



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 359 884**

51 Int. Cl.:

<b>C01B 3/32</b> (2006.01)	<b>H01M 8/06</b> (2006.01)
<b>B01J 8/02</b> (2006.01)	<b>B01B 1/00</b> (2006.01)
<b>B01J 8/04</b> (2006.01)	<b>B01J 8/06</b> (2006.01)
<b>B01J 19/24</b> (2006.01)	<b>C01B 3/38</b> (2006.01)
<b>B01J 8/08</b> (2006.01)	<b>B01J 8/10</b> (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **99928209 .8**

96 Fecha de presentación : **02.07.1999**

97 Número de publicación de la solicitud: **1103518**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **30.05.2001**

54 Título: **Aparato para la reforma de combustibles.**

30 Prioridad: **08.07.1998 JP 10-210354**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**27.05.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**27.05.2011**

73 Titular/es: **TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA  
1, Toyota-cho  
Toyota-shi, Aichi 471-8571, JP**

72 Inventor/es: **Taki, Masayoshi;  
Mizuno, Seiji;  
Ozaki, Toshiaki;  
Kawahara, Tatsuya;  
Kinoshita, Katsuhiko y  
Negishi, Yoshimasa**

74 Agente: **Isern Jara, Jorge**

ES 2 359 884 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

Aparato para la reforma de combustibles

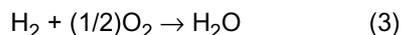
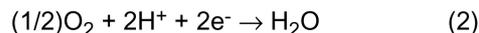
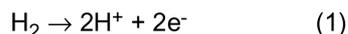
5 Sector técnico

La presente invención se refiere a un aparato para la reforma de combustibles, y más específicamente a un aparato para la reforma de combustibles que produce un gas rico en hidrógeno a partir de un hidrocarburo y vapor de agua, así como un proceso para llevar a cabo una reacción de reforma con vapor de agua en un aparato para la reforma de combustibles.

Antecedentes de la técnica

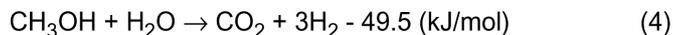
15 El aparato para la reforma de combustibles que produce el gas rico en hidrógeno a partir de un hidrocarburo y vapor de agua es un aparato conocido, utilizado para suministrar un combustible gaseoso a las células de combustible. Las células de combustible convierten la energía química de un combustible en energía eléctrica, no mediante la energía mecánica o energía térmica, sino directamente, y de esta manera consiguen un elevado rendimiento de la energía. En las células de combustible, un combustible gaseoso que contiene hidrógeno es suministrado a los ánodos, mientras que un gas oxidante que contiene oxígeno es suministrado a los cátodos. Las células de combustible generan fuerza electromotriz a través de reacciones electroquímicas que tienen lugar en ambos electrodos. Las siguientes ecuaciones definen las reacciones electroquímicas que tienen lugar en las células de combustible. La ecuación (1) representa una reacción que tiene lugar en los ánodos, y la ecuación (2) representa una reacción que tiene lugar en los cátodos. La reacción expresada por la ecuación (3) tiene lugar, por lo tanto en las celdas de combustible en su conjunto.

25



30 Un gas oxidante y un combustible gaseoso que contienen dióxido de carbono pueden ser utilizados en células de combustible de electrolito polímero, célula de combustible de fosfato, y células de combustible de electrolito de carbonato fundido entre una serie de células de combustible dadas las características de sus electrolitos. En estas células de combustible, el aire es utilizado de manera general para el gas oxidante, y un gas rico en hidrógeno producido por reforma mediante vapor de un hidrocarburo, tal como metanol o gas natural, es utilizado para el combustible gaseoso. Un sistema de células de combustible que utilizan dichas células de combustible tiene el dispositivo reformador de combustible en el que tiene lugar la reacción de reforma por vapor de agua para producir el combustible gaseoso. La siguiente reacción describe el proceso de reforma que tiene lugar dentro del aparato para la reforma del combustible. La descripción tiene en cuenta el caso en que se utiliza metanol como hidrocarburo sometido a la reacción de reforma. La siguiente ecuación representa una reacción de vapor que reforma metanol:

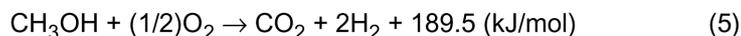
35



40

Tal como se ha mostrado en esta ecuación (4), la reacción de reforma mediante vapor es endotérmica. Un suministro de energía térmica se requiere, por lo tanto, para que tenga lugar el avance de la reacción de reforma. Un método conocido para suministrar energía térmica requerida para la reacción de reforma, aplica exteriormente calor por medio de un quemador o un calentador instalado en el aparato para la reforma de combustible. Otro método conocido provoca una reacción de oxidación exotérmica para que tenga lugar además de la reacción de reforma por vapor en el aparato para la reforma de combustible, y utiliza el calor generado por la reacción de oxidación para el avance de la reacción de reforma por vapor. Entre estos métodos conocidos, el método que provoca la reacción de oxidación en paralelo con la reacción de reforma mediante vapor en el aparato para la reforma de combustible se explica a continuación.

50



55 La ecuación (5) representa un ejemplo de la reacción de oxidación de metanol (reacción de oxidación parcial). En la estructura que introduce un suministro de oxígeno en el dispositivo reformador de combustible y provoca la reacción de oxidación de metanol para que tenga lugar en paralelo con la reacción de reforma mediante vapor expresada por la ecuación (4), la energía térmica generada por la reacción de oxidación es utilizada para la reacción de reforma

mediante vapor. La regulación del caudal de oxígeno suministrado al aparato para la reforma de combustible posibilita que la cantidad de calor requerida para la reacción de reforma mediante vapor se equilibre con la cantidad de calor generado por la reacción de oxidación. Teóricamente, la cantidad de calor generado por la reacción de oxidación puede compensar la cantidad de calor requerida para la reacción de reforma mediante vapor. En comparación con el método de calentamiento externo, este método de hacer que la cantidad de calor generado por la reacción de oxidación suministre la cantidad de calor requerida para la reacción de reforma mediante vapor, tiene la menor pérdida de energía debido a la disipación de calor y consigue el mayor rendimiento energético. En comparación con el método de calentamiento externo, este método simplifica la estructura del aparato para la reforma de combustibles y posibilita la reducción de dimensiones del conjunto del sistema de células de combustible.

El método de suministrar oxígeno, así como metanol y vapor de agua, al aparato para la reforma de combustible y utilizar la energía térmica generada por la reacción de oxidación para la reacción de reforma mediante vapor, no obstante, tiene un inconveniente que consiste en una distribución irregular de la temperatura dentro del aparato para la reforma de combustibles. La figura 38 es un gráfico que muestra una distribución de temperatura dentro del aparato para la reforma de combustible que recibe suministro de oxígeno, así como metanol y vapor de agua, y provoca que la reacción de oxidación tenga lugar en paralelo con la reacción de reforma mediante vapor. Cuando se introduce un suministro de oxígeno conjuntamente con un suministro de metanol y vapor de agua en el aparato para la reforma del combustible, dado que la reacción de oxidación tiene la velocidad de reacción más elevada que la reacción de reforma por vapor de agua, la cantidad de calor generado por la reacción de oxidación supera la cantidad de calor requerida por la reacción de reforma por grupo de agua en el lado superior de la corriente en la unidad de reforma de combustible (es decir, el lado que recibe un suministro de gas que contiene metanol, vapor de agua y oxígeno). Tal como se ha mostrado en el gráfico de la figura 38, la temperatura interna aumenta bruscamente en el lado superior de la corriente formando un pico en la distribución de temperatura. Después del consumo del oxígeno por la reacción de oxidación, solamente tiene lugar la reacción de reforma mediante vapor. La temperatura interna del aparato para la reforma de combustible disminuye, por lo tanto, de manera continua hacia el lado inferior de la corriente (es decir, el lado por el que sale el gas rico en hidrógeno) después del pico en la distribución de temperatura.

La formación del pico en la distribución de temperatura o el aumento excesivo de la temperatura dentro del aparato para la reforma del combustible tiene como resultado ciertos inconvenientes, por ejemplo, el deterioro del catalizador y la formación de subproductos. Un problema es el deterioro del catalizador. Se supone en este caso que se utiliza un catalizador Cu-Zn como catalizador de aceleración de la reacción de reforma mediante vapor y la reacción de oxidación de metanol. La utilización del catalizador Cu-Zn a temperaturas superiores a 300°C disminuye la duración del catalizador y puede provocar la sinterización. La sinterización es el fenómeno por el que se agrega el catalizador soportado sobre la superficie del portador. El catalizador Cu-Zn se forma de manera general dispersando partículas finas de cobre sobre la superficie de las partículas de zinc. La aparición de la sinterización hace que las partículas finas de cobre se agreguen y formen partículas gigantes. Este fenómeno disminuye el área superficial de las partículas de cobre y reduce el área de la actividad catalítica, reduciendo de esta manera el rendimiento del aparato para la reforma de combustibles.

