

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 315 421**

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

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **02792658 .3**

96 Fecha de presentación : **12.12.2002**

97 Número de publicación de la solicitud: **1454373**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **08.09.2004**

54 Título: **Procedimiento para el funcionamiento de un dispositivo de celdas de combustible PEM y el correspondiente dispositivo de celdas de combustible PEM.**

30 Prioridad: **14.12.2001 DE 101 61 622**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.04.2009

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.04.2009

73 Titular/es: **FEAG GmbH**
Daimlerstrasse 22
91301 Forchheim, DE

72 Inventor/es: **Preidel, Walter;**
Stühler, Walter;
Weiss, Alfred;
Maume, Christoph;
Kuipers, Jan-Kasper;
Hinsenkamp, Gert y
Dübel, Olaf

74 Agente: **Isern Jara, Jorge**

ES 2 315 421 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

Procedimiento para el funcionamiento de un dispositivo de celdas de combustible PEM y el correspondiente dispositivo de celdas de combustible PEM.

5 El presente invento hace referencia a un procedimiento para el funcionamiento de un dispositivo de celdas de combustible PEM que utiliza hidrógeno como gas de combustión y aire como oxidante, el cual para una alteración de carga rápida precisa un aprovisionamiento de aire adecuado y el aire suministrado debe humedecerse. El presente invento también hace referencia al correspondiente dispositivo de celdas de combustible, con por lo menos un módulo compuesto por celdas de combustible PEM, suministradas, por un lado, con hidrógeno como gas de trabajo y, por 10 el otro, con aire, provisto de medios para el suministro de aire y para la humidificación del aire suministrado, que comprenden un compresor para comprimir el aire y una unidad de mando para el control del funcionamiento de las celdas de combustible.

15 Los mencionados dispositivos de celdas de combustible PEM e hidráulicos accionados mediante hidrógeno y aire, con su esquema de procedimiento y modo de funcionamiento correspondientes, son ampliamente conocidos conforme al estado de la técnica: con multitud de celdas de combustible apiladas, conectadas en serie eléctricamente y con la denominación técnica de pila de celdas de combustible, o de forma abreviada "pila", un módulo de celdas de combustible constituye la parte esencial del dispositivo. Pueden interconectarse eléctricamente varios módulos de 20 celdas de combustible. El documento WO-95/06335 describe un dispositivo de celdas de combustible PEM conforme al estado de la técnica.

En éste, para que con los módulos de celdas de combustible PEM accionados por aire se consiga un funcionamiento operativo robusto, estable y contra alteraciones de carga rápidas, se precisa el suministro de aire adecuado. El 25 suministro por aire debe garantizar a su vez una humidificación adecuada del aire, con lo cual el punto de rocío a presión de entrada coincide aproximadamente con la temperatura de salida del agua refrigerante, o con un valor elevado a las presiones y temperaturas correspondientes de la pila de celdas de combustible. Esto resulta especialmente significativo cuando el enfriamiento de la pila de celdas de combustible no es óptimo.

30 Si a un dispositivo de celdas de combustible se le suministra aire mediante un compresor que no puede suministrar la humidificación suficiente del aire a las presiones inferiores deseadas, por ejemplo, 1,5 bares (absolutos) a la salida de pila, deberán tomarse las medidas correspondientes. Una solución técnica al problema consiste en elevar la presión de entrada en la pila. De este modo, la humidificación del aire gracias al desplazamiento de la curva de presión parcial del vapor de agua es más sencilla, es decir, se emplea menos energía. En muchos casos, la humidificación 35 sólo se consigue de este modo. Sin embargo, subir la presión de entrada de la pila elevando tan sólo la potencia del compresor, especialmente debido a una dinámica demasiado pequeña durante el seguimiento de la potencia del compresor necesaria para una alteración de carga rápida, sólo es posible de forma limitada, y en muchos casos no resulta económicamente viable.

40 Partiendo de ello, el presente invento tiene como objetivo proponer las medidas adecuadas para la humidificación del aire de servicio de los dispositivos de celdas de combustible, así como generar un aparato adecuado para ello.

