

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 424 496**

51 Int. Cl.:

H01M 8/04

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.08.2011 E 11006485 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.05.2013 EP 2426766**

54 Título: **Sistema de celdas de combustible con óxidos sólidos así como un procedimiento para hacerlo funcionar**

30 Prioridad:

04.09.2010 DE 102010044408

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

02.10.2013

73 Titular/es:

**FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH (100.0%)
52425 Jülich, DE**

72 Inventor/es:

**PETERS, ROLAND;
DEJA, ROBERT y
BLUM, LUDGER**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 424 496 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 celdas de combustible con óxidos sólidos así como un procedimiento para hacerlo funcionar

El invento se refiere a un sistema que comprende por lo menos una celda de combustible con óxidos sólidos (Solid Oxide Fuel Cell, con el acrónimo SOFC), así como a un procedimiento para hacerlo funcionar.

5 Estado de la técnica

Las celdas de combustible con óxidos sólidos (Solid Oxide Fuel Cells, SOFC) con celdas cerámicas constituyen una de las variantes para altas temperaturas de las celdas de combustible. Ellas se hacen funcionar a 600 hasta 1.000°C y suministran en tal caso unos elevadísimos coeficientes de rendimiento eléctrico de aproximadamente 50 %. Ellas se pueden emplear en el abastecimiento de energía domestica, en el acoplamiento de fuerza y calor industrial (BHKW, Industriellen Kraft-Wärme-Kopplung), en centrales energéticas para la generación de corriente eléctrica e incluso para la generación de corriente eléctrica a bordo de vehículo. La SOFC es desarrollada predominantemente en dos variantes principales: como unos tubos y como una membrana plana. Ella se puede hacer funcionar con hidrógeno, pero también con metano o con un material reformado de combustible Diesel o respectivamente también con un material reformado de otros hidrocarburos. El electrólito de este tipo de celda se compone de un material cerámico sólido (clásicamente: dióxido de zirconio dopado con itrio YSZ), que está en situación de conducir iones de oxígeno, pero que actúa sin embargo aislando a los electrones. El cátodo se produce asimismo a base de un material cerámico (manganato de lantano dopado con estroncio), que es capaz de conducir iones y electrones. El ánodo se produce a base de níquel con óxido de zirconio dopado con itrio (un denominado cermet), que asimismo conduce iones y electrones.

En el caso del funcionamiento de las celdas de combustible para altas temperaturas, el combustible, por ejemplo gas natural, entra a través de un soplante dentro del reformador previo. Es ventajoso estructurar de un modo autárquico para el agua a una celda de combustible para altas temperaturas (instalación de SOFC). Un método de garantizar la autarquía para el agua es la devolución (recirculación) parcial del gas de salida del ánodo que contiene vapor de agua. En este caso, es necesario, según sea la carga de la instalación, añadir al gas combustible de nueva aportación (= fresco) una determinada cantidad de material de recirculación o una determinada relación de recirculación. Si la cantidad de material de recirculación y por consiguiente también la cantidad de vapor es demasiado pequeña, entonces se puede llegar de manera desventajosa a la formación de hollín en los componentes atravesados por el gas combustible, con lo que se daña de una manera irreversible a la instalación. En el caso de una cantidad demasiado alta del material de recirculación el gas combustible es diluido de una manera excesiva, con lo cual se disminuye el coeficiente de rendimiento de las SOFC.

Por regla general, por lo tanto, mediante una bomba de chorro o un soplante se devuelve aproximadamente un 60 % de gas de salida del ánodo y se mezcla con el combustible aportado de modo fresco. Esto tiene dos ventajas. Por un lado, aumenta el aprovechamiento de combustible en el sistema, lo cual aumenta el coeficiente de rendimiento eléctrico del sistema. Por otro lado, se devuelve vapor de agua, que es necesario para la reforma con vapor del gas natural y que en caso contrario se tendría que producir adicionalmente y aportar al sistema, lo cual aumenta la complejidad y empeora el coeficiente de rendimiento térmico del sistema. En un aparato reformador previo conectado delante se reforma por ejemplo aproximadamente de un 10 a un 30 % del gas natural así como de los hidrocarburos superiores, el metano restante es transformado en el apilamiento de celdas de combustible en hidrógeno y monóxido de carbono, con lo cual a causa de este proceso endotérmico se reduce manifiestamente además de esto la cantidad de aire que es necesaria para la refrigeración.

