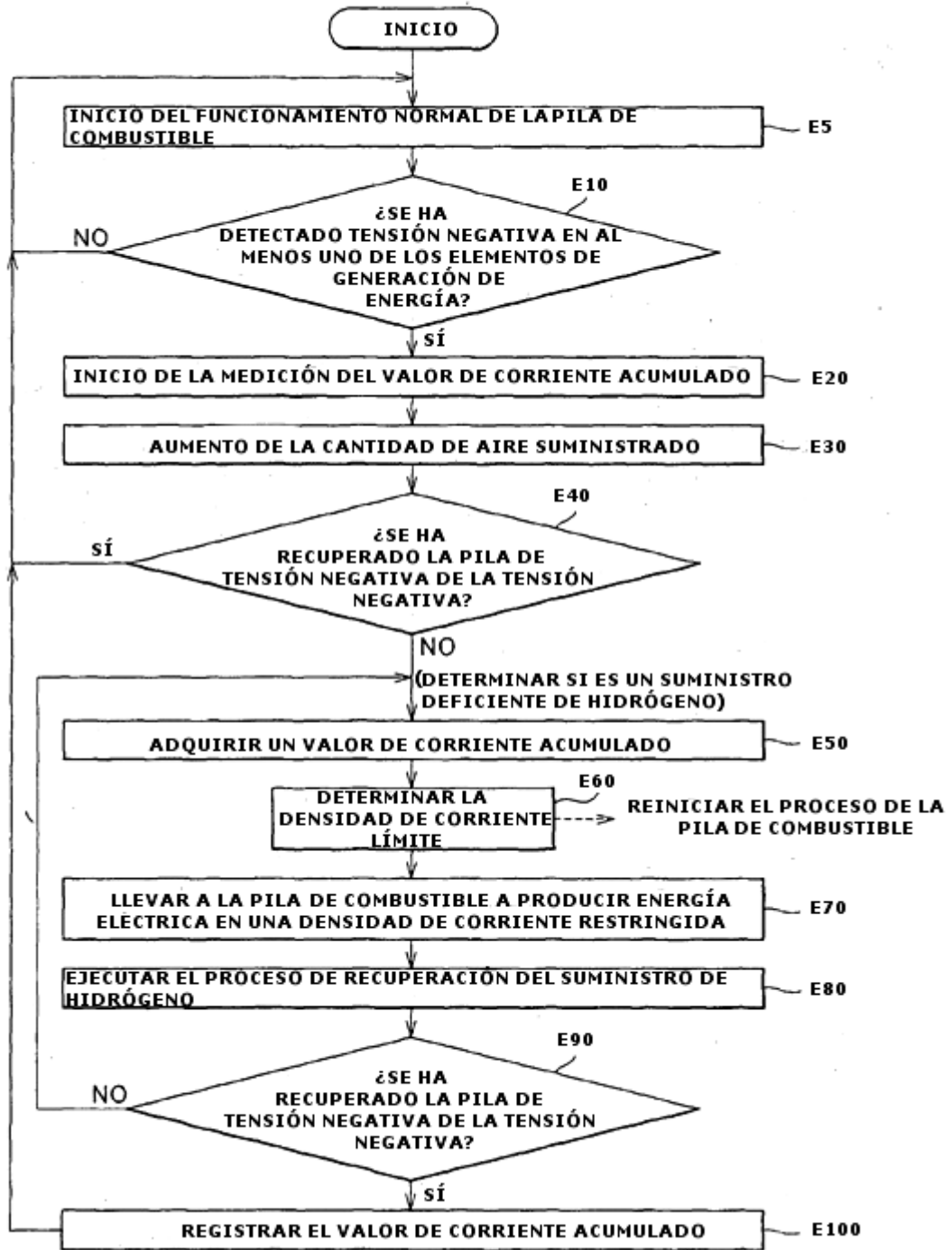


FIG. 11

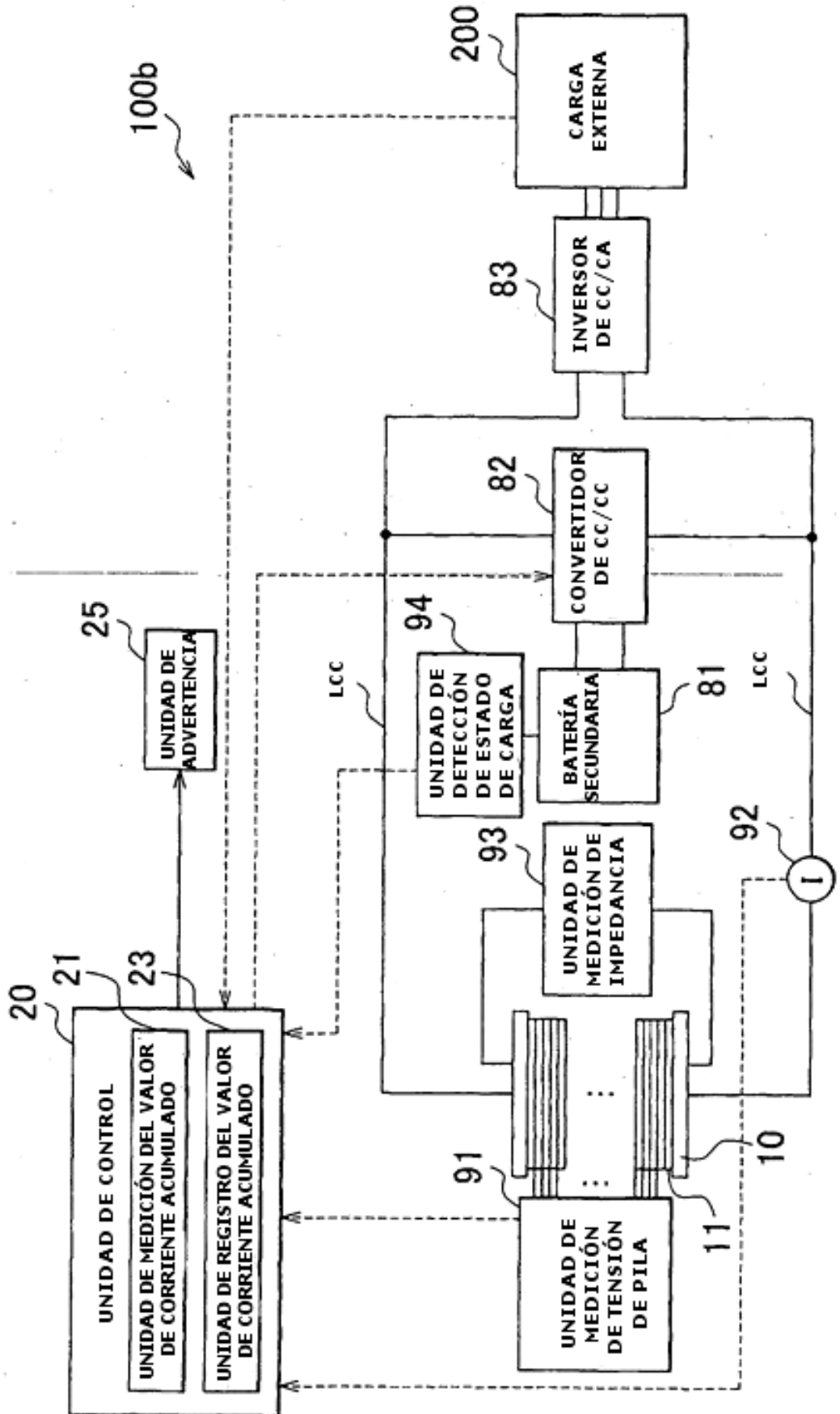




FIG. 12

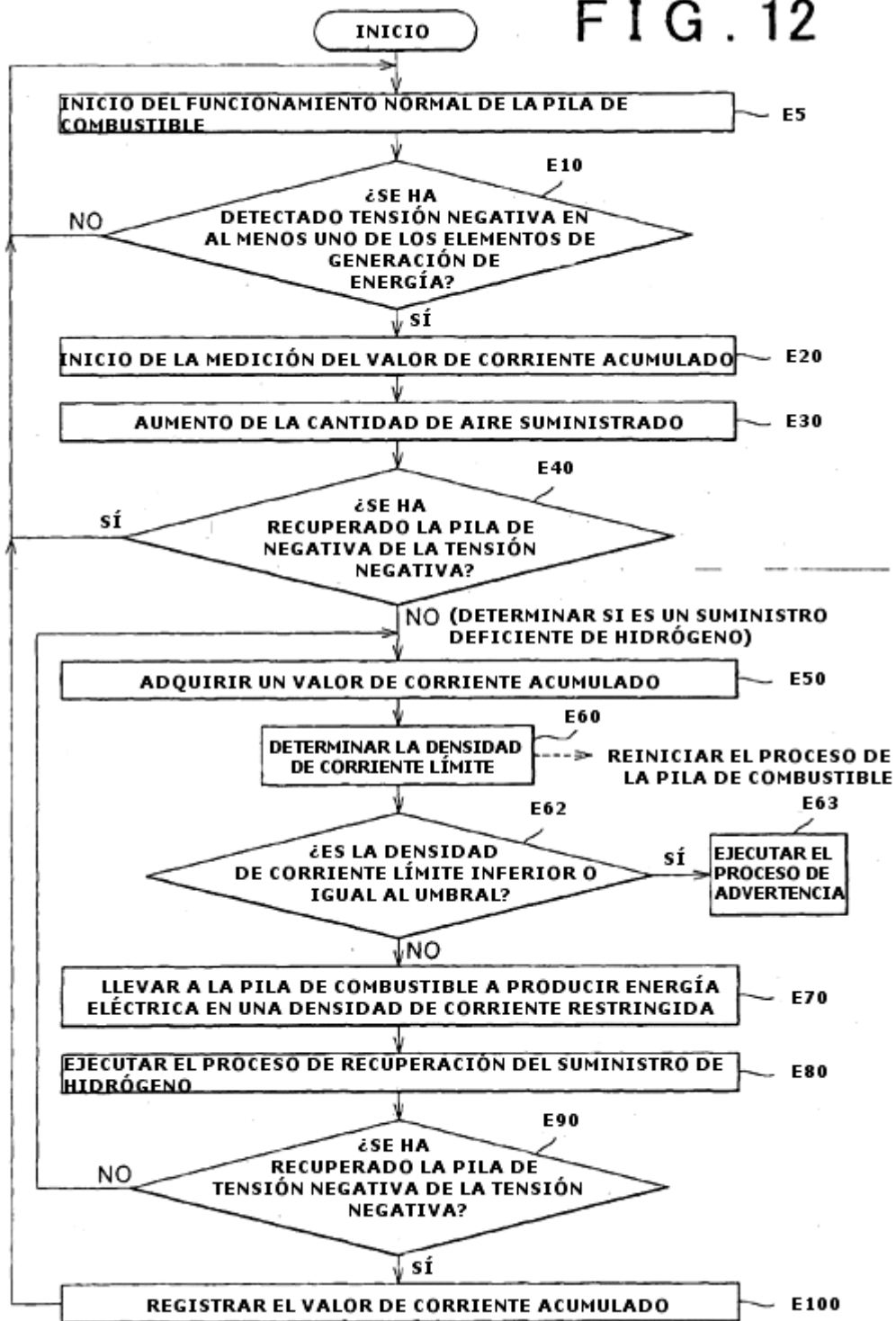