El objetivo se alcanza gracias a las medidas indicadas de conformidad con el invento en la reivindicación 1. En la reivindicación 6 se indica el aparato en cuestión. Las reivindicaciones secundarias abordan acondicionamientos del 45 procedimiento y del aparato correspondientes.

En el procedimiento de conformidad con el invento, para obtener potencias de compresión de aire elevadas del compresor, se lleva a cabo la elevación de la presión de entrada en la pila mediante un estrangulamiento del aire de escape de la pila. Puesto que para las potencias de aire inferiores situadas en la gama de potencia media o baja 50 no resulta adecuado un estrangulamiento constante, para generar una presión lo suficientemente alta y que exija al compresor la potencia suficiente para la evaporación del agua, también se regula la válvula de mariposa.

Esto último significa que con la potencia máxima ya se ajusta de un modo óptimo un estrangulamiento constante de la presión de servicio. Puesto que en el margen de carga parcial las presiones son demasiado reducidas como para que 55 el compresor pueda aplicar la potencia suficiente para evaporar la cantidad necesaria de agua para la humidificación, la válvula de mariposa y el compresor se reajustan igualmente.

En el aparato de conformidad con el invento, el compresor conocido ya trabaja con las presiones más bajas posibles, de modo que la humidificación del aire en un caso normal coincide con el punto de rocío a presión a una temperatura 60 de salida del agua refrigerante. Sin embargo, si con una presión baja predeterminada ya no existe la humidificación suficiente del aire, la presión de entrada a la pila se elevará de tal modo que la humidificación del aire se alcance mediante el desplazamiento de la curva de presión parcial del vapor de agua. Para llevar a cabo estas medidas, se ha dotado a la válvula de mariposa con electrónica de control y se cuenta con la unidad de mando para el control del funcionamiento de las celdas de combustible, de modo que el ajuste de la válvula de mariposa determina la presión 65 necesaria y la potencia de compresión, y el compresor sigue automáticamente la potencia eléctrica con el caudal de aire indicado. Se alcanza la presión necesaria para una humidificación suficiente del aire.

ES 2 315 421 T3

Con el presente invento también se consigue mediante un concepto sencillo y ventajoso la humidificación del aire elevando la presión de entrada del aire en la pila. De este modo se eleva la potencia de compresión, evaporándose así más agua, puesto que, como es sabido, con una elevación de la presión, la curva de presión parcial del vapor de agua se desplaza. De este modo se precisa menos agua para conseguir la suficiente humidificación que sin realizar el desplazamiento de la curva de presión parcial del vapor de agua. Ventajosamente, con el presente invento también se generan dos efectos (a saber, una reducción del gasto de energía para la humidificación, por un lado, y la reducción de las cantidades de agua, por el otro), de modo que su combinación permite sorprendentemente la suficiente humidificación del agua para el suministro de aire de las celdas de combustible.

Otras particularidades y ventajas del invento se deducen de la siguiente descripción de figuras correspondientes a los ejemplos de ejecución conforme a los dibujos relacionados con las reivindicaciones de patente.

La figura 1 muestra un módulo de celdas de combustible con un medio de configuración de la presión;

La figura 2 muestra el ajuste de la presión en una celda de combustible individual.

El funcionamiento de los dispositivos de celdas de combustible exige la preparación de una cantidad suficiente de oxidante, normalmente oxígeno atmosférico, en el lado catódico. El caudal másico de aire necesario para ello normalmente se aspira del entorno y mediante una instalación de aumento de presión, por ejemplo, un compresor o un ventilador, se lleva al estado de entrada de pila. Por motivos técnicos, el caudal másico de aire muchas veces presenta una saturación de humedad determinada (p. ej., 100% de humedad relativa), que se puede caracterizar a través del punto de rocío a presión del caudal másico de aire en la entrada de pila del lado catódico.