Con el fin de garantizar un funcionamiento seguro y óptimo del sistema de celdas de combustible se debe de devolver en cada caso una cantidad definida del gas de salida del ánodo. La cantidad del gas de salida del ánodo que se devuelve es en este caso dependiente del respectivo punto de carga de las SOFC. Por lo tanto, debería estar puesto a disposición un apropiado procedimiento, con el que se pueda determinar la proporción devuelto del gas de salida del ánodo.

En la corriente de entrada en el aparato reformador debería respetarse una determinada cantidad introducida de vapor de agua, indicada como relación S/C. La relación S/C es definida como la relación molar del agua (como Steam = vapor de agua) a los átomos de carbono en los hidrocarburos (como Carbono) y según sea la definición también en CO y CO₂. A través de esta relación se determina la necesaria cantidad de agua, con el fin de impedir de manera segura una formación de hollín. Para esto es necesario conocer la composición, que es conocida por regla general, y la corriente másica, que se puede medir por ejemplo en un aparato medidor del flujo térmico de paso, del gas fresco, así como la composición o respectivamente el contenido de humedad y la corriente másica del material reciclado.

En el momento actual, la cantidad absoluta de gas de salida del ánodo que se devuelve (corriente de material reciclado) se determina con diferentes métodos convencionales de medición del flujo de paso, determinándose

5 primeramente la velocidad y, a través de la correspondiente sección transversal de la conducción, la corriente volumétrica (= caudal volumétrico) del gas de salida. En el caso de conocerse la temperatura actual real y la composición gaseosa exacta del gas de salida del ánodo, se puede de esta manera sacar una conclusión acerca de la corriente másica (= caudal másico) absoluta(o) por medio de una línea característica del aparato medidor utilizado. Esta corriente se puede comparar entonces con la del combustible fresco aportado o se puede establecer fijamente de manera indirecta a través de unas líneas características previamente determinadas del soplante de recirculación o de la bomba de chorro.

10 Este modo de proceder muestra sin embargo algunas desventajas. Así, el gas de salida del ánodo debe tener unas temperaturas fluctuantes durante el procedimiento, comprendidas entre 600 y 900 °C, mientras que el gas aportado al ánodo tiene por regla general unas temperaturas comprendidas entre 400 y 800 °C. Además de esto, la composición gaseosa del gas de salida del ánodo puede fluctuar en gran manera dependiendo de la relación de recirculación y del punto de carga de la celda de combustible. Estos hechos dificultan la conversión por cálculo de la corriente volumétrica devuelta determinada del gas de salida en una corriente másica, que hasta ahora se necesitaba para realizar el ajuste con el combustible fresco aportado.

15 La inseguridad que existía hasta ahora en la determinación de la corriente másica del gas de salida del ánodo que se ha devuelto puede perjudicar sin embargo al funcionamiento seguro de la instalación, puesto que por ejemplo un contenido de agua demasiado pequeño conduce regularmente a la formación de hollín, y un contenido de agua demasiado alto en el circuito del ánodo reduce la potencia de la celda de combustible.

20 A partir del documento de patente japonesa JP 3 037965 A (de ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY IND) de 19 de Febrero de 1991 (1991-02-19), compárense el resumen y la figura, ya es conocido un sistema de celdas de combustible con una devolución del gas del ánodo. A través de una medición del flujo de paso a la salida del ánodo y de una tabla de corrección que ha de tomar en cuenta a la mezcla gaseosa, se puede sacar una conclusión acerca de una medición exacta del flujo de paso a la salida del ánodo, que se devuelve al ánodo.

25 A partir del documento de solicitud de patente alemana DE 10 2008 054375 Ai (de BOSCH GMBH ROBERT [OE]) de 10 de Junio de 2010 (2010-06-10) se conoce asimismo una celda de combustible con un sistema de devolución del gas del ánodo. Por medio de dos mediciones de la presión delante y detrás de la celda de combustible. Por medio de dos mediciones de la presión en los sitios V1 y V2 se calcula de un modo complejo, por medio del establecimiento de unos diagramas de estado y de las estimaciones de las cantidades de materiales a partir de estos diagramas, se calculan a continuación para V1 y V2 dos presiones estimadas, que luego son comparadas con las que se han medido. La meta es determinar en el primer volumen las cantidades de material de un reaccionante (el combustible), con el fin de calcular a partir de éstas la proporción cuantitativa de material o respectivamente la presión parcial en una corriente de gas de ánodo, para poder decidir de esta manera, con ayuda de un valor límite preestablecido, cuándo se debe de abrir durante un breve período de tiempo una válvula de salida, con el fin de poder dejar desprenderse al medio ambiente de una manera discontinua una corriente de material (gas de salida del ánodo).