Otro problema debido al excesivo aumento de la temperatura es la formación de subproductos. Tiene lugar una reacción secundaria distinta de la reacción normal de reforma explicada anteriormente en paralelo con la reacción de reforma a elevadas temperaturas predeterminadas formando metano. El nitrógeno gaseoso incluido en el suministro de gas a presión sufre una reacción secundaria produciendo óxidos de nitrógeno. Estos subproductos no se descomponen en el rango de temperatura de la reacción de reforma en el aparato para la reforma de combustible, sino que se suministran a las células de combustible como parte del combustible gaseoso. Un incremento de la cantidad de los subproductos, tal como el metano, reduce de manera desfavorable la presión parcial de hidrógeno del combustible gaseoso.

La disminución de la temperatura interna en el lado inferior de la corriente del aparato para la reforma del combustible disminuye de manera desventajosa la actividad de la reacción de reforma del vapor de agua. La actividad reducida de la reacción de reforma por vapor de agua puede provocar que el gas no reformado, es decir, metanol, subsista y dé como resultado un gas que tiene una concentración insuficientemente baja de hidrógeno. A efectos de asegurar que se completa la reacción de reforma incluso en condiciones de baja temperatura interna en el lado inferior de la corriente, se requiere un aparato para la reforma de combustible suficientemente grande.

El documento EP 0798798 (A2) se relaciona con el sector técnico de la presente invención. Se describe que el metanol suministrado como combustible en bruto se mezcla con agua, se vaporiza en un evaporador y se suministra a un reformador como gas combustible en bruto. El reformador recibe también un suministro de aire comprimido procedente de un depósito de aire. El gas combustible en bruto es mezclado con el aire comprimido en el reformador. Una reacción de oxidación del metanol suministrado como combustible en bruto tiene lugar en el reformador para generar hidrógeno y dióxido de carbono, mientras que una reacción de reforma del metanol por vapor tiene lugar simultáneamente en el reformador generando hidrógeno y dióxido de carbono. La cantidad de calor requerida para la reacción de reforma endotérmica puede ser suministrada por la reacción de oxidación del metanol. Por lo tanto, no se requiere una fuente externa de calor en el aparato reformador para suministrar el calor necesario para la reacción de reforma.

El objetivo de la presente invención consiste, por lo tanto, en solucionar los inconvenientes mencionados y mantener la temperatura interna del aparato para la reforma de combustible dentro de un rango predeterminado de temperatura.

5

Objeto de la invención

La presente invención está dirigida a un aparato para la reforma de combustible según la reivindicación 1 y a un procedimiento para llevar a cabo una reacción de reforma por vapor en un aparato para la reforma de combustibles según la reivindicación 3. Otras realizaciones preferentes se definen en las reivindicaciones dependientes. La presente descripción se refiere además a aparatos para la reforma de combustibles de referencia por razones explicativas que dan lugar a unos conocimientos básicos. Se describe un primer aparato para la reforma de combustibles en el que una reacción de reforma por vapor, que es endotérmica y produce hidrógeno a partir de un hidrocarburo y vapor de agua, y una reacción de oxidación, que es exotérmica y oxida el hidrocarburo, tienen lugar de manera que el calor generado por la reacción de oxidación es utilizado para el avance de la reacción de reforma por vapor de agua. El primer aparato para la reforma de combustible comprende: una sección catalítica que incluye un catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor y la reacción de oxidación; una unidad de suministro de gas combustible en bruto que hace pasar un suministro de combustible en bruto gaseoso que contiene el hidrocarburo, vapor de agua y oxígeno hacia dentro de la sección catalítica; una unidad de salida del combustible gaseoso que provoca un combustible gaseoso rico en hidrógeno que es producido mediante la reacción de reforma por vapor y la reacción de oxidación que tiene lugar en la sección catalítica, sean enviados desde la sección catalítica; y una unidad de regulación de la velocidad del flujo del gas que regula la velocidad de flujo del gas combustible en bruto a un valor más elevado en un área del lado receptor del suministro del gas combustible en bruto que en un área del lado de salida del combustible gaseoso en la sección catalítica, a efectos de permitir que el calor generado por la reacción de oxidación que tiene lugar en el área del lado que recibe el suministro de gas combustible en bruto sea transmitida de manera suficiente al área del lado de salida del combustible gaseoso.

El primer aparato para la reforma de combustibles construido de este modo, el gas combustible en bruto que contiene el hidrocarburo, vapor de agua y oxígeno es suministrado a la sección catalítica incluyendo el catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor de agua y la reacción de oxidación. Tanto la reacción de reforma por vapor de agua, que es endotérmica y produce hidrógeno a partir del hidrocarburo y vapor de agua, como la reacción de oxidación, que es exotérmica y oxida el hidrocarburo, tienen lugar en la sección catalítica. El calor generado por la reacción de oxidación es utilizado para el avance de la reacción de reforma por vapor de agua. El combustible gaseoso rico en hidrógeno resultante es enviado desde la sección catalítica. En la sección catalítica, la velocidad de flujo del gas combustible en bruto es regulada para que sea más elevada en el área correspondiente al lado receptor del suministro del gas combustible en bruto que en el área del lado de salida del combustible gaseoso. Esto posibilita que el calor generado por la reacción de oxidación tenga lugar en el área del lado receptor del suministro del gas combustible en crudo de manera que se transmita suficientemente al área en el lado de salida del combustible gaseoso.

En el aparato para la reforma de combustible que tiene esta configuración, el calor generado por la reacción de oxidación que tiene lugar en el área del lado receptor del suministro del gas combustible en bruto es transmitido de manera suficiente al lado más bajo de la corriente. Esto impide de manera efectiva una elevación excesiva de temperatura en el área del lado receptor del suministro del gas combustible en bruto. Esta disposición impide, por lo tanto, los problemas potenciales debidos al aumento excesivo de temperatura, es decir, el deterioro del catalizador y la formación de subproductos, y mejora de manera significativa la duración de la unidad de reforma. El calor generado por la reacción de oxidación se transmite de manera suficiente al área del lado de salida del combustible gaseoso. Esta disposición asegura la actividad suficientemente elevada de la reacción de reforma por vapor en el lado inferior de la corriente, posibilitando, por lo tanto, la reducción de dimensiones del aparato para la reforma de combustibles.

No es necesario que el hidrocarburo, el vapor de agua y el oxígeno, que constituyen el gas combustible en bruto, se mezclen antes del suministro del gas combustible en bruto. Por lo menos un componente o una parte del gas combustible en bruto pueden ser suministrados separadamente. Los efectos anteriormente indicados se consiguen siempre que los componentes del gas combustible en bruto, que no se pueden mezclar por adelantado, sean suministrados desde el lado superior de la corriente de la sección catalítica en el flujo del gas. El catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor de agua puede ser idéntico o distinto del catalizador para acelerar la reacción de oxidación. Es decir, se puede utilizar un sólo catalizador para acelerar tanto la reacción de reforma por vapor de agua como la reacción de oxidación. Se pueden utilizar alternativamente diferentes catalizadores para acelerar respectivamente la reacción de reforma por vapor de agua y la reacción de oxidación. En este último caso, es deseable mezclar de manera suficiente los diferentes catalizadores entre sí en la unidad de reforma.

En el primer aparato para la reforma de combustibles, es preferible que la unidad para la regulación de la velocidad de flujo del gas tenga un área e sección total de la trayectoria de flujo por la que pasa el gas combustible en bruto, más pequeña en el lado receptor del gas combustible en bruto que en el lado de la salida del combustible gaseoso en la sección catalítica. Esta disposición posibilita que la velocidad de flujo del gas combustible en bruto sea más

elevada en el área del lado receptor del suministro del gas combustible en bruto que en el área en el lado de salida del combustible gaseoso, asegurando de esta manera los efectos antes mencionados.

5 La presente descripción da a conocer asimismo un segundo aparato para la reforma de combustibles en el que una  
reacción de reforma por vapor de agua, que es endotérmica y produce hidrógeno a partir del hidrocarburo y vapor de  
agua, y una reacción de oxidación, que es exotérmica y oxida el hidrocarburo, tengan lugar y que el calor generado  
por la reacción de oxidación sea utilizado para el avance de la reacción de reforma por vapor de agua. El segundo  
aparato para la reforma de combustibles comprende: una sección catalítica que incluye un catalizador para acelerar  
10 la reacción de reforma por vapor de agua y la reacción de oxidación; una unidad de suministro de gas combustible  
en bruto que da paso al suministro de un gas combustible en bruto que contiene el hidrocarburo, vapor de agua y  
oxígeno hacia dentro de la sección catalítica; así como una unidad de salida de combustible gaseoso que da lugar a  
un combustible gaseoso rico en hidrógeno, que es producido a través de la reacción de reforma por vapor de agua  
y la reacción de oxidación que tiene lugar en la sección catalítica para su envío desde la sección catalítica. El  
15 catalizador de la sección catalítica es soportado sobre un soporte compuesto principalmente por un material que  
tiene una conductividad térmica relativamente elevada.