Normalmente, las superficies internas de la celda de combustible humedecidas de aire presentan tanto espacialmente como temporalmente una temperatura diferente al caudal másico de aire o a su punto de rocío a presión. Las temperaturas de las superficies internas de la celda de combustible se determinan predominantemente a través de la temperatura de entrada del agua refrigerante, así como a través de la generación de calor en la celda de combustible, la cual en función del caudal másico del refrigerante, produce el estado contrario de temperatura de salida del refrigerante elevada. Ambas temperaturas dependen predominantemente de la temperatura del entorno, o bien en la aplicación del dispositivo de celdas de combustible en un vehículo, de su velocidad y, en caso dado, de la ventilación forzada aplicada.

En la figura 1 se designa con el número 10 un módulo de celdas de combustible que forma parte de un dispositivo de celdas de combustible, accionado por un lado mediante hidrógeno como gas de combustión y, por el otro, con aire como oxidante. Concretamente, los números 11, 11', etc. indican cada celda de combustible PEM individual que conforma un lote, cuya denominación técnica es pila de celdas de combustible, de forma abreviada "pila". El lote de celdas de combustible se encuentra delimitado mediante las placas extremas macizas 12 y 12', que también se encargan de la conducción del gas.

En la figura 1 se indica un suministro para el gas de combustión mediante el número 13 y un suministro para el oxidante con el número 14. El hidrógeno se suministra como gas de combustión desde un depósito de hidrógeno separado y, en caso dado, también desde un reformador. El aire como oxidante se encuentra en el entorno. Se dispone una cantidad de oxidante suficiente para el proceso de funcionamiento de las celdas de combustible a través de la conducción 14 gracias al aire del entorno, para lo cual en la figura se indican simbólicamente un filtro 32 y el consiguiente compresor 35. El compresor 35 es concretamente un compresor helicoidal probado conforme al estado de la técnica.

Se divulga especialmente un compresor helicoidal con inyección de líquido en el documento DE-19.543.879-A1. Dicho compresor posee un buen rendimiento y garantiza la inyección de líquido de un modo sencillo.

En la salida de la pila de celdas de combustible 10, el gas residual se lleva a través de un conducto de gas residual 16 y el aire restante se lleva a través de un conducto de aire 18. En el conducto de aire 18 hay una válvula de mariposa 15 como válvula dirijible o regulable. La válvula de mariposa 15 está conectada bidireccionalmente a una electrónica de control 20, que a su vez se encuentra conectada bidireccionalmente a una unidad de mando 30 para el proceso de funcionamiento de las celdas de combustible. En la unidad de mando 30, la presión en la entrada de la pila de celdas de combustible 10 entra como valor real, para lo cual se dispone de un manómetro 31.

Así pues, el funcionamiento es el siguiente: En el caso normal, la pila 10 del compresor helicoidal de líquido 35 se provee de aire humedecido. Si el compresor 35 no puede suministrar la humidificación suficiente del aire a las presiones inferiores deseadas, por ejemplo, 1,5 bares (absolutos) en la entrada de la pila 10, la presión de entrada se eleva. Mediante el desplazamiento de la curva de presión parcial del vapor de agua obtenido de este modo, resulta más sencillo obtener la humidificación necesaria del aire del compresor, es decir, se emplea menos energía y, dado el caso, también se consigue antes.

La elevación de la presión de entrada se realiza a partir de ahora motivada por la estrangulación del aire de escape de la pila 10 a través de la válvula de mariposa 15 dirijible o ajustable en el conducto de salida de aire 18. De este modo, la potencia de compresión del compresor 35 se eleva hasta el valor donde se alcanza la presión necesaria para obtener la humidificación suficiente del aire.

ES 2 315 421 T3

Según la figura 1, se adopta un mecanismo de regulación del control central de celdas de combustible 30, puesto que además de la posición de la válvula de mariposa 15, también se ajusta automáticamente la potencia eléctrica del compresor 35. El control específico de la electrónica de control 20 tiene el objetivo de corregir la posición de la válvula de mariposa 15.

5

En la figura 2 se representa una celda de combustible 11 individual de la figura 1, formado por un ánodo 111 y un cátodo 112, con un electrolito dispuesto entre ellos y que no se muestra detalladamente. También en este caso se emplea aire como oxidante. Hay un refrigerante fluido.