Misión, problema y solución

40 La misión y el problema del invento es poner a disposición una forma de realización del funcionamiento para una SOFC, que por un lado garantice un efectivo aprovechamiento del combustible en el sistema y por consiguiente un alto coeficiente de rendimiento eléctrico, y que por otro lado asegure una administración optimizada del agua por el lado del ánodo, lo que conduzca en conjunto a un coeficiente de rendimiento mejorado de toda la SOFC.

El problema planteado por la misión del invento se resuelve mediante un procedimiento para hacer funcionar una celda de combustible con óxidos sólidos de acuerdo con la reivindicación principal. Además, el problema se resuelve mediante un sistema de celdas de combustible con óxidos sólidos para la realización del procedimiento, según una reivindicación secundaria.

45 Unas ventajosas formas de realización del procedimiento o del dispositivo se encuentran en las reivindicaciones dependientes, que en cada caso se retrotraen a ellos.

Objeto del invento

50 En el marco del invento se descubrió que para la realización segura del funcionamiento no se necesita obligatoriamente conocer la corriente másica absoluta exacta del gas de salida del ánodo que se devuelve de manera continua (corriente de material recirculado) sino que es suficiente solamente conocer la relación de división del gas de ánodo devuelto (recirculado) de un modo continuo al gas de ánodo producido en total.

En el marco de este invento se propone, por lo tanto, una realización segura del funcionamiento para una SOFC, en la que se preestablezca solamente la relación de recirculación (relación de división del gas de salida del ánodo que

se devuelve al gas de salida del ánodo que se produce en total). Para esto, se pone a punto una disposición robusta y sencilla de medición de la recirculación, con la cual se hace posible un funcionamiento confiable de la instalación junto con un pequeño gasto de medición.

5 Con el fin de determinar la relación de recirculación, es suficiente que se midan por ejemplo las corrientes volumétricas en dos diferentes sitios de los tres tramos de conducciones posibles de la corriente de gas de salida del ánodo. Puesto que se presentan en todos los tramos de conducciones unas temperaturas y unas composiciones gaseosas casi iguales, la relación de las corrientes volumétricas se puede equiparar en este caso a la relación de las corrientes másicas. Se puede prescindir ventajosamente de esta manera de una calibración de diferentes aparatos de medición, o respectivamente de un aparato de medición a la temperatura y a la composición gaseosa.
10 Otras ventajas se establecen también al tomar en consideración la deriva de la exactitud de medición a lo largo del tiempo, que asimismo tiene unas repercusiones manifiestamente más pequeñas en el caso de una tal medición de las diferencias.

15 De esta manera, mediante unas sencillas mediciones de la corriente volumétrica en dos sitios diferentes en los tramos de conducciones de la corriente de gas de salida del ánodo se puede determinar la necesaria relación de recirculación.

Este efecto positivo es reforzado todavía en particular, entonces, cuando como aparatos de medición para la corriente volumétrica se emplean dos aparatos del mismo tipo, que por consiguiente tienen unos errores de medición casi similares.

Las mediciones tienen lugar por regla general a unas temperaturas comprendidas entre 600 y 900 °C.

20 El principio de medición más favorable para este intervalo de temperaturas es la medición de la presión efectiva, puesto que los aparatos de medición que trabajan según este principio de medición no contienen ni partes móviles ni partes electrónicas en la región caliente. Como apropiados aparatos de medición de la presión efectiva se pueden emplear todos los aparatos habituales que son apropiados para la medición de caudales de paso, en particular diafragmas de medición, tubos de Prandtl, tubos de Pitot con medición adicional de la presión estática, elementos de flujo laminar, tubos de Venturi o solamente la pérdida de presión por derivación en una pieza en T. Un tubo de Pitot mide la presión total y puede ser equipado conjuntamente con una sonda de presión estática, para medir de esta manera la velocidad del gas, tal como se realiza en un tubo de remanso de Prandtl.
25