FIG. 13

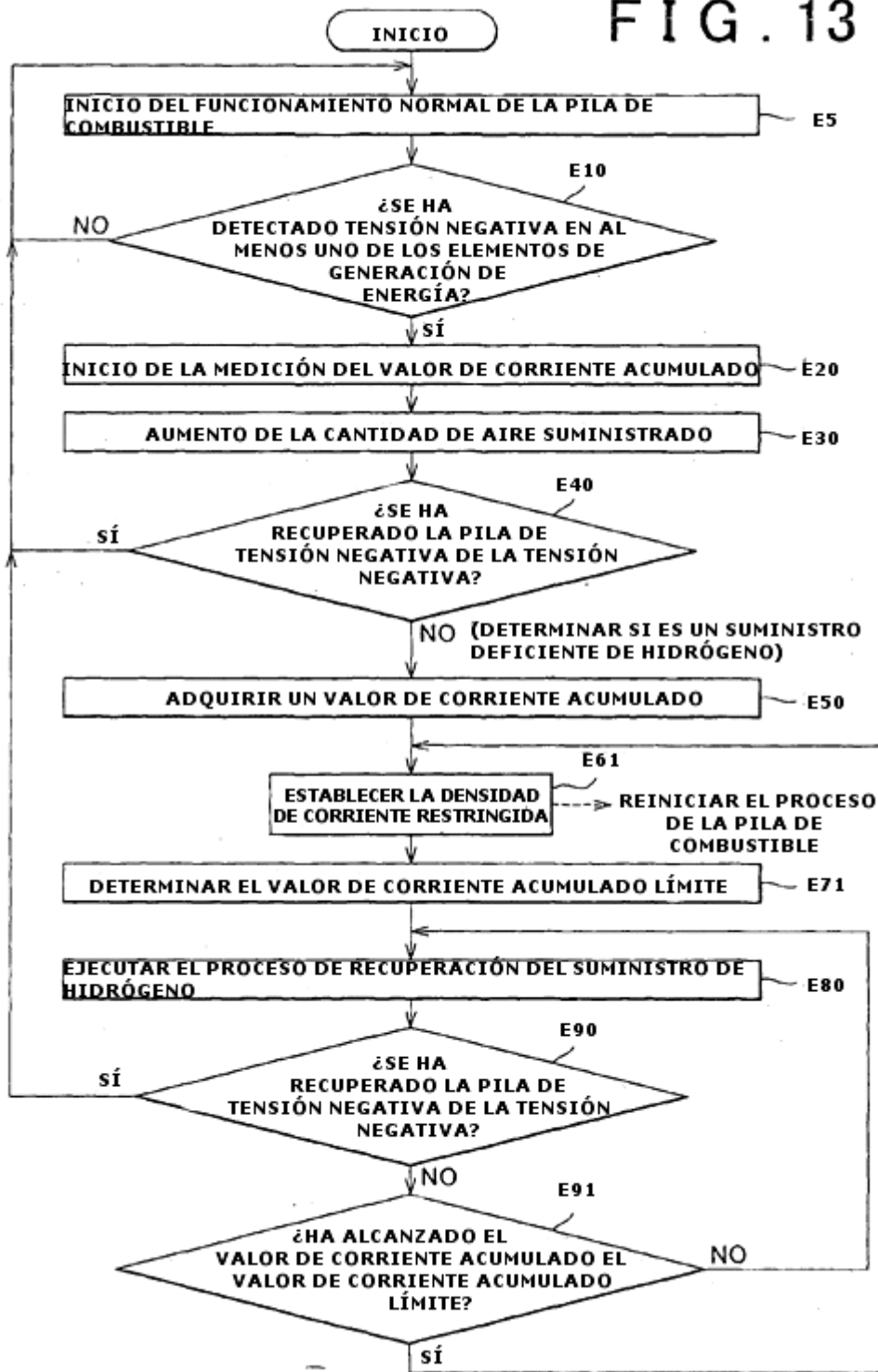


FIG. 14

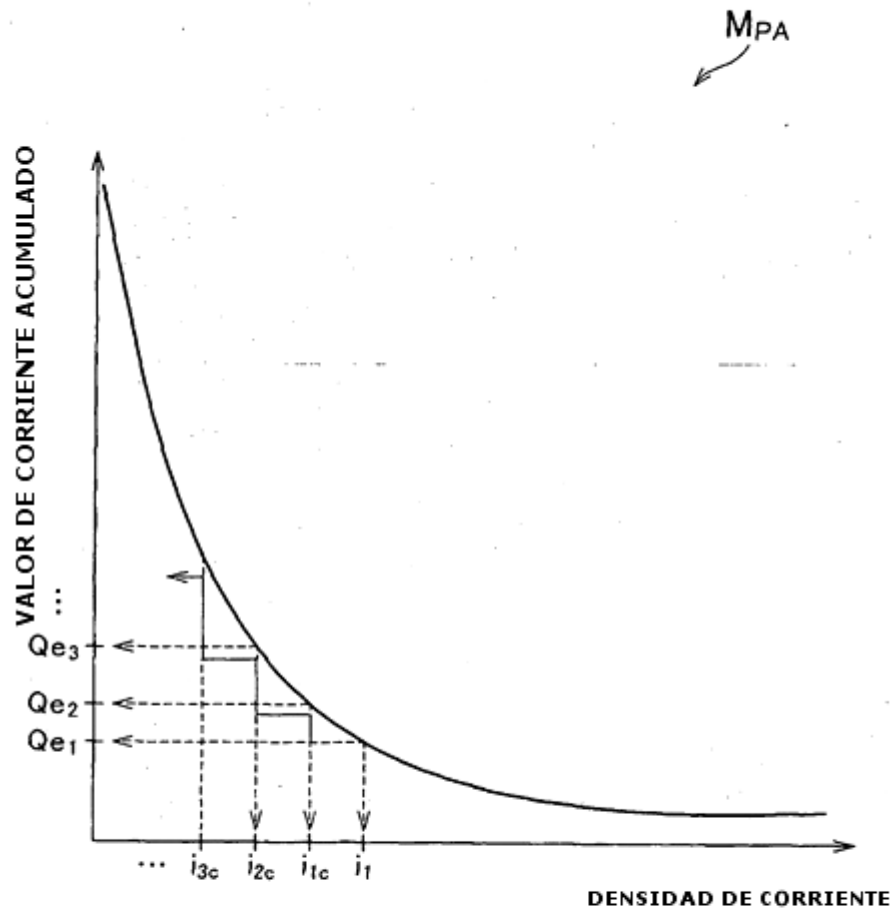


FIG. 15

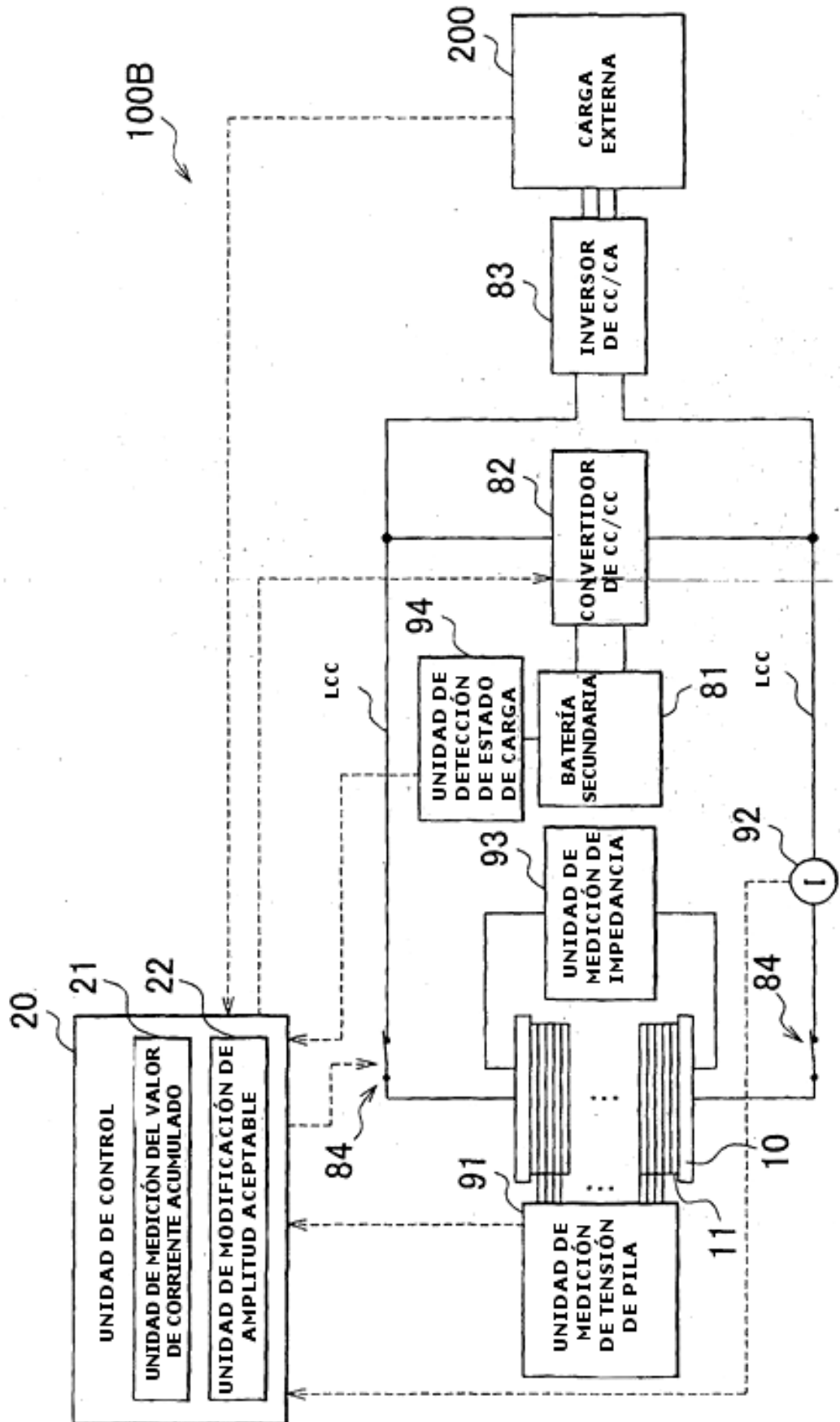