10 El calor transmitido por el refrigerante se emplea en la figura 2 para el precalentamiento del caudal másico del agua de inyección en el compresor. Esto puede llevarse a cabo, por ejemplo, a través de un intercambiador de calor 115, o incluso también a través de la utilización directa de por lo menos una corriente parcial del refrigerante de la celda de combustible como fluido de inyección.

15 Si la temperatura de las superficies internas humedecidas de aire de la celda de combustible 11 es superior al punto de rocío a presión del caudal másico de aire, entonces el caudal másico de aire se sobrecalienta, es decir, la humedad relativa baja. Se trata de un estado desventajoso e incluso potencialmente dañino para el funcionamiento de la celda de combustible 11, puesto que acelera la desecación de las superficies internas, lo cual puede provocar daños irreversibles en la celda de combustible 11. A la inversa, las temperaturas superficiales por debajo del punto de rocío a presión pueden provocar una condensación parcial de la humedad del aire. El condensado generado impide el acceso del oxígeno atmosférico a las superficies reactivas, reduciendo la potencia de la celda de combustible 11, lo cual tampoco es deseable.

20 El objetivo de un modo de funcionamiento optimizado de la celda de combustible 11 es obtener para todos los estados de funcionamiento la configuración de una diferencia de temperatura lo más reducida posible entre las superficies internas humedecidas de aire y el punto de rocío a presión del caudal másico de aire. Esta corrección de temperatura debe ser lo suficientemente rápida para poder seguir la modificación de carga dinámica de la celda de combustible.

25 En la figura 2 se emplea otra vez como magnitud de ajuste la presión sobre la entrada de pila del lado catódico, configurable, por ejemplo, a través del correspondiente control del dispositivo de elevación de la presión, o también a través de un órgano de estrangulamiento de control variable en el paso de flujo del lado catódico hacia la celda de combustible. El órgano de estrangulamiento está conformado a su vez de forma ventajosa como válvula de mariposa regulable 15, o bien como máquina de expansión, de modo que una parte de la energía contenida en el gas de escape catódico puede recuperarse como energía mecánica. La disposición se completa mediante un separador de agua 120, dispuesto después de la celda de combustible 11, antes y/o después del órgano de estrangulamiento 15. En el separador de agua 120 se separa tanto el agua producida en la celda de combustible 11 como también, dado el caso, la parte de condensado contenida en la corriente de aire, y se suministra al ciclo de agua interno de todo el dispositivo de celdas de combustible. El separador de agua 120 contiene preferiblemente una regulación del nivel de relleno 130, cuya agua sobrante se desprende a través de una válvula controlable eléctricamente 140 en el entorno, o bien a otras partes de la instalación no representadas en la figura 2. La modificación de la presión de entrada de la pila del lado catódico ejerce tres efectos principales en las características del caudal másico de aire en la entrada de la pila. Concretamente:

- 30 - Una elevación de la presión conlleva una reducción del volumen específico del caudal másico de aire, que con igual contenido en humedad absoluta conlleva una elevación de la humedad relativa, o bien la reducción del punto de rocío a presión.
- 35 - Una elevación de la presión precisa una potencia de compresión elevada, disponible en el aire como cantidad de calor de evaporación. También puede evaporarse más agua, lo cual también contribuye a elevar la humedad del aire y a reducir el punto de rocío a presión.
- 40 - Una elevación de la presión con un caudal másico de aire constante produce con los componentes dispuestos tal como muestra el ejemplo una elevación del caudal másico del agua de inyección. De este modo, la energía contenida en el agua de inyección de forma intensificada, así como su superficie interna elevada mediante el caudal másico, están a disposición del aprovechamiento de la entalpía de la vaporización. El resultado es también una elevación de la humedad del aire, o bien la reducción del punto de rocío a presión.

45 De este modo, mediante la modificación de la mencionada presión, el punto de rocío a presión del aire en la entrada de pila puede variar en un amplio margen, para alcanzar el mejor ajuste posible a las temperaturas de entrada o salida del refrigerante de la celda de combustible.