En los aparatos de medición antes mencionados se aprovecha el efecto de:

$$\sqrt{\text{Presión dinámica}} \sim \text{velocidad de circulación}$$

30 Una excepción la constituyen los elementos de flujo laminar. Aquí se realiza que

$$\text{Presión dinámica} \sim \text{velocidad de circulación}$$

35 Si los dos aparatos de medición de la corriente volumétrica conformes al invento se colocan en los dos tramos de gas de salida casi uno junto a otro, se puede partir del hecho de que la composición, la temperatura y la presión del gas de salida son iguales para ambas mediciones. Para el invento es decisivo llevar a cabo ambas mediciones con unos aparatos de medición que posean las mismas líneas características, incluso aunque varíen los valores de materiales de la mezcla gaseosa. Aquí se aconseja ventajosamente emplear los mismos aparatos de medición en conducciones con la misma forma geométrica.

40 A partir de la relación de las presiones dinámicas se puede determinar la relación de las velocidades de circulación y por consiguiente también las corrientes volumétricas y respectivamente másicas de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$\sqrt{\frac{\text{presión dinámica 1}}{\text{presión dinámica 2}}} = \frac{\text{corriente volumétrica 1}}{\text{corriente volumétrica 2}} \quad \text{y respectivamente}$$

$$\frac{\text{presión dinámica 1}}{\text{presión dinámica 2}} = \frac{\text{corriente volumétrica 1}}{\text{corriente volumétrica 2}} \quad \text{en el caso de los elementos de flujo laminar.}$$

Esta relación es independiente de la composición del gas, de la temperatura, de la presión y de la corriente dese salida del ánodo que es dependiente de la carga de la instalación. Por consiguiente, no es necesario conocer la línea característica sino únicamente solo el tipo del aparato de medición (función cuadrática o lineal).

- 5 La exactitud de este principio de medición depende por consiguiente solamente de la exactitud de los aparatos de medición y no de las influencias externas antes mencionadas. Lo mismo es válido para la deriva de la exactitud de medición a lo largo del tiempo.

10 En principio, para la determinación de la relación del gas de salida del ánodo que se ha devuelto al gas de salida que se ha producido en total se necesitan por lo menos dos mediciones en sitios diferentes de los tramos de conducciones del gas de salida del ánodo. En principio, se establecen cinco diferentes sitios en los que se pueden llevar a cabo en principio mediciones de la corriente volumétrica o respectivamente de la corriente másica.

1. conducción de aportación de combustible fresco al ánodo
2. conducción de aportación global de combustible al ánodo de la celda de combustible = combustible fresco y combustible reciclado
- 15 3. conducción de evacuación del gas de salida del ánodo que se ha producido en total
4. la corriente parcial del gas de salida del ánodo que se ha retirado del sistema
5. la corriente parcial del gas de salida del ánodo que se ha devuelto (corriente de material recirculado).

20 Con la suposición de que el gas de salida del ánodo (3) producido en total se divide exclusivamente en la corriente parcial del gas de salida del ánodo (4) que se retira desde el sistema y de la corriente parcial del gas de salida del ánodo que se devuelve continuamente (corriente de material recirculado) (5), es suficiente que de acuerdo con el invento se lleven a cabo para el gas de salida, en por lo menos dos de los sitios 3, 4 ó 5, unas correspondientes mediciones de la corriente volumétrica en las conducciones de gas de salida del ánodo, para de esta manera poder hacer una predicción con respecto de la relación de recirculación (de 5 a 3).

25 Puesto que cada sitio de medición trae consigo por regla general una disminución de la presión que es pequeña, pero que no se puede despreciar, la cual debe de ser previamente compensada por el sistema, es ventajoso que esté dispuesto dentro de las conducciones un sitio de medición que influya lo menos posible sobre el funcionamiento ulterior.

Uno de tales sitios es en particular la conducción, a través de la cual se retira parcialmente el gas de salida del ánodo. La pérdida de presión en este sitio no aumenta la pérdida de presión del bucle de material recirculado.

30 Una ventajosa forma de realización tiene previsto por lo tanto prever los dos sitios de medición en los sitios 3 y 4.

El invento, que se explica aquí con ayuda del circuito del ánodo para una celda de combustible, no está restringido sin embargo solamente a esto. De manera análoga, una tal disposición de medición se puede prever también para un circuito de cátodo en una celda de combustible, y se puede hacer funcionar por medio de un procedimiento correspondiente.