En el segundo aparato para la reforma de combustibles constituido de esta manera, el gas combustible en bruto que  
contiene el hidrocarburo, vapor de agua y oxígeno es suministrado a la sección catalítica que comprende el  
catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor y la reacción de oxidación. Tanto la reacción de reforma  
20 por vapor de agua, que es endotérmica y produce hidrógeno a partir del hidrocarburo y vapor de agua, como la  
reacción de oxidación, que es exotérmica y oxida el hidrocarburo, tienen lugar en la sección catalítica. El  
combustible gaseoso rico en hidrógeno que resulta de ellos es enviado desde la sección catalítica. El catalizador es  
soportado sobre un soporte compuesto principalmente de un material que tiene una conductividad térmica  
relativamente elevada. El calor generado por la reacción de oxidación es transmitido, por lo tanto, de manera rápida  
25 a la periferia por medio del portador y es utilizado para la reacción de reforma por vapor.

En el aparato para la reforma de combustible que tiene esta configuración, el calor generado por la reacción de  
oxidación se difunde con rapidez. Esto impide de manera efectiva un excesivo aumento de la temperatura en el área  
del lado receptor del suministro del gas combustible en bruto, es decir, el área de reacción de oxidación vigorosa.  
30 Por lo tanto, esta disposición impide los problemas potenciales debidos al excesivo aumento de temperatura, es  
decir, el deterioro del catalizador y la formación de subproductos, y mejora significativamente la duración de la  
unidad de reforma. El calor generado por la reacción de oxidación se difunde y transmite al lado inferior de la  
corriente. Esta disposición asegura la actividad suficientemente alta de la reacción de reforma por vapor de agua en  
el lado inferior de la corriente, posibilitando, por lo tanto, la reducción de las dimensiones del aparato para la reforma  
35 de combustibles.

La presente descripción da a conocer además un tercer aparato para la reforma de combustibles en el que una  
reacción de reforma por vapor de agua, que es endotérmica y produce hidrógeno a partir un hidrocarburo y vapor de  
agua, y una reacción de oxidación, que es exotérmica y oxida el hidrocarburo, tienen lugar, y el calor generado por la  
reacción de oxidación es utilizado para el avance de la reacción de reforma por vapor de agua. El tercer aparato  
40 para la reforma de combustibles comprende: una sección catalítica que comprende un catalizador para acelerar la  
reacción de reforma por vapor y un catalizador para acelerar la reacción de oxidación; una unidad de suministro de  
gas combustible en bruto que da paso al suministro de un gas combustible en bruto que contiene el hidrocarburo y el  
vapor de agua hacia dentro de la sección catalítica; una unidad de suministro de gas oxidante que hace pasar un  
suministro de gas oxidante que contiene oxígeno hacia dentro de la sección catalítica; una unidad de salida del  
45 combustible gaseoso que da lugar a un combustible gaseoso rico en hidrógeno, que es producido a través de la  
reacción de reforma por vapor de agua y la reacción de oxidación que tiene lugar en la sección catalítica, para su  
envío desde la sección catalítica; y una unidad de supresión de la reacción de oxidación que suprime el avance de la  
reacción de oxidación en un área del lado que recibe el suministro del gas oxidante en la sección catalítica.  
50

En el tercer aparato para la reforma del combustible construido de este modo, el gas combustible en bruto que  
contiene el hidrocarburo y el vapor de agua y el gas oxidante que contiene oxígeno son suministrados a la sección  
catalítica incluyendo el catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor y el catalizador para acelerar la  
reacción de oxidación. Tanto la reacción de reforma por vapor, que es endotérmica y produce hidrógeno a partir del  
55 hidrocarburo y vapor de agua, como la reacción de oxidación, que es exotérmica y oxida el hidrocarburo, tiene lugar  
en la sección catalítica. El calor generado por la reacción de oxidación es utilizado para el avance de la reacción de  
reforma por vapor de agua. El combustible gaseoso rico en hidrógeno resultante es enviado desde la sección  
catalítica. En la sección catalítica, el avance de la reacción de oxidación es suprimido en el área del lado receptor del  
suministro del gas oxidante.  
60

En el aparato para la reforma de combustibles que tiene esta configuración, el avance de la reacción de oxidación es  
suprimido en el área del lado receptor del suministro de gas oxidante. Esto impide de manera efectiva un excesivo  
aumento de temperatura en el lado receptor del gas oxidante. Por lo tanto, esta disposición impide los problemas  
potenciales debidos al excesivo aumento de la temperatura, es decir, deterioro del catalizador y formación de  
65 subproductos, y mejora significativamente la duración de la unidad de reforma. La reacción de oxidación suprimida  
en el lado receptor del suministro de gas oxidante aumenta de manera ventajosa el área de la reacción de oxidación

vigorosa a la parte inferior de la corriente. Esto aumenta la temperatura en el lado inferior de la corriente y asegura una actividad suficientemente elevada de la reacción de reforma por vapor en el lado inferior de la corriente, posibilitando, por lo tanto, la reducción de dimensiones del aparato para la reforma de combustibles.

- 5 En el tercer aparato para la reforma de combustibles es preferible que la unidad para la supresión de la reacción de oxidación prepare una cantidad existente del catalizador para acelerar la reacción de oxidación que es más reducida en el área del lado receptor del suministro del gas oxidante que en el área del lado de salida del combustible gaseoso en la sección catalítica.
- 10 En el tercer aparato para la reforma de combustibles es preferible asimismo que el catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor sea idéntico al catalizador para acelerar la reacción de oxidación, y que la unidad de supresión de la reacción de oxidación haga que la cantidad existente del catalizador idéntico sea más pequeña en el lado receptor del suministro del gas oxidante que en el área del lado de salida del combustible gaseoso.
- 15 La presente descripción da a conocer también un cuarto aparato para la reforma de combustibles en el que una reacción de reforma por vapor, que es endotérmica y produce hidrógeno a partir de un hidrocarburo y vapor de agua, y una reacción de oxidación, que es exotérmica y oxida el hidrocarburo, tengan lugar y que el calor generado por la reacción de oxidación sea utilizado para el avance de la reacción de reforma por vapor. El cuarto aparato para la reforma de combustibles comprende: una sección catalítica que incluye un catalizador para acelerar la reacción de
- 20 reforma por vapor de agua y un catalizador para acelerar la reacción de oxidación; una unidad de suministro de gas combustible en bruto que hace pasar un suministro del gas combustible en bruto que contiene el hidrocarburo y el vapor de agua hacia dentro de la sección catalítica; una unidad de suministro de gas oxidante que hace pasar un suministro de gas oxidante que contiene oxígeno hacia dentro de la sección catalítica; una unidad de salida de combustible gaseosos que provoca que un combustible gaseoso rico en hidrógeno, que es producido mediante la
- 25 reacción de reforma por vapor de agua y la reacción de oxidación que tiene lugar en la sección catalítica, sea enviado desde la sección catalítica; y una unidad de detección del estado de reacción que detecta el grado de avance de la reacción que tienen lugar en la sección catalítica. La unidad de suministro del gas oxidante tiene una unidad de regulación de la concentración de oxígeno que mantiene un caudal de oxígeno por unidad de tiempo suministrado a la sección catalítica al nivel deseado y regula la concentración de oxígeno incluido en el gas oxidante
- 30 suministrado a la sección catalítica, basándose en el grado de avance de la reacción detectado por la unidad de detección del estado de la reacción.

En el cuarto aparato para la reforma de combustibles construido de esta manera, el gas combustible en bruto que contiene el hidrocarburo y vapor de agua y el gas oxidante que contiene oxígeno son suministrados a la sección

35 catalítica, incluyendo el catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor y el catalizador para acelerar la reacción de oxidación. Tanto la reacción de reforma por vapor, que es endotérmica y produce hidrógeno a partir del hidrocarburo y vapor de agua, como la reacción de oxidación, que es exotérmica y oxida el hidrocarburo, tienen lugar en la sección catalítica. El calor generado por la reacción de oxidación es utilizado para el avance de la reacción de reforma por vapor de agua. El combustible gaseoso rico en hidrógeno resultante es enviado desde la

40 sección catalítica. El grado de avance de la reacción que tiene lugar en la sección catalítica es detectado. Mientras el caudal de oxígeno por unidad de tiempo suministrado a la sección catalítica se mantiene al nivel deseado, la concentración de oxígeno incluido en el gas oxidante suministrado a la sección catalítica es regulada basándose en el grado detectado de avance de la reacción.