FIG. 16

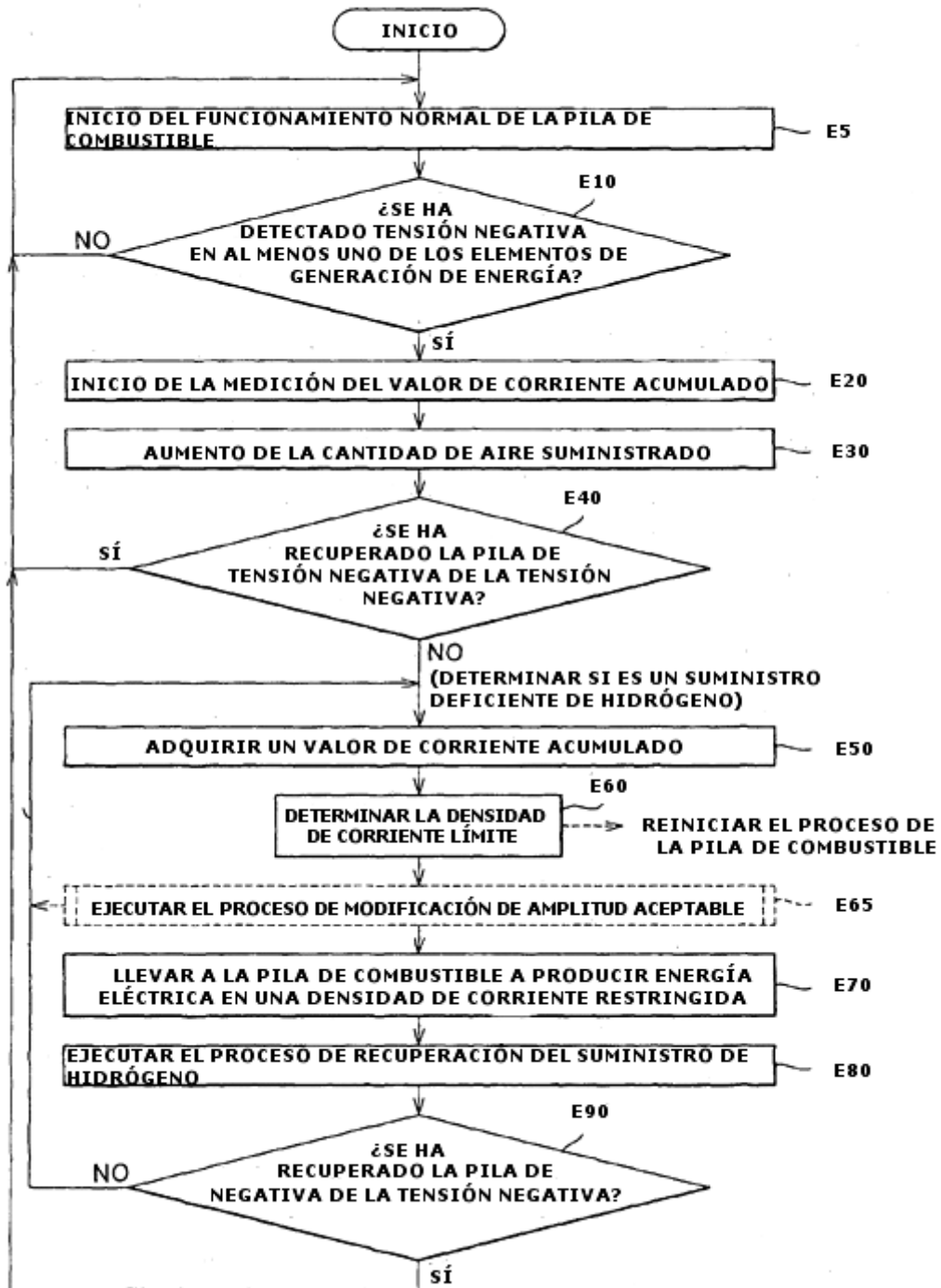


FIG. 17

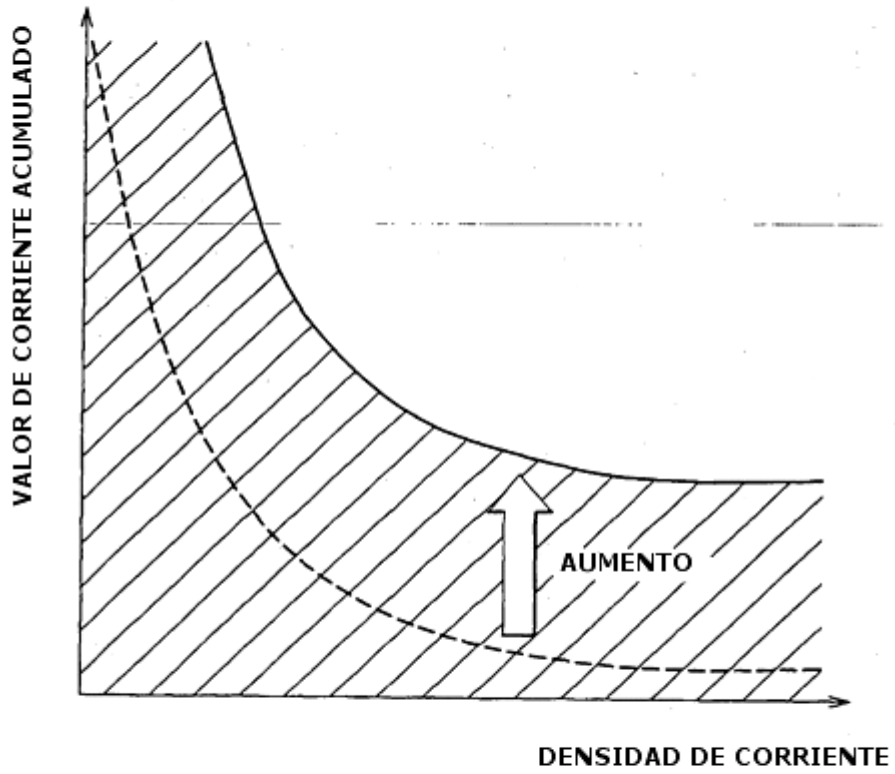


FIG. 18

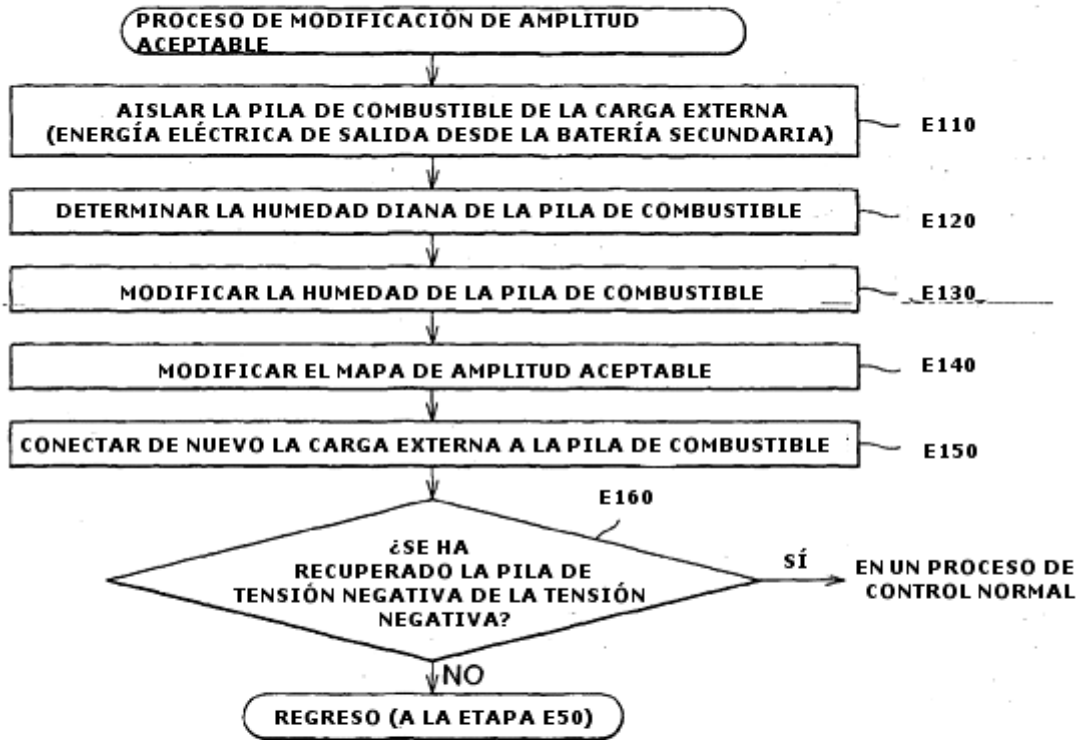


FIG. 19

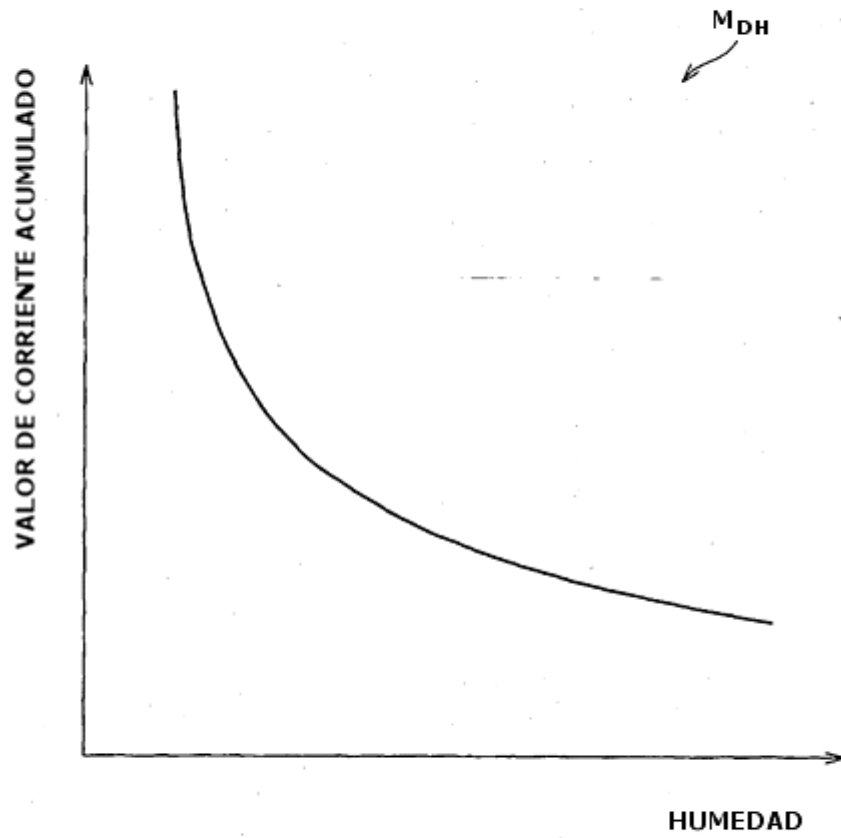




FIG . 20A

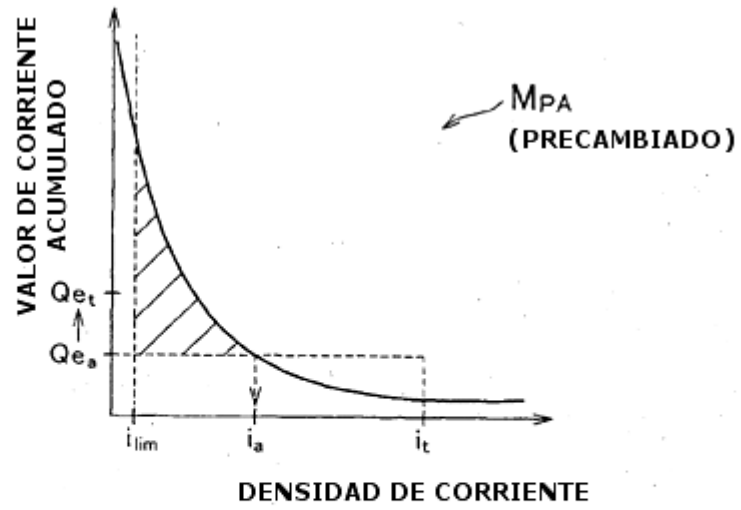


FIG . 20B

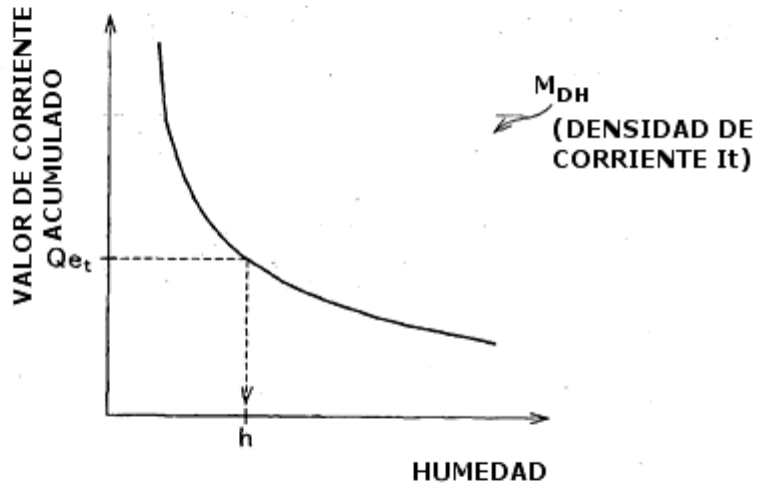


FIG . 20C

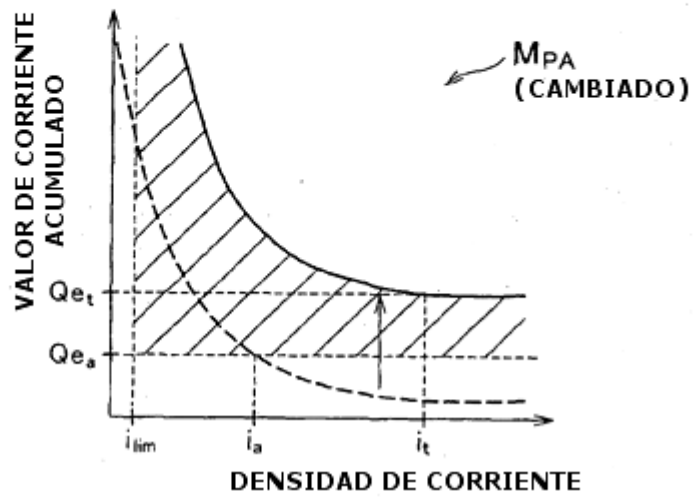


FIG. 21A

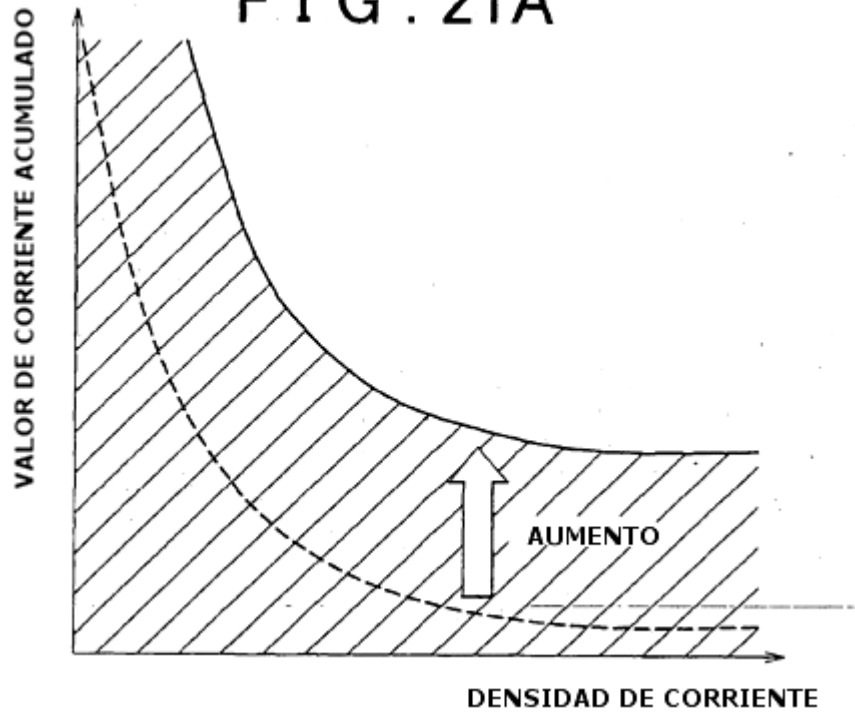


FIG. 21B

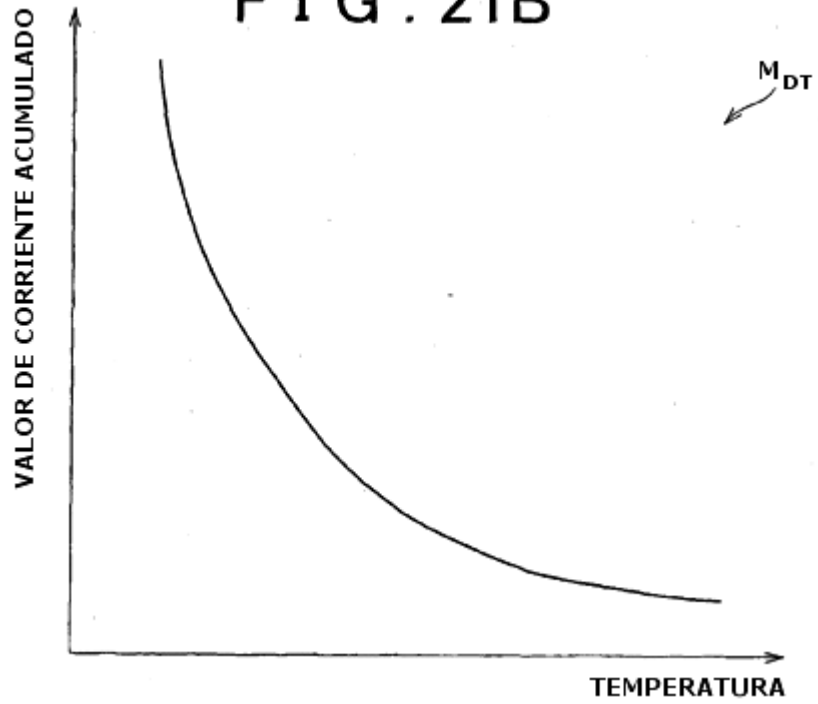


FIG. 22

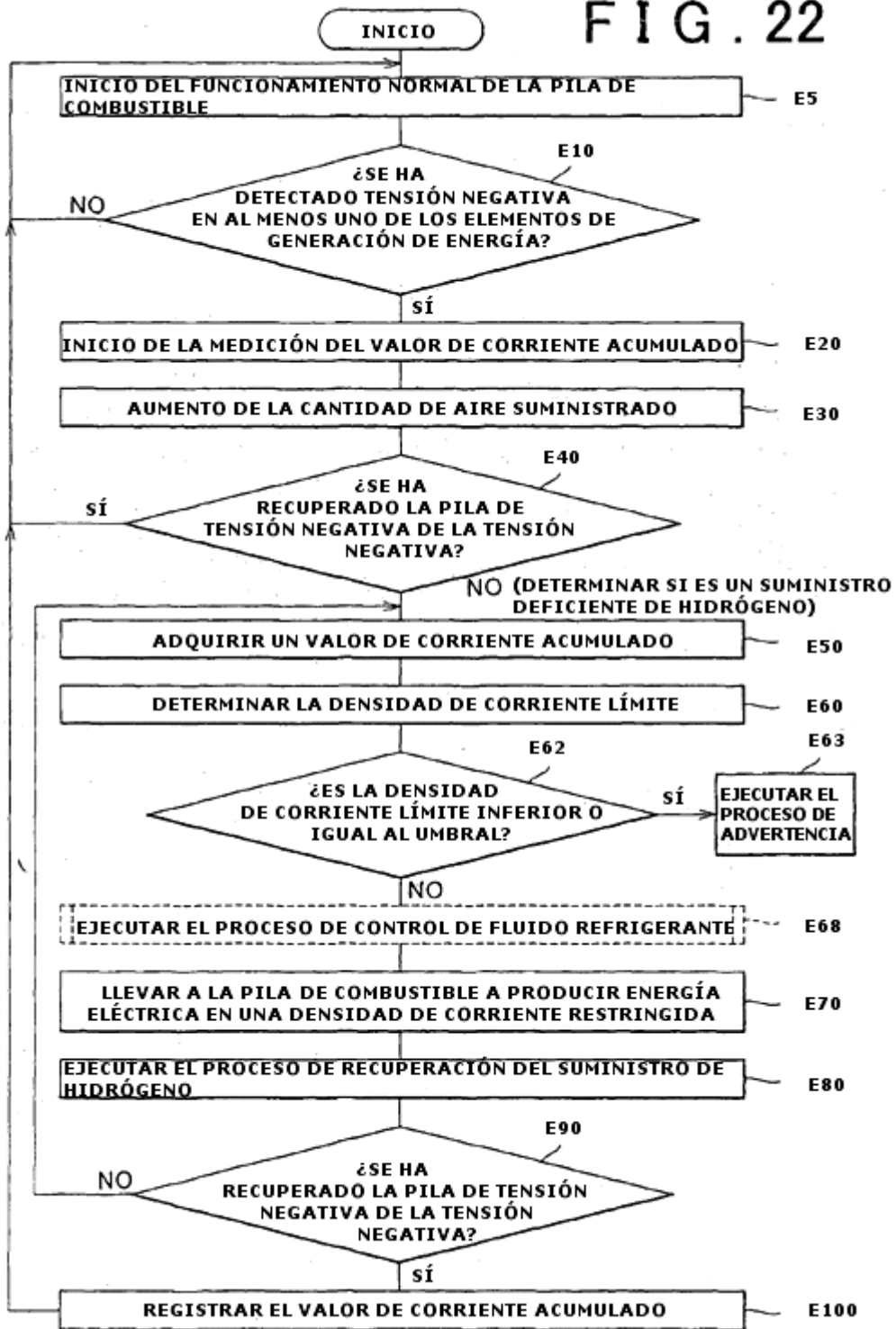


FIG. 23

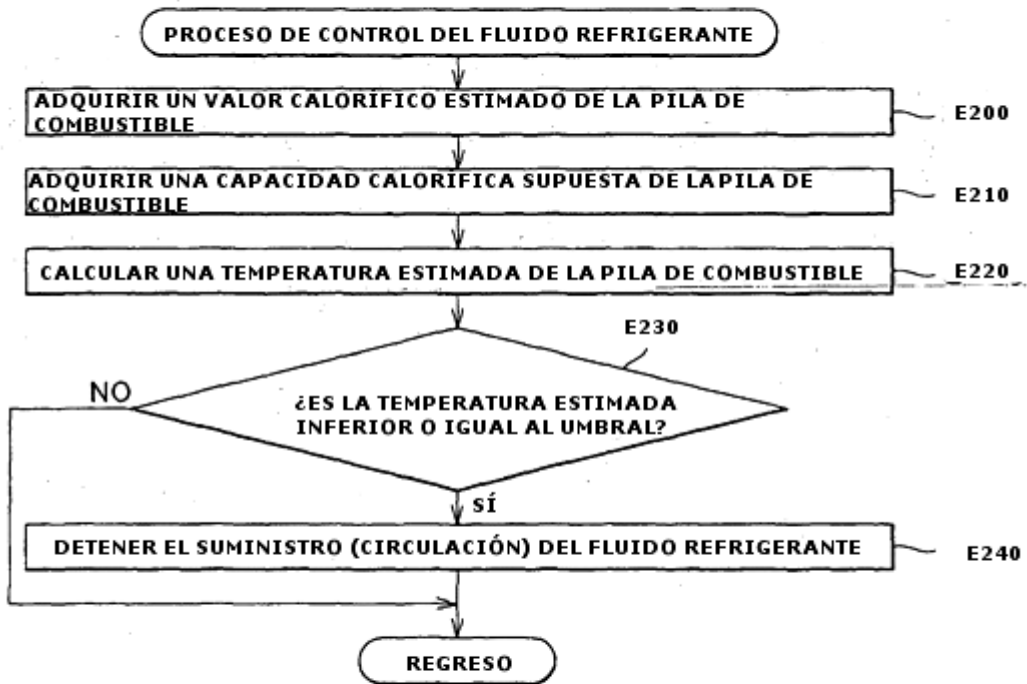


FIG. 24

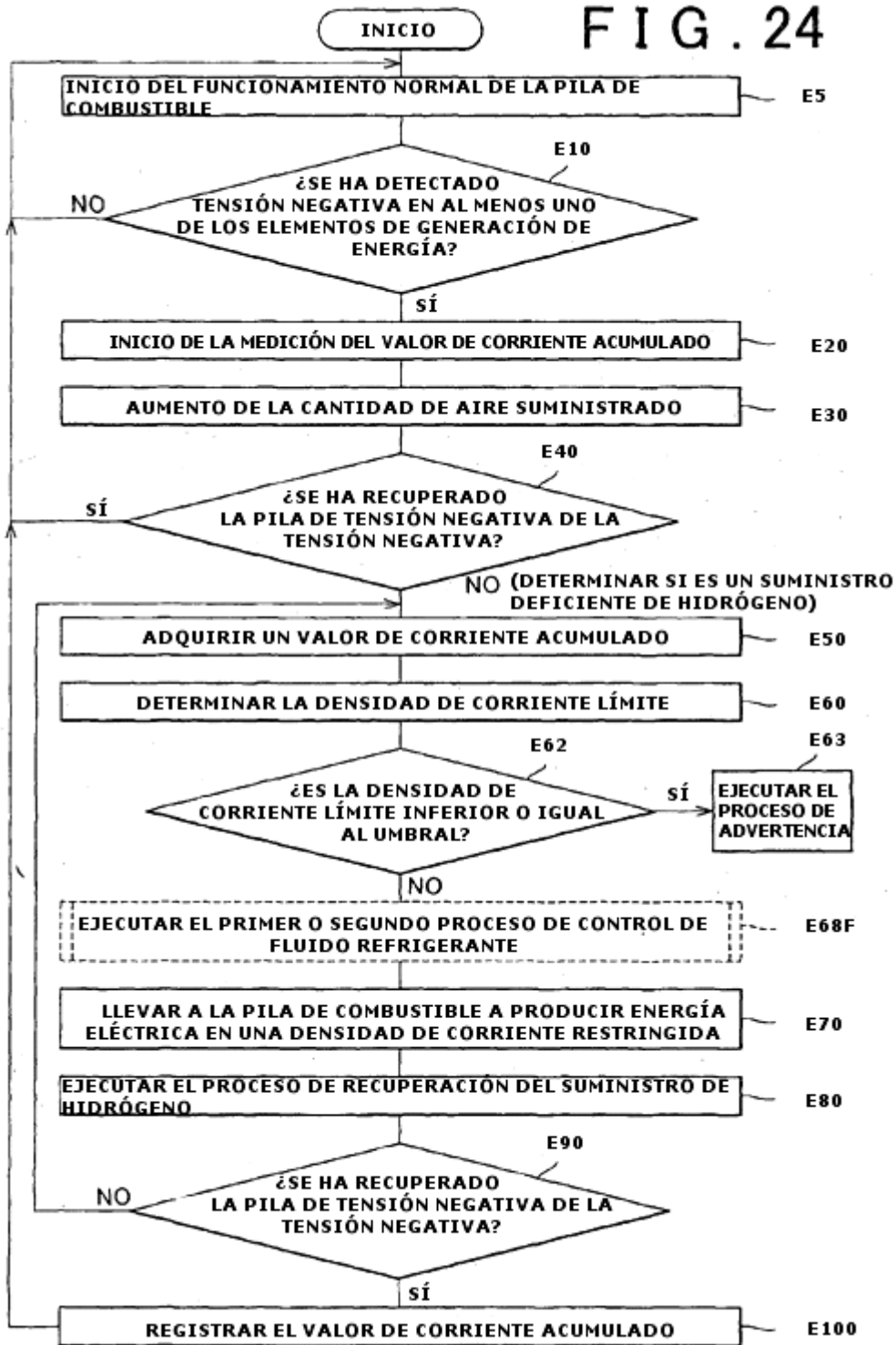


FIG. 25A

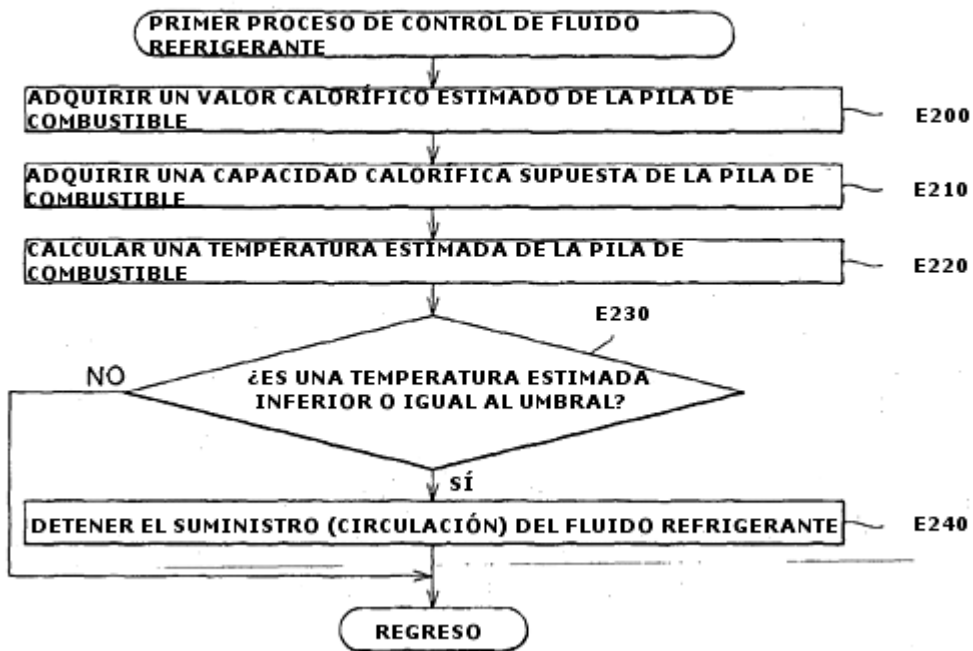
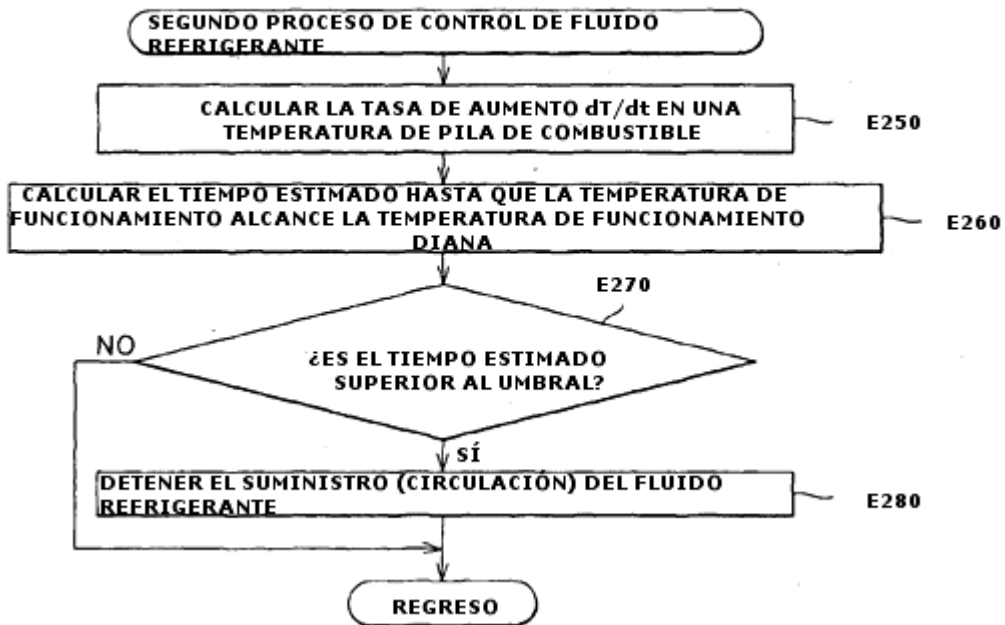
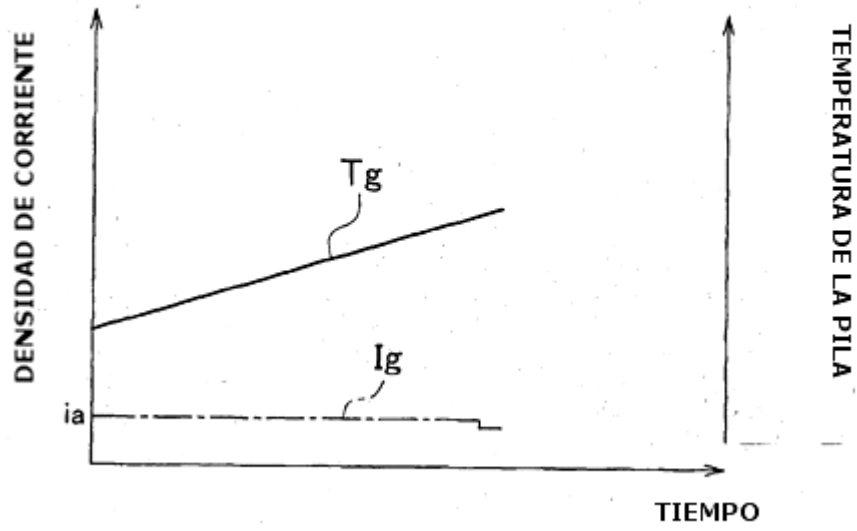


FIG. 25B



# FIG. 26A

<EJEMPLO DE REFERENCIA>



# FIG. 26B

<EJEMPLO DE REFERENCIA>