35 Además se puede concebir también el recurso de proveer al invento de un sistema de combustión posterior conectado seguidamente en el caso de una celda de combustible o respectivamente de un apilamiento de celdas de combustible, en cuyo caso los gases de salida situados por el lado del ánodo y por el lado del cátodo se reúnen y a continuación se queman, antes de que ellos se retiren definitivamente desde el sistema. Siempre y cuando que también para el quemador posterior esté prevista una devolución por lo menos parcial del gas de salida hacia la celda de combustible o respectivamente hacia el apilamiento, se podría hacer realizarse para la devolución parcial
40 también aquí el procedimiento conforme al invento. Eventualmente en el caso de una tal forma de realización del

invento se tendría que emplear sin embargo un reformador especial, por ejemplo un reformador autotérmico, para la celda de combustible.

Parte especial de la descripción

5 A continuación el invento se explica con mayor detalle con ayuda de unos ejemplos de realización, sin que con ello se haya de entender una restricción del alcance de la protección por patente.

10 El sistema de celdas de combustible con óxidos sólidos comprende un número múltiplo de celdas de combustible, que están dispuestas preferiblemente en un modo constructivo apilado, y en cuyo caso una o varias celdas de combustible pueden estar conectadas eléctricamente en serie y/o en paralelo de un modo conocido, para poder poner a disposición para los consumidores eléctricos un deseado nivel de tensión eléctrica y de corriente eléctrica. Las celdas de combustible tienen en cada caso un ánodo, el electrólito sólido así como un cátodo.

En las Figuras 1 a 4 se representa, de un modo representativo de todos los ánodos del apilamiento de celdas de combustible conformes al invento, solamente de manera simplificada un lado de ánodos del apilamiento.

15 Al ánodo se le aporta a través de una conducción de aportación, situada por el lado del ánodo, un combustible, típicamente hidrógeno. Si no está a disposición nada de hidrógeno puro, sino que la celda de combustible se hace funcionar por ejemplo con gas natural, en un correspondiente aparato reformador previo está previsto que se pueda poner a disposición el hidrógeno necesario por el lado de ánodos del apilamiento.

20 El agente de reducción y el agente de oxidación reaccionan entre ellos en las celdas de combustible del apilamiento de celdas de combustible. Los productos de reacción formados por el lado de los ánodos se evacúan a través de la conducción de evacuación del ánodo, estando prevista para una corriente parcial del gas de salida de los ánodos una devolución continua (una conducción en circuito), mientras que el resto del gas de salida de los ánodos es retirado como gas de salida del sistema. En la corriente de material recirculado está dispuesto además de ello un compresor, que compensa la pérdida de presión que allí aparece.

En la Figura 1 se dibujan los sitios de medición 3, 4 y 5 que son apropiados en principio para las mediciones conformes al invento de las corrientes volumétricas del gas de salida del ánodo.

25 Para el propuesto principio de medición existen tres posibilidades de disposición, tal como está representado en las Figuras 2 hasta 4. La relación de división RR (acrónimo de Rezirkulierungs Rate = tasa de recirculación) es definida como:

$$RR = \frac{\dot{V}_{\text{recirculac.}}}{\dot{V}_{\text{gas de salida de ánodo}}} = \frac{w_{\text{recirculac.}}}{w_{\text{gas de salida de ánodo}}} = \frac{\dot{m}_{\text{recirculac.}}}{\dot{m}_{\text{gas de salida de ánodo}}}$$

con: V = corriente volumétrica, w = velocidad de circulación y m = corriente másica.

30 Según sea la disposición de los aparatos de medición se realiza p. ej. en el caso de la disposición conforme a la Figura 2:

$$RR = \frac{\sqrt{\text{presión dinámica 1}} - \sqrt{\text{presión dinámica 2}}}{\sqrt{\text{presión dinámica 1}}}$$

o respectivamente para elementos de flujo laminar

$$RR = \frac{\text{presión dinámica 1} - \text{presión dinámica 2}}{\text{presión dinámica 1}}$$

o en el caso de la disposición según la Figura 3:

$$RR = \frac{\sqrt{\text{presión dinámica 3}}}{\sqrt{\text{presión dinámica 1}}}$$

o respectivamente para elementos de flujo laminar

$$RR = \frac{\text{presión dinámica 3}}{\text{presión dinámica 1}}$$

5

o en el caso de la disposición según la Figura 4:

$$RR = \frac{\sqrt{\text{presión dinámica 3}}}{\sqrt{\text{presión dinámica 2}} + \sqrt{\text{presión dinámica 3}}}$$

o respectivamente para elementos de flujo laminar.

$$RR = \frac{\text{presión dinámica 3}}{\text{presión dinámica 2} + \text{presión dinámica 3}}$$

- 10 Tomando en consideración la pérdida de presión, la disposición según la Figura 4 es por consiguiente especialmente ventajosa.