45 En el aparato para la reforma de combustibles que tiene esta configuración, la concentración de oxígeno incluido en el gas oxidante es regulada para controlar la velocidad de la reacción de oxidación que tiene lugar en el lado receptor del suministro de gas oxidante. Esto impide de manera efectiva un aumento excesivo de temperatura en el lado receptor del suministro del gas oxidante. Por lo tanto, esta disposición impide los problemas potenciales debidos al excesivo aumento de temperatura, es decir, el deterioro del catalizador y la formación de subproductos, y mejora significativamente la duración de la unidad de reforma. La velocidad controlada de la reacción de oxidación

50 mediante la regulación de la concentración de oxígeno incluido en el gas oxidante aumenta ventajosamente al área de la reacción de oxidación vigorosa a la parte inferior de la corriente. Esto aumenta la temperatura en el lado inferior de la corriente y asegura una actividad suficientemente elevada de la reacción de reforma por vapor de agua en el lado inferior de la corriente, posibilitando, por lo tanto, la reducción de dimensiones del aparato para la reforma

55 de combustibles.

En el cuarto aparato para la reforma de combustibles es preferible que la sección catalítica comprenda una serie de unidades de reacción, incluyendo el catalizador, y que la unidad de suministro de gas oxidante haga pasar el

60 suministro de gas oxidante a cada una de las unidades de reacción. La disposición de recepción de suministro de gas oxidante en una serie de lugares aumenta adicionalmente el efecto de homogeneización de la temperatura dentro de la sección catalítica.

La presente descripción da a conocer además un quinto aparato para la reforma de combustibles en el que una

65 reacción de reforma por vapor, que es endotérmica y produce hidrógeno a partir de un hidrocarburo y vapor de agua, y una reacción de oxidación, que es exotérmica y oxida el hidrocarburo, tengan lugar y que el calor generado por la reacción de oxidación sea utilizado para el avance de la reacción de reforma por vapor de agua. El quinto aparato

para la reforma de combustibles comprende: una sección catalítica que incluye un catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor y la reacción de oxidación; una unidad de suministro de gas combustible en bruto que hace pasar un suministro del gas combustible en bruto que contiene el hidrocarburo, vapor de agua y oxígeno hacia dentro de la sección catalítica; una unidad de salida de combustible gaseosos que provoca que un combustible

5 gaseoso rico en hidrógeno, que es producido mediante la reacción de reforma por vapor de agua y la reacción de oxidación que tienen lugar en la sección catalítica, sea enviado desde la sección catalítica; y una unidad de inversión de la dirección de flujo de gas que cambia el lugar receptor del suministro del gas combustible en bruto por medio de la unidad de suministro de gas combustible en bruto y un lugar de envío del combustible gaseoso por medio de la unidad de envío del combustible gaseoso entre sí en la sección catalítica, a efectos de invertir el flujo de gas en la

10 sección catalítica.

En el quinto aparato para la reforma de combustibles construido de esta manera, el gas combustible en bruto que contiene el hidrocarburo, vapor de agua y oxígeno es suministrado a la sección catalítica, incluyendo el catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor de agua y la reacción de oxidación. Tanto la reacción de reforma por vapor de agua, que es endotérmica y produce hidrógeno a partir del hidrocarburo y vapor de agua, como la reacción de oxidación, que es exotérmica y oxida el hidrocarburo, tienen lugar en la sección catalítica. El calor generado por la reacción de oxidación es utilizado para el avance de la reacción de reforma por vapor. El combustible gaseoso rico en hidrógeno resultante es enviado desde la sección catalítica. En el curso del avance de dichas reacciones, el lugar que recibe el suministro de gas combustible en bruto es cambiado por el lugar de salida del combustible gaseoso en la sección catalítica.

15

20

En el aparato para la reforma de combustibles que tiene esta configuración, el lado que recibe el suministro del gas combustible en bruto se cambia con el lugar de salida del combustible gaseoso en la sección catalítica. Esto impide de manera efectiva un aumento de temperatura excesivo en un área específica en el lado que recibe el suministro del gas combustible en bruto. Por lo tanto, esta disposición previene los problemas potenciales debidos a la elevación excesiva de temperatura, es decir, el deterioro del catalizador y la formación de subproductos, y mejora significativamente la duración de la unidad de reforma. No hay descenso significativo de temperatura en un área específica en el lado inferior de la corriente. Esto asegura la actividad suficientemente elevada de la reacción de reforma por vapor en la totalidad de la sección catalítica, posibilitando, por lo tanto, la reducción de dimensiones del aparato para la reforma de combustibles.

25

30

En el quinto aparato para la reforma de combustibles, es preferible que la sección catalítica tenga una unidad de medición de la temperatura final que mide la temperatura en una posición predeterminada en el lugar receptor del suministro de gas combustible en bruto por medio de la unidad de suministro de gas combustible en bruto de la sección catalítica y que la unidad de inversión de la dirección de flujo de gas cambie el lugar receptor del suministro del gas combustible en bruto por medio de la unidad de suministro de gas combustible en bruto y el lugar de salida del combustible gaseoso por medio de la unidad de salida de combustible gaseoso entre sí, basándose en la temperatura observada por la unidad de medición de la temperatura final. Esta disposición impide de manera efectiva un aumento excesivo de temperatura en el lado receptor del gas combustible en bruto.

35

40

La presente descripción da a conocer también un sexto aparato para la reforma de combustibles en el que una reacción de reforma por vapor, que es endotérmica produce hidrógeno a partir de un hidrocarburo y vapor de agua, y una reacción de oxidación, que es exotérmica y oxida el hidrocarburo, tengan lugar y que el calor generado por la reacción de oxidación sea utilizado para el avance de la reacción de reforma por vapor de agua. El sexto aparato para la reforma de combustibles comprende: una sección catalítica en el que están contenidas de forma estanca partículas con un catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor y la reacción de oxidación; una unidad de suministro de gas combustible en bruto que hace pasar un suministro del gas combustible en bruto que contiene el hidrocarburo, vapor de agua y oxígeno hacia dentro de la sección catalítica; una unidad de salida de combustible gaseosos que provoca que un combustible gaseoso rico en hidrógeno, que es producido mediante la reacción de reforma por vapor y la reacción de oxidación que tienen lugar en la sección catalítica, sea enviado desde la sección catalítica; y un agitador catalizador que agita las partículas con el catalizador en la sección catalítica.

45

50

En el sexto aparato para la reforma de combustibles construido de esta forma, el gas combustible en bruto que contiene el hidrocarburo, vapor de agua y oxígeno es suministrado a la sección catalítica llena de las partículas con el catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor de agua y la reacción de oxidación. Tanto la reacción de reforma por vapor, que es endotérmica y produce hidrógeno a partir de un hidrocarburo y vapor de agua, como la reacción de oxidación, que es exotérmica y oxida el hidrocarburo, tienen lugar en la sección catalítica, mientras las partículas con el catalizador son agitadas. El calor generado por la reacción de oxidación es utilizado para el avance de la reacción de reforma por vapor. El combustible gaseoso rico en hidrógeno resultante es enviado desde la sección catalítica.

55

60

En el aparato para la reforma de combustibles que tiene esta configuración, las partículas con el catalizador son agitadas en la sección catalítica. El catalizador soportado sobre las partículas es involucrado, por lo tanto, de manera sucesiva en la reacción de oxidación. Esto impide de manera efectiva un excesivo aumento de la temperatura en un área específica en el lado que recibe el suministro del gas combustible en bruto. Por lo tanto, esta disposición impide los problemas potenciales debidos a la elevación excesiva de temperatura, es decir, el deterioro

65

del catalizador y la formación de subproductos, y mejora significativamente la duración de la unidad de reforma. No hay descenso significativo de temperatura en un área específica en el lado inferior de la corriente. Esto asegura la actividad suficientemente elevada de la reacción de reforma por vapor en la totalidad de la sección catalítica, posibilitando, por lo tanto, la reducción de dimensiones del aparato para la reforma de combustibles.

5 En el sexto aparato para la reforma de combustibles, es preferible que la unidad de agitación del catalizador esté dispuesta en la unidad de suministro de gas combustible en bruto e inyecte un gas que contiene, como mínimo, uno de un hidrocarburo, vapor de agua y oxígeno dentro de la sección catalítica, a efectos de agitar las partículas con el catalizador en dicha sección catalítica. Esta disposición posibilita la acción de suministro de gas combustible en  
10 bruto a la sección catalítica que se lleva a cabo simultáneamente con la acción de agitación de las partículas con el catalizador.

La presente descripción da a conocer también un séptimo aparato para la reforma de combustibles en el que la reacción de reforma por vapor, que es endotérmica y produce hidrógeno a partir de un hidrocarburo y vapor de agua,  
15 y una reacción de oxidación, que es exotérmica y oxida el hidrocarburo, tengan lugar y que el calor generado por la reacción de oxidación sea utilizado para el avance de la reacción de reforma por vapor. El séptimo aparato para la reforma de combustibles comprende: una sección catalítica que incluye un catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor de agua y la reacción de oxidación; una unidad de suministro de gas combustible en bruto que hace pasar un suministro de gas combustible en bruto que contiene el hidrocarburo y vapor de agua hacia dentro de  
20 la sección catalítica; una unidad de suministro de gas oxidante que hace pasar un suministro de un gas oxidante que contiene oxígeno hacia dentro de la sección catalítica; una unidad de envío del combustible gaseoso que provoca que un combustible gaseoso rico en hidrógeno, que es producido a través de la reacción de reforma por vapor y la reacción de oxidación que tienen lugar en la sección catalítica, sea enviado desde la sección catalítica; y una unidad de cambio de la unidad de flujo que cambia con el tiempo el lugar que recibe el suministro del gas oxidante por  
25 medio de la unidad de suministro de gas oxidante de la sección catalítica.