50 La modificación de la presión puede verse influida con la suficiente rapidez mediante el correspondiente ajuste rápido del tramo de regulación del compresor 35 o del órgano estrangulador 150, para garantizar la minimización de la diferencia de temperatura entre el punto de rocío a presión y las superficies internas, también durante el funcionamiento dinámico de la celda de combustible.

ES 2 315 421 T3

De conformidad con la figura 1, a través del control de celdas de combustible se ejecuta automáticamente la regulación de la presión mediante una estrategia de regulación adecuada, que hace referencia a la medición dirigida de la temperatura diferencial entre el punto de rocío a presión en la entrada de pila y la temperatura de entrada y/o salida del refrigerante. La estrategia de regulación también puede considerar gradientes temporales de las temperaturas diferenciales mencionadas.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

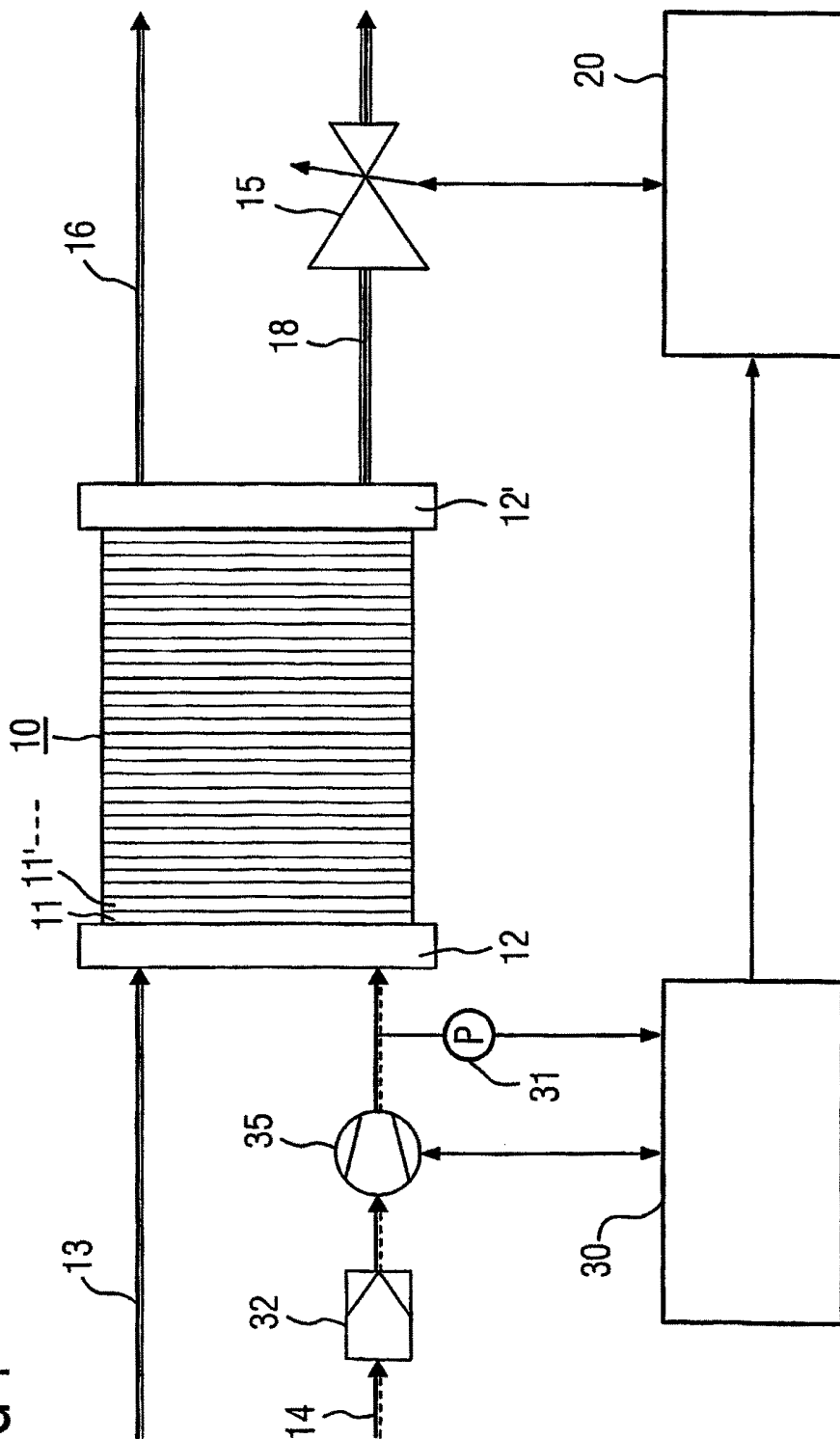
60

65

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para el funcionamiento de un dispositivo de celdas de combustible PEM que utiliza hidrógeno como gas de combustión y aire como oxidante, donde para una alteración rápida de la carga se precisa un aprovisionamiento de aire adecuado y el aire suministrado debe humedecerse, cuyas etapas de proceso son las siguientes: para la preparación de cantidades de aire suficientes se emplea un compresor, el cual trabaja a las presiones más bajas posibles; la humidificación del aire coincide con el punto de rocío a presión a la temperatura de salida del refrigerante; si con la presión reducida indicada no hay la suficiente humidificación del aire, la presión de entrada se elevará de tal modo que se alcanzará la humidificación del aire desplazando la curva de presión parcial del vapor de agua; 10 efectuándose para ello un estrangulamiento regulado del caudal de salida del aire.
- 15 2. Procedimiento conforme a la reivindicación 1, **caracterizado** por el hecho de que el estrangulamiento del caudal de salida del aire se realiza automáticamente a través de la correspondiente electrónica de control.
3. Procedimiento conforme a la reivindicación 2, **caracterizado** por el hecho de que la electrónica de control se controla mediante el control de funcionamiento central de celdas de combustible.
- 20 4. Procedimiento conforme a una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por el hecho de que mediante el desplazamiento de la curva de presión parcial del vapor de agua se realiza la humidificación del aire con un gasto de energía más reducido que sin el estrangulamiento de la energía necesaria del caudal de salida del aire.
- 25 5. Procedimiento de conformidad con la reivindicación 4, **caracterizado** por el hecho de que mediante el desplazamiento de la curva de presión parcial del vapor de agua, para conseguir la suficiente humidificación del aire se utilizan cantidades de agua más reducidas que sin desplazamiento.