Los trabajos que han conducido al desarrollo de este invento fueron subvencionados por el 7º Programa Marco de la comunidad europea (FP7/2007-2013) acerca del tema de "iniciativa de tecnología conjunta de celdas de combustible e hidrógeno" bajo el nº de proyecto concedido nº 244821.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para hacer funcionar por lo menos una celda de combustible de óxidos sólidos, en cuyo caso se aporta un combustible fresco al lado del ánodo y en cuyo caso por el lado del ánodo se evacua un gas de salida del ánodo, siendo aportada de nuevo al lado del ánodo de la celda de combustible una primera corriente parcial del gas de salida del ánodo en forma de recirculación continua en circuito, y siendo retirada continuamente la corriente parcial restante en forma de gas de salida del sistema, **caracterizado por que** la relación de recirculación real, que se establece a partir del cociente entre la corriente volumétrica del gas de salida del ánodo que se ha recirculado y la corriente volumétrica del gas de salida del ánodo que se ha producido en total, se determina de tal manera que en la corriente del gas de salida del ánodo se miden las presiones dinámicas en por lo menos dos sitios, y a partir de las dos presiones dinámicas medidas se calcula la relación de recirculación real, realizándose para ello o bien que:
- se miden las presiones dinámicas del gas de salida del ánodo que se retira y del gas de salida del ánodo total, o
 - se miden las presiones dinámicas del gas de salida del ánodo que se retira y del gas de salida del ánodo que se recircula, o
 - se miden las presiones dinámicas del gas de salida del ánodo que se recircula y del gas de salida del ánodo total.
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en cuyo caso las mediciones de las dos presiones dinámicas se llevan a cabo en caso como mediciones de diferencias.
3. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 2, en cuyo caso para la medición de las presiones dinámicas se utilizan unos idénticos aparatos de medición.
4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 3, en cuyo caso está presente adicionalmente también un circuito de gas de salida del cátodo, en cuyo caso una primera corriente parcial del gas de salida del cátodo es aportada de nuevo en forma de recirculación en circuito al lado de cátodo de la celda de combustible, y la corriente parcial restante del gas de salida del cátodo se retira continuamente como gas de salida del sistema, y midiéndose las presiones dinámicas en la corriente de gas de salida del cátodo, en por lo menos dos sitios, y calculándose a partir de las presiones dinámicas medidas la relación de recirculación como el cociente entre la corriente volumétrica del gas de salida del cátodo que se ha recirculado y la corriente volumétrica del gas de salida de cátodos que se ha producido en total.
5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 4, en cuyo caso los gases de salida producidos por el lado del ánodo y por el lado del cátodo se queman en un quemador posterior, siendo aportada de nuevo una primera corriente parcial del gas de salida del quemador posterior en forma de recirculación en circuito al lado del ánodo de la celda de combustible y siendo retirada continuamente la corriente parcial del gas de salida del quemador posterior como gas de salida del sistema, y siendo medidas en la corriente de gas de salida del quemador posterior las presiones dinámicas en por lo menos dos sitios y siendo calculada a partir de las presiones dinámicas medidas la relación de recirculación como el cociente entre la corriente volumétrica del gas de salida del quemador posterior que se ha recirculado y la corriente volumétrica del gas de salida del quemador posterior que se ha producido en total.
6. Celda de combustible con óxidos sólidos, que comprende un ánodo, un electrolito sólido así como un cátodo, con una conducción para el gas de salida del ánodo, un circuito de gas de salida del ánodo y un medio de circulación dispuesto dentro de ella, en la que una primera corriente parcial del gas de salida del ánodo se aporta de nuevo en forma de recirculación en circuito al lado del ánodo de la celda de combustible, así como con una conducción del gas de salida del sistema, a través de la cual se evacua la restante corriente parcial del gas de salida del ánodo como gas de salida del sistema, **caracterizada por que** en por lo menos dos sitios está previsto un aparato de medición para efectuar la medición de una presión dinámica en la conducción, disponiéndose o bien
- en cada caso un aparato de medición en la conducción de gas de salida del ánodo y en el circuito de gas de salida del ánodo por el lado del ánodo, o
 - en cada caso un aparato de medición en la conducción de gas de salida del ánodo y en la conducción de gas de salida del sistema o
 - en cada caso un aparato de medición en la conducción de gas de salida del sistema y en el circuito de gas de salida de ánodo por el lado de ánodo.
7. Celda de combustible con óxidos sólidos de acuerdo con la reivindicación 6, en cuyo caso están previstos dos aparatos de medición idénticos para la medición de una presión dinámica.