En el séptimo aparato para la reforma de combustibles construido de esta manera, el gas combustible en bruto que contiene el hidrocarburo y el vapor de agua, y el gas oxidante que contiene oxígeno, son suministrados a la sección catalítica que incluye el catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor de agua y la reacción de oxidación.  
30 Tanto la reacción de reforma por vapor, que es endotérmica y produce hidrógeno a partir de un hidrocarburo y vapor de agua, como la reacción de oxidación, que es exotérmica y oxida el hidrocarburo, tienen lugar en la sección catalítica. El lugar que recibe el suministro de gas oxidante cambia con el tiempo en la sección catalítica. El calor generado por la reacción de oxidación que tiene lugar con el gas oxidante suministrado de esta manera es utilizado para el avance de la reacción de reforma por vapor de agua. El combustible gaseoso rico en  
35 hidrógeno resultante es enviado desde la sección catalítica.

En el aparato para la reforma de combustibles que tiene esta configuración, el lugar que recibe el suministro de gas oxidante cambia a lo largo del tiempo en la sección catalítica. Esto impide de manera efectiva un excesivo aumento de la temperatura en un área específica en el lado que recibe el suministro del gas oxidante. Por lo tanto, esta  
40 disposición impide los problemas potenciales debidos a la elevación excesiva de temperatura, es decir, el deterioro del catalizador y la formación de subproductos, y mejora significativamente la duración de la unidad de reforma.

La presente descripción da a conocer además un octavo aparato para la reforma de combustibles, en el que una reacción de reforma por vapor de agua, que es endotérmica y produce hidrógeno a partir de un hidrocarburo y vapor de agua, y una reacción de oxidación, que es exotérmica y oxida el hidrocarburo, tengan lugar y que el calor generado por la reacción de oxidación sea utilizado para el avance de la reacción de reforma por vapor. El octavo aparato para la reforma de combustibles comprende: una sección catalítica que incluye un catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor de agua y la reacción de oxidación; una unidad de suministro de gas combustible en bruto que hace pasar un suministro de gas combustible en bruto que contiene el hidrocarburo y vapor de agua hacia dentro de la sección catalítica; una unidad de suministro de gas oxidante que hace pasar un suministro de un gas oxidante que contiene oxígeno hacia dentro de la sección catalítica; una unidad de salida del combustible gaseoso que provoca que un combustible gaseoso rico en hidrógeno que es producido por la reacción de reforma por vapor de agua y la reacción de oxidación que tienen lugar en la sección catalítica, sea enviado desde la sección catalítica; y una unidad de homogeneización de calor que hace que un lado de alimentación que recibe el suministro del gas combustible en bruto y el suministro del gas oxidante se una a un lado de salida que envía el combustible gaseoso de la sección catalítica, a efectos de posibilitar el intercambio de calor entre el lado de alimentación y el lado de salida.

En el octavo aparato para la reforma de combustibles construido de esta manera, el gas combustible en bruto que contiene el hidrocarburo y el vapor de agua, y el gas oxidante que contiene oxígeno, son suministrados a la sección catalítica, incluyendo el catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor de agua y la reacción de oxidación. Tanto la reacción de reforma por vapor de agua, que es endotérmica y produce hidrógeno a partir del hidrocarburo y vapor de agua, como la reacción de oxidación, que es exotérmica y oxida el hidrocarburo, tienen lugar en la sección catalítica. En la sección catalítica, el lado de alimentación que recibe el suministro del gas combustible en bruto y el suministro del gas oxidante está dispuesto adyacente al lado de salida que envía el combustible gaseoso. Por lo tanto, se lleva a cabo intercambio calorífico entre el lado de alimentación y el lado de

salida. Por lo tanto, el calor generado por la reacción de oxidación es utilizado para el avance de la reacción de reforma por vapor de agua. El combustible gaseoso rico en hidrógeno resultante es enviado desde la sección catalítica.

5 En el aparato para la reforma de combustibles con esta configuración, el intercambio calorífico se lleva a cabo entre el lado de alimentación, que recibe el suministro del gas combustible en bruto y el suministro del gas oxidante, y el lado de salida, que envía el combustible gaseoso en la sección catalítica. Esto impide de manera efectiva un excesivo aumento de la temperatura en un área específica en el lado que recibe el suministro del gas oxidante. Por lo tanto, esta disposición impide los problemas potenciales debidos a la elevación excesiva de temperatura, es decir, el deterioro del catalizador y la formación de subproductos, y mejora significativamente la duración de la unidad de reforma. No hay descenso significativo de temperatura en un área específica del lado inferior de la corriente. Esto asegura una actividad suficientemente elevada de la reacción de reforma por vapor en el conjunto de la sección catalítica, posibilitando, por lo tanto, la reducción de dimensiones del aparato para la reforma de combustibles.

15 En el octavo aparato para la reforma de combustibles, es preferible que la sección catalítica comprenda, como mínimo, dos unidades de reacción que incluyan respectivamente el catalizador y que tengan el lado de alimentación y el lado de salida situados en posiciones opuestas entre sí, y que las, como mínimo, dos unidades de reacción estén dispuestas para hacer el lado de alimentación de una unidad de reacción adyacente al lado de salida de la otra unidad de reacción.

20 En el octavo aparato para la reforma de combustibles, es preferible también que la sección catalítica comprenda un área giratoria en un conducto de flujo del gas combustible en bruto constituido en su interior y que se disponga una entrada y una salida del conducto de flujo de manera que sean adyacentes entre sí.

25 La presente descripción da a conocer además un noveno aparato para la reforma de combustibles, en el que una reacción de reforma por vapor de agua, que es endotérmica produce hidrógeno a partir de un hidrocarburo y vapor de agua, y una reacción de oxidación, que es exotérmica y oxida el hidrocarburo, tengan lugar y que el calor generado por la reacción de oxidación sea utilizado para el avance de la reacción de reforma por vapor. El noveno aparato para la reforma de combustibles comprende: una sección catalítica que incluye un catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor de agua y la reacción de oxidación; una unidad de suministro de gas combustible en bruto que hace pasar un suministro de gas combustible en bruto, que contiene el hidrocarburo y vapor de agua, hacia dentro de la sección catalítica; una unidad de suministro de gas oxidante que hace pasar un suministro de un gas oxidante, que contiene oxígeno, hacia dentro de la sección catalítica; una unidad de salida del combustible gaseoso que provoca que un combustible gaseoso rico en hidrógeno, que es producido por la reacción de reforma por vapor de agua y la reacción de oxidación que tienen lugar en la sección catalítica, sea enviado desde la sección catalítica; y una unidad de calentamiento que calienta una parte distinta del área en el lado receptor del suministro del gas oxidante por medio de un fluido específico que transmite calor producido en un elemento predeterminado, que es un componente del sistema que incluye el aparato para la reforma de combustibles.

40 En el noveno aparato para la reforma de combustibles construido de esta manera, el gas combustible en bruto que contiene el hidrocarburo y el vapor de agua, y el gas oxidante que contiene oxígeno, son suministrados a la sección catalítica, incluyendo el catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor y la reacción de oxidación. Tanto la reacción de reforma por vapor, que es endotérmica y produce hidrógeno a partir del hidrocarburo y vapor de agua, como la reacción de oxidación, que es exotérmica y oxida el hidrocarburo, tienen lugar en la sección catalítica. En el área de la sección catalítica en la que tiene lugar la reacción de oxidación con el suministro de gas oxidante, el calor generado por la reacción de oxidación es utilizado para el avance de la reacción de reforma por vapor de agua. El calor producido en el elemento predeterminado, que es el componente del sistema que incluye el aparato para la reforma de combustibles, es transmitido a la otra parte del área en el lado receptor del suministro del gas oxidante por medio del fluido específico, y es utilizado para la reacción de reforma por vapor. El combustible gaseoso rico en hidrógeno resultante es enviado desde la sección catalítica.