- 30 6. Dispositivo de celdas de combustible PEM con por lo menos un módulo formado por celdas de combustible PEM, suministradas con hidrógeno como gases de trabajo por un lado, y con aire por el otro, con medios para el suministro de aire y la humidificación del aire suministrado, que comprenden un compresor para la compresión del aire y una unidad de mando para el control del proceso de funcionamiento de las celdas de combustible, **caracterizado** por el hecho de que en el lado de salida de la celda de combustible o del módulo de celdas de combustible (10) hay un órgano de estrangulamiento (15) con la correspondiente electrónica de control (20), de modo que la presión condicionada por la posición del órgano de estrangulamiento (15) eleva la potencia de compresión del compresor de aire (35) hasta un valor con el cual se alcanza una presión necesaria para la humidificación suficiente del aire, y donde la electrónica de control (20) sirve para la corrección de la posición del órgano de estrangulamiento (15). 35
7. Dispositivo de celdas de combustible conforme a la reivindicación 6, **caracterizado** por el hecho de que existe una conexión bidireccional entre la electrónica de control (20) y el órgano de estrangulamiento (15).
- 40 8. Dispositivo de celdas de combustible conforme a la reivindicación 7, **caracterizado** por el hecho de que la electrónica de control (20) presenta una conexión bidireccional con la unidad de mando (30) para el control del proceso de funcionamiento de celdas de combustible.
- 45 9. Dispositivo de celdas de combustible conforme a la reivindicación 8, **caracterizado** por el hecho de que la unidad de mando (30), para controlar el proceso de funcionamiento de las celdas de combustible, presenta un medio (32) para el registro de valores reales de las magnitudes de funcionamiento, especialmente la presión de entrada de aire, para el módulo de celdas de combustible (10).
- 50 10. Dispositivo de celdas de combustible conforme a la reivindicación 6, **caracterizado** por el hecho de que el compresor es un compresor helicoidal (35).
11. Dispositivo de celdas de combustible conforme a la reivindicación 6, **caracterizado** por el hecho de que el órgano de estrangulamiento es una válvula de mariposa (15) dirigible.
- 55 12. Dispositivo de celdas de combustible conforme a la reivindicación 6, **caracterizado** por el hecho de que se dispone de un intercambiador de calor (115) para el refrigerante.
- 60 13. Dispositivo de celdas de combustible conforme a la reivindicación 6, **caracterizado** por el hecho de que posee un separador de agua (120) que tiene asignada una válvula controlable eléctricamente (140) para la descarga del agua sobrante.
- 65 14. Dispositivo de celdas de combustible conforme a la reivindicación 6, **caracterizada** por el hecho de que el separador de agua (120) comprende un indicador de nivel (130).