5 8. Celda de combustible con óxidos sólidos de acuerdo con una de las reivindicaciones 6 hasta 7, con una conducción de gas de salida del cátodo, con un circuito de gas de salida del cátodo, en cuyo caso una primera corriente parcial del gas de salida del cátodo se aporta de nuevo en forma de recirculación en circuito al lado de cátodo de la celda de combustible, así como con otra conducción de gas de salida del sistema para el gas de salida de cátodo, a través de la que se evacua continuamente la restante corriente parcial del gas de salida del cátodo, **caracterizada por que** en por lo menos dos sitios en la corriente de gas de salida del cátodo está previsto en cada caso un aparato de medición para la medición de la presión dinámica en la conducción.

10 9. Celda de combustible con óxidos sólidos de acuerdo con una de las reivindicaciones 6 hasta 8, con un quemador posterior, en cuyo caso se queman los gases de salida del ánodo y del cátodo, con un circuito del gas de salida del quemador posterior, en cuyo caso una primera corriente parcial de gas de salida del quemador posterior se aporta de nuevo en forma de recirculación en circuito al lado del ánodo de la celda de combustible, así como con otra conducción de gas de salida del sistema para el gas de salida del quemador posterior, a través de la que se evacua continuamente la corriente parcial restante del gas de salida del quemador posterior, **caracterizada por que**
15 en por lo menos dos sitios en la corriente de gas de salida del quemador posterior está previsto en cada caso un aparato de medición para la medición de la presión dinámica en la conducción.