55 En el aparato para la reforma de combustibles con esta configuración, en la otra parte del área del lado que recibe el suministro de gas oxidante, la reacción de oxidación tiene lugar con el calor que se genera en el elemento predeterminado, que es el componente del sistema que incluye el aparato para la reforma del combustible. Esta disposición posibilita que el caudal de gas oxidante suministrado a la sección catalítica se reduzca con respecto al caudal del gas combustible en bruto suministrado a la sección catalítica. Esto impide de manera efectiva un excesivo aumento de la temperatura en un área específica en el lado que recibe el suministro del gas oxidante. Por lo tanto, esta disposición impide los problemas potenciales debidos a la elevación excesiva de temperatura, es decir, el deterioro del catalizador y la formación de subproductos, y mejora significativamente la duración de la unidad de reforma. El calor generado en el elemento predeterminado, que es el componente del sistema que incluye el aparato para la reforma del combustible, se transmite a la otra parte que el área del lado que recibe el suministro del gas oxidante. Por lo tanto, no hay caída significativa de temperatura que disminuya la actividad de la reacción de reforma por vapor de agua. Esto asegura una actividad suficientemente elevada de la reacción de reforma por vapor de agua en el conjunto de la sección catalítica, posibilitando, por lo tanto, la reducción de dimensiones del aparato para la reforma de combustibles. Esta estructura utiliza el calor generado en el elemento predeterminado, que es el componente del sistema que incluye el aparato para la reforma de combustible, para calentar la parte distinta del

área en el lado que recibe el suministro de gas oxidante, impidiendo, por lo tanto, de manera efectiva la disminución de rendimiento energético en el conjunto del sistema.

5 En el noveno aparato para la reforma de combustibles, es preferible que la unidad de calentamiento caliente la parte distinta del área del lado que recibe el suministro del gas oxidante por medio de un gas caliente descargado desde el elemento predeterminado, que es el componente del sistema que incluye el aparato para la reforma de combustibles.

10 La presente invención está dirigida a un décimo aparato para la reforma de combustibles, en el que una reacción de reforma por vapor, que es endotérmica y produce hidrógeno a partir de un hidrocarburo y vapor de agua, y una reacción de oxidación, que es exotérmica y oxida el hidrocarburo, tengan lugar y que el calor generado por la reacción de oxidación sea utilizado para el avance de la reacción de reforma por vapor. El décimo aparato para la reforma de combustibles comprende: una sección catalítica que incluye un catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor de agua y la reacción de oxidación; una unidad de suministro de gas combustible en bruto que hace pasar un suministro de gas combustible en bruto, que contiene el hidrocarburo y vapor de agua, hacia dentro de la sección catalítica; una unidad de suministro de gas oxidante que hace pasar un suministro de un gas oxidante, que contiene oxígeno, hacia dentro de la sección catalítica; una unidad de envío del combustible gaseoso que provoca que un combustible gaseoso rico en hidrógeno, que es producido por la reacción de reforma por vapor de agua y la reacción de oxidación que tienen lugar en la sección catalítica, sea enviado desde la sección catalítica; y una unidad de refrigeración final que pulveriza un líquido que contiene, como mínimo, uno de dichos hidrocarburo y agua en un área de un lado receptor del suministro de gas combustible en bruto y del suministro del gas oxidante.

25 En el décimo aparato para la reforma de combustibles de la presente invención construido de esta manera, el gas combustible en bruto que contiene el hidrocarburo y el vapor de agua, y el gas oxidante que contiene oxígeno, son suministrados a la sección catalítica incluyendo el catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor y la reacción de oxidación. Tanto la reacción de reforma por vapor, que es endotérmica y produce hidrógeno a partir del hidrocarburo y vapor de agua, como la reacción de oxidación, que es exotérmica y oxida el hidrocarburo, tienen lugar en la sección catalítica. En el área de la sección catalítica en la que tiene lugar la reacción de oxidación, con el suministro de gas oxidante, el calor generado por la reacción de oxidación es utilizado para el avance de la reacción de reforma por vapor de agua. El líquido que contiene por lo menos uno de dichos hidrocarburo y agua, es pulverizado en la zona del lado que recibe el suministro de gas combustible en bruto y el suministro del gas oxidante, a efectos de enfriar el área. El combustible gaseoso rico en hidrógeno resultante es enviado desde la sección catalítica.

35 En el aparato para la reforma de combustibles objeto de esta configuración, el líquido que contiene, como mínimo, uno de dichos hidrocarburo y agua, es pulverizado en el área del lado que recibe el suministro de gas combustible en bruto y el suministro de gas oxidante. Parte del calor generado por la reacción de oxidación es consumido, por lo tanto, como calor de vaporización. Esto impide de manera efectiva un excesivo aumento de la temperatura en un área específica en el lado que recibe el suministro del gas oxidante. Esta disposición impide, por lo tanto, los problemas potenciales debidos a la elevación excesiva de temperatura, es decir, el deterioro del catalizador y la formación de subproductos, y mejora significativamente la duración de la unidad de reforma.

45 La presente descripción da a conocer además un undécimo aparato para la reforma de combustible, en el que tiene lugar una reacción de reforma por vapor, que es endotérmica y produce hidrógeno a partir de un hidrocarburo y vapor de agua, y una reacción de oxidación, que es exotérmica y oxida el hidrocarburo, y que el calor generado por la reacción de oxidación sea utilizado para el avance de la reacción de reforma por vapor. El undécimo aparato para la reforma de combustibles comprende: una sección catalítica que comprende una primera unidad de reacción que incluye un catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor de agua y la reacción de oxidación y una segunda unidad de reacción que comprende un catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor de agua; una unidad para el suministro de gas combustible en bruto que hace pasar un suministro de gas combustible en bruto, que contiene el hidrocarburo y vapor de agua hacia dentro de la sección catalítica; una unidad de suministro de gas oxidante que hace pasar un suministro de un gas oxidante que contiene oxígeno hacia dentro de la sección catalítica; y una unidad de salida del combustible gaseoso que provoca que un combustible gaseoso rico en hidrógeno, que es producido por la reacción de reforma por vapor y la reacción de oxidación que tienen lugar en la sección catalítica, sea enviado desde la sección catalítica. La primera unidad de reacción y la segunda unidad de reacción están dispuestas adyacentes entre sí en la sección catalítica, y se lleva a cabo intercambio calorífico entre la primera unidad de reacción y la segunda unidad de reacción.

60 En el undécimo aparato para la reforma de combustibles construido de esta manera, el gas combustible en bruto que contiene el hidrocarburo y el vapor de agua, y el gas oxidante que contiene oxígeno, son suministrados a la primera unidad de reacción incluyendo el catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor y la reacción de oxidación. Tanto la reacción de reforma por vapor, que es endotérmica y produce hidrógeno a partir del hidrocarburo y vapor de agua, como la reacción de oxidación, que es exotérmica y oxida el hidrocarburo, tienen lugar en la primera unidad de reacción. El gas combustible en bruto es suministrado asimismo a la segunda unidad de reacción incluyendo el catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor de agua. La reacción de reforma por vapor de agua continúa entonces en la segunda unidad de reacción. En la primera unidad de reacción, el calor generado

por la reacción de oxidación es utilizado para el avance de la reacción de reforma por vapor de agua. El intercambio calorífico llevado a cabo entre la segunda unidad de reacción y la primera unidad de reacción adyacente posibilita que el calor generado por la reacción de oxidación en la primera unidad de reacción sea utilizado para el avance de la reacción de reforma por vapor de agua en la segunda unidad de reacción. El combustible gaseoso rico en hidrógeno resultante es enviado desde la sección catalítica.

En el aparato para la reforma de combustibles con esta configuración, el calor generado por la reacción de oxidación en el área de la primera unidad de reacción en la que tiene lugar la reacción de oxidación con el suministro de gas oxidante, no es utilizado solamente para la reacción de reforma por vapor de agua que tiene lugar en la primera unidad de reacción, sino que es transmitido a la segunda unidad de reacción adyacente y utilizado para la reacción para la reforma por vapor de agua que tiene lugar en la segunda unidad de reacción. Esta disposición impide de manera efectiva los problemas potenciales debido a un aumento excesivo de la temperatura en la sección catalítica con el calor generado por la reacción de oxidación, es decir, el deterioro del catalizador y formación de subproductos, y mejora significativamente la duración de la unidad de reforma.

En cualquiera de los aparatos para la reforma de combustibles primero, segundo y quinto a noveno, así como el décimo de la presente invención, el hidrocarburo puede ser metanol, y el catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor y la reacción de oxidación puede ser un catalizador único que contiene cobre.

En cualquiera de los aparatos para la reforma de combustibles tercero y cuarto, el hidrocarburo puede ser metanol y el catalizador para acelerar la reacción de reforma de combustibles y el catalizador para acelerar la reacción de oxidación pueden ser un catalizador idéntico que contiene cobre.

En el undécimo aparato para la reforma de combustibles, el hidrocarburo puede ser metanol y el catalizador incluido en la primera unidad de reacción puede ser un catalizador único que contiene cobre.

En el aparato la reforma de combustibles, según esta disposición, el catalizador único que contiene cobre es utilizado para acelerar tanto la reacción de reforma por vapor de agua como la reacción de oxidación del metanol. A diferencia de las técnicas anteriores que utilizan platino u otros catalizadores de oxidación conocidos para acelerar la reacción de oxidación, la reacción de oxidación del metanol que tiene lugar en presencia del catalizador que contiene cobre, difícilmente produce monóxido de carbono. Esta disposición proporciona, por lo tanto, un combustible gaseoso resultante que tiene la menor concentración posible de monóxido de carbono.

La presente descripción se refiere también a un duodécimo aparato para la reforma de combustible, en el que tiene lugar una reacción de reforma por vapor, que es endotérmica y produce hidrógeno a partir de un hidrocarburo y vapor de agua, y una reacción de oxidación, que es exotérmica y oxida el hidrocarburo, y que el calor generado por la reacción de oxidación sea utilizado para el avance de la reacción de reforma por vapor de agua. El duodécimo aparato para la reforma de combustibles comprende: una sección catalítica que comprende un catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor de agua y la reacción de oxidación; una unidad de suministro de gas combustible en bruto que envía un suministro de gas combustible en bruto, que contiene el hidrocarburo, vapor de agua, y oxígeno, hacia la sección catalítica; y una unidad de salida de combustible gaseoso que provoca que un combustible gaseoso rico en hidrógeno, que es producido a través de la reacción de reforma por vapor y la reacción de oxidación, que tienen lugar en la sección catalítica, sean enviados desde la sección catalítica. El catalizador acelera la reacción de oxidación, es decir, sin una ruta de reacción que produce monóxido de carbono.

En el aparato para la reforma de combustibles, según esta configuración, el catalizador acelera la reacción de oxidación que no tiene lugar en una ruta que produzca monóxido de carbono. Esta disposición reduce de manera efectiva la cantidad de monóxido de carbono producido por las reacciones que tienen lugar en la sección catalítica, dando lugar a combustible gaseoso resultante que tiene una concentración más baja de monóxido de carbono.

En el duodécimo aparato para la reforma de combustibles, el hidrocarburo puede ser metanol y el catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor de agua y la reacción de oxidación, puede ser un catalizador único que contiene cobre.

En el aparato para la reforma de combustibles, según esta disposición, el catalizador que contiene cobre es utilizado para acelerar la reacción de oxidación del metanol. A diferencia de las técnicas anteriores que utilizan platino u otro catalizador de oxidación de tipo conocido para acelerar la reacción de oxidación, la reacción de oxidación que tiene lugar en presencia del catalizador que contiene cobre, difícilmente produce monóxido de carbono. Esta disposición produce, por lo tanto, un combustible gaseoso resultante que tiene una concentración de monóxido de carbono más reducida. La utilización del catalizador único que contiene cobre para acelerar tanto la reacción para la reforma por vapor de agua como la reacción de oxidación del metanol, simplifican la estructura del aparato para la reforma de combustibles.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama de bloques que muestra esquemáticamente la estructura de un sistema de células de

- combustible 20 según una realización preferente;
- La figura 2 es una vista en sección que muestra esquemáticamente la estructura de una unidad de célula 48 de un apilamiento de células de combustible 40;
- La figura 3 muestra esquemáticamente la estructura de la unidad de reforma 34;
- 5 La figura 4 muestra esquemáticamente la sección de una estructura de panel que forma la unidad de reforma 34;
- La figura 5 es un gráfico que muestra la distribución de temperatura interna de la unidad de reforma 34 y de una unidad de reforma de la técnica anterior;
- La figura 6 muestra la sección de otra estructura de panel en un ejemplo modificado de la primera realización;
- 10 La figura 7 muestra esquemáticamente la estructura de la unidad de reforma en otro ejemplo modificado de la primera realización;
- La figura 8 muestra esquemáticamente la estructura de la unidad de reforma 90 en una segunda realización;
- La figura 9(A) es una vista en sección que muestra esquemáticamente la parte de la estructura de panel de la unidad de reacción 92, y la figura 9(B) es una vista a mayor escala que muestra esquemáticamente una parte de la superficie de dicha estructura de panel;
- 15 La figura 10 es un gráfico que muestra las distribuciones de temperatura interna de la unidad de reforma 90 y de la unidad de reforma de la técnica anterior;
- La figura 11 muestra esquemáticamente la estructura de la unidad de reforma 100 en una tercera realización;
- La figura 12 es un gráfico que muestra las distribuciones de temperatura interna de la unidad de reforma 100 y de la unidad de reforma de la técnica anterior;
- 20 La figura 13 muestra esquemáticamente la estructura de la unidad de reforma 110 en una cuarta realización;
- La figura 14 es un diagrama de flujo que muestra una rutina de regulación de la carga de aire llevada a cabo en un sistema de células de combustible incluyendo la unidad de reforma 110;
- La figura 15 muestra esquemáticamente la estructura de una unidad de reforma 110A según un ejemplo modificado de la cuarta realización;
- 25 La figura 16 es un gráfico que muestra las distribuciones de la temperatura interna de la unidad de reforma 110A y de una unidad de reforma de la técnica anterior;
- La figura 17 muestra esquemáticamente la estructura de la unidad de reforma 120 en una quinta realización;
- La figura 18 es un diagrama de flujo que muestra una rutina de cambio de la entrada de gas realizada en el sistema de células de combustible 20;
- 30 La figura 19 es un gráfico que muestra las distribuciones de temperatura interna de la unidad de reforma 120 y de una unidad de reforma de la técnica anterior;
- La figura 20 muestra esquemáticamente la estructura de una unidad de reforma 130 y de los elementos que se conectan con la unidad de reforma 130 en una sexta realización;
- La figura 21 es un gráfico que muestra las distribuciones de temperatura interna de la unidad de reforma 130 y una unidad de reforma de la técnica anterior;
- 35 La figura 22 muestra esquemáticamente la estructura de la unidad de reforma 140 en una séptima realización;
- La figura 23 es un gráfico que muestra las distribuciones de temperatura interna de la unidad de reforma 140 y de una unidad de reforma de la técnica anterior;
- La figura 24 muestra esquemáticamente la estructura de una unidad de reforma 140A en un ejemplo modificado de la séptima realización;
- 40 La figura 25 es una vista en sección que muestra esquemáticamente la estructura de la unidad de reforma 150 de una octava realización;
- La figura 26 es un gráfico que muestra las distribuciones de temperatura interna de la unidad de reforma 150 y de una unidad de reforma de la técnica anterior;
- 45 La figura 27 es una vista en sección que muestra esquemáticamente la estructura de la unidad de reforma 160 de una novena realización;
- La figura 28 es un gráfico que muestra las distribuciones de temperatura interna de la unidad de reforma 160 y de una unidad de reforma de la técnica anterior;
- La figura 29 muestra esquemáticamente la estructura de una unidad de reforma 160A en un ejemplo modificado de la novena realización;
- 50 La figura 30 es una vista en sección que muestra esquemáticamente la estructura de la unidad de reforma 170 de una décima realización;
- La figura 31 es un gráfico que muestra las distribuciones de temperatura interna de la unidad de reforma 170 y de una unidad de reforma de la técnica anterior;
- 55 La figura 32 muestra esquemáticamente la estructura de la unidad de reforma 180 en una undécima realización de acuerdo con la invención;
- La figura 33 es un gráfico que muestra las distribuciones de temperaturas interna de la unidad de reforma 180 y de una unidad de la técnica anterior;
- La figura 34 muestra esquemáticamente la estructura de una unidad de reforma 190 de una duodécima realización;
- 60 La figura 35 es un gráfico que muestra las distribuciones de temperatura interna de la unidad de reforma 190 y de una unidad de reforma de la técnica anterior;
- La figura 36 muestra esquemáticamente la estructura de una unidad de reforma 190A en un ejemplo modificado de la duodécima realización;
- La figura 37 muestra esquemáticamente la estructura de una unidad de reforma 190B en otro ejemplo modificado de la duodécima realización; y
- 65 La figura 38 es un gráfico que muestra la distribución de temperatura en el interior de un dispositivo de reforma de

combustible de la técnica anterior.

Formas preferentes de llevar a cabo la invención

5 A efectos de aclarar las configuraciones, funciones y ventajas de la presente invención que se han explicado anteriormente, se describen algunas modalidades a continuación en forma de realizaciones preferentes. La figura 1 muestra esquemáticamente la estructura de un sistema de células de combustible 20 incluyendo una unidad de reforma en una primera realización. El sistema de células de combustible 20 comprende, como componentes principales, un depósito de metanol 22 que almacena metanol en el mismo, un depósito de agua 24 que almacena  
10 agua en el mismo, un quemador 26 que genera un gas de combustión, una unidad de compresión 28 que comprime el aire, un evaporador 32 que está acoplado con el quemador 26 y el compresor 28, una unidad de reforma 34 que produce un combustible gaseoso con intermedio de una reacción de reforma, una unidad de reducción de CO 36 que reduce la concentración de monóxido de carbono (CO) incluido en el combustible gaseoso, las células de combustible 40 que generan una fuerza electromotriz mediante reacciones electroquímicas y una unidad de control 50 que está constituida por un ordenador. A continuación se describe en primer lugar las células de combustible 40, que funcionan principalmente para generar potencia eléctrica en el sistema de células de combustible 20. Las células de combustible 40 son células de combustible de electrolito de polímero y tienen una estructura de apilamiento obtenida por la colocación de una serie de unidades constructivas o unidades de célula una encima de la otra. La figura 2 es una vista en sección que muestra la estructura de una unidad de célula 48 del apilamiento 40 de células de combustible. La unidad de célula 48 comprende la membrana de electrolito 41, un ánodo 42, un cátodo 43 y un par de separadores 44 y 45.

El ánodo 42 y el cátodo 43 son electrodos de difusión de gas que están dispuestos a través de la membrana del electrolito 41 formando una estructura de sándwich. El par de separadores 44 y 45 están dispuestos además a  
25 través de la estructura de sándwich y están combinados respectivamente con el ánodo 42 y el cátodo 43 para definir trayectorias de flujo de un combustible gaseoso y un gas oxidante. Los conductos de flujo de combustible gaseoso 44P están definidos por el ánodo 42 y el separador 44, mientras que los conductos de flujo 45P del gas oxidante están definidos por el cátodo 43 y el separador 45. Si bien los conductos de flujo se han mostrado solamente en una cara única de cada uno de los separadores 44 y 45 de la figura 2, se forman unos nervios realmente en ambas caras de cada uno de los separadores 44 y 45. Una cara de los separadores está combinada con el ánodo 42 para definir los conductos de flujo de combustible gaseoso 44P, mientras que la otra cara del separador está combinada con el cátodo 43 de la célula de la unidad adyacente para definir los conductos de flujo de gas 45P. Los separadores 44 y 45 están combinados con los electrodos adyacentes de difusión de gas para definir los conductos de flujo de gas, funcionando simultáneamente para separar el flujo de combustible gaseoso con respecto al flujo de gas oxidante  
30 entre cada par de células adyacentes. En la estructura de apilamiento obtenida al colocar la serie de unidades de células 48 una encima de la otra, los dos separadores situados en ambos extremos de la estructura de apilamiento pueden tener nervios solamente en las correspondientes caras únicas de los mismos que se encuentran en contacto con los electrodos de difusión de gas.

40 La membrana electrolito 41 es una membrana de intercambio iónico conductora de protones compuesta de un material polímero, por ejemplo, una fluororesina, y muestra una conductividad eléctrica favorable en estado húmedo. En esta realización, una película de Nafion (fabricada por du Pont) es aplicada a la membrana electrolito 41. Platino o una aleación de platino que consiste en platino y otro metal es aplicado como catalizador sobre la superficie de la membrana electrolito 41.

45 El ánodo 42 y el cátodo 43 están realizados en una tela de carbono que gira a base de hilos de fibra de carbono. El ánodo 42 y el cátodo 43 pueden estar realizados en un papel de carbón o filtro de carbón que consiste también en fibras de carbono, en vez de tela de carbono según esta realización.

50 Los separadores 44 y 45 están compuestos de un material conductor eléctricamente impermeable al gas, por ejemplo, carbono denso impermeable al gas obtenido al compactar polvo de carbono. Cada uno de los separadores 44 y 45 tiene una serie de nervios dispuestos en paralelo en ambas caras de los mismos y que se combinan con la superficie del ánodo 42 para definir los conductos de flujo de combustible gaseoso 44P, combinándose simultáneamente con la superficie del cátodo 43 de la célula adyacente para definir los conductos de flujo de gas oxidante 45P. No obstante, no es necesario formar los nervios en paralelo en ambas caras de cada separador, sino que los nervios formados en una cara pueden estar dispuestos según un ángulo predeterminado con respecto a los nervios formados en la otra cara, por ejemplo, paralelos a los nervios de la otra cara. La forma de los nervios puede no estar limitada a ranuras paralelas, sino que los nervios pueden tener cualquier forma que permita el suministro de combustible gaseoso y de gas oxidante a los electrodos de difusión de gas.  
55

60 La célula unitaria 48, que es la unidad de construcción de las células de combustible 40, tiene la estructura que se ha explicado. En el conjunto real de las células de combustible 40, varios juegos (100 juegos en esta realización) de las células unitarias 48, están constituidos, incluyendo cada uno de ellos el separador 44, el ánodo 42, la membrana electrolito 41, el cátodo 43 y el separador 45, en esta secuencia, estando dispuestos uno encima de otro formando un laminado de células. La estructura del apilamiento está completada por disposición de un par de placas de colector, que están compuestas por carbón denso o placas de cobre, a través del laminado de células.  
65

Los componentes del sistema de células 20 distintos a las células de combustible 40 y sus conexiones se explican más adelante. El evaporador 32 recibe suministro de metanol y agua desde el depósito de metanol 22 y del depósito de agua 24 y vaporizan el metanol y el agua. El evaporador 32 está acoplado al quemador 26 y el compresor 28 tal como se ha indicado anteriormente. Un escape de combustión procedente del quemador 26 es conducido a través de la unidad de compresión 28, tal como se explicará más adelante, y el calor de combustión es transmitido a una unidad de intercambio calorífico no mostrada del evaporador 32 para provocar la ebullición y vaporización del metanol y agua suministrados al evaporador 32.

Una segunda bomba 71 está dispuesta en un conducto 60 de flujo de metanol, por el que se hace pasar un suministro de metanol como combustible en bruto desde el depósito de metanol 22 al evaporador 32, a efectos de regular la cantidad de metanol suministrada al evaporador 32. La segunda bomba 71 está conectada a la unidad de control 50 y es impulsada como respuesta a señales emitidas desde la unidad de control 50 para regular el caudal de metanol suministrado al evaporador 32.

Una tercera bomba 72 está dispuesta en un conducto de flujo de agua 62 por el que se hace pasar el suministro de agua desde el depósito de agua 24 al evaporador 32 a efectos de regular la cantidad de agua suministrada al evaporador 32. Igual que la segunda bomba 71, la tercera bomba 72 está conectada con la unidad de control 50 y es impulsada como respuesta a señales emitidas desde la unidad de control 50 para regular el caudal de agua suministrada al evaporador 32. El conducto de paso de metanol 60 se une al conducto de paso de agua 62 para formar un primer conducto de suministro de combustible 63, que está conectado con el evaporador 32. Dado que el caudal de metano y el caudal de agua están regulados por la segunda bomba 71 y la tercera bomba 72, la mezcla de una cantidad predeterminada de metanol y una cantidad predeterminada de agua es alimentada al evaporador 32 con intermedio del primer conducto de suministro de combustible 63.

La unidad de compresor 28 acoplada al evaporador 32 recibe el aire del exterior del sistema de células de combustible 20, comprime el aire admitido y alimenta el aire comprimido a los cátodos de las células de combustible 40. La unidad de compresor 28 comprende una turbina 28a y un compresor 28b formado en un impulsor. La turbina 28a y el compresor 28b están enlazados entre sí mediante un eje coaxial 28c. El compresor 28b es impulsado y obligado a girar al impulsar y hacer girar la turbina 28a. El quemador 26 está acoplado también al evaporador 32. La turbina 28a es impulsada por los gases de combustión calientes referentes del quemador 26. El compresor 28b gira con la rotación de la turbina 28a y comprime el aire, tal como se ha mencionado anteriormente. El aire es tomado desde el exterior pasando hacia dentro del compresor 28b mediante un conducto de flujo de aire 29. El aire comprimido por la unidad de compresión 28 es alimentado a las células de combustible 40 a través de un conducto 68 de suministro de gas oxidante y es sometido a las reacciones electroquímicas que tienen lugar en las células de combustible 40.

La turbina 28a es accionada por el gas de combustión caliente conducido desde el quemador 26 y se compone de una aleación refractaria o de cerámica que tiene resistencia y duración frente al calor. En esta realización, una aleación basada en níquel (Inconel 700 fabricado por Inconel Corporation) es utilizada para la turbina 28a. El compresor 28b está compuesto por una aleación ligera de aluminio.

El quemador 26 que funciona para accionar la turbina 28a, recibe el combustible para la combustión procedente de los ánodos de las células de combustión 40 y del depósito de metanol 22. Las células de combustible 40 utilizan, como combustible, un gas rico en hidrógeno producido por la reforma del metanol en la unidad de reforma 34 para las reacciones electroquímicas que tienen lugar en su interior. Todo el hidrógeno suministrado a las células de combustible 40 no se consume por las reacciones electroquímicas, sino que se descarga una salida de combustible gaseoso que comprende el hidrógeno restante no consumido, hacia el conducto de salida de combustible 67. El quemador 26 conectado a este conducto de salida de combustible 67 recibe un suministro de la salida de combustible gaseoso y provoca que el hidrógeno restante no consumido sea sometido a combustión completa, para mejorar la tasa de utilización del combustible. La salida de combustible no es en general suficiente para el combustible necesario para la combustión en el quemador 26. De acuerdo con ello, una parte de metanol se suministra desde el depósito de metanol 22 al quemador 26 para suplementar dicha insuficiencia o para su utilización como combustible para combustión en el quemador 26 cuando no se alimenta salida de combustible desde las células de combustible 