FIG 1



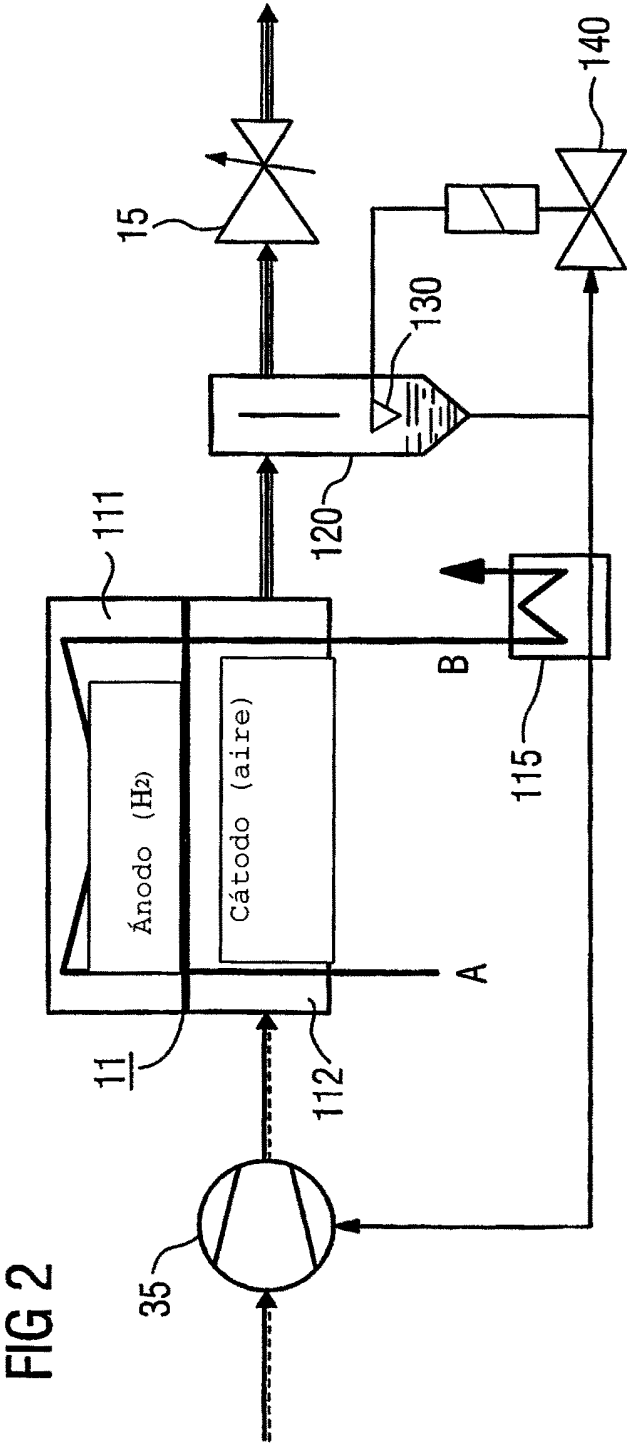


FIG 2