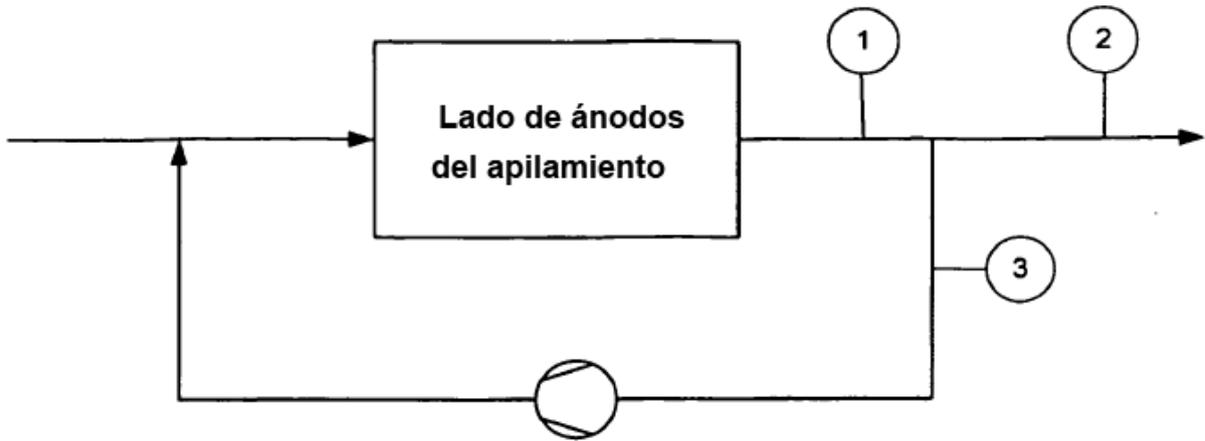


Figura 1

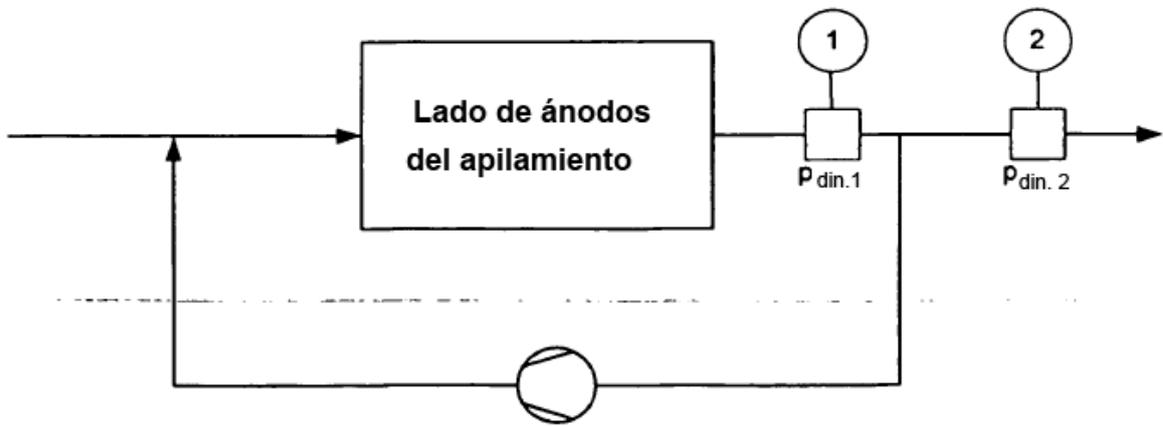


Figura 2

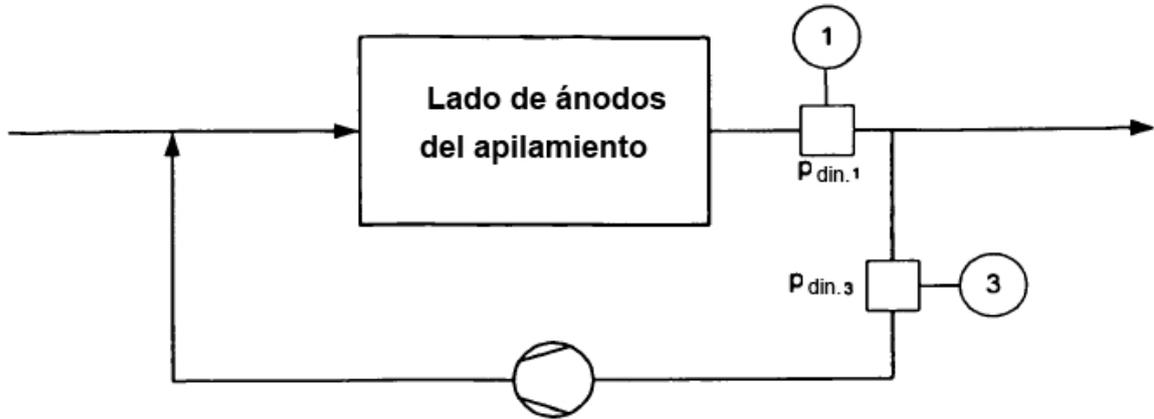


Figura 3

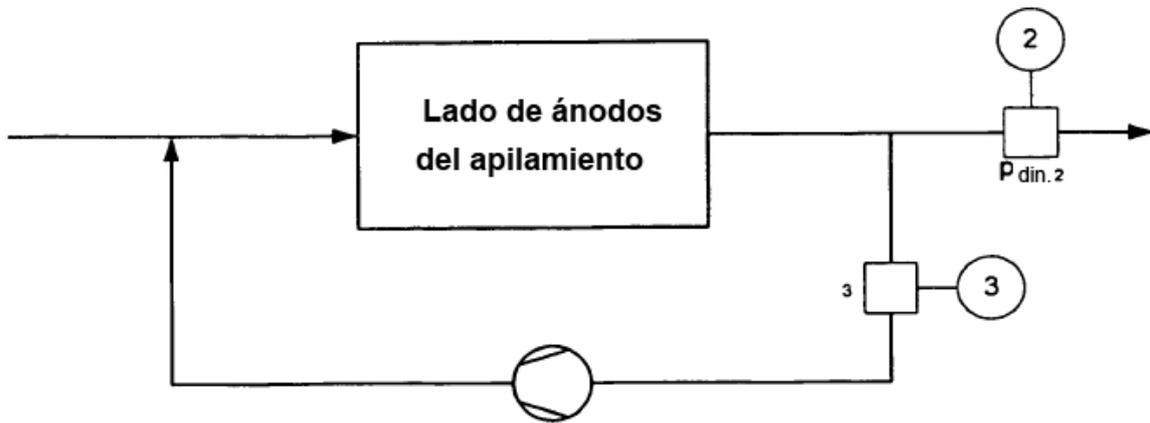


Figura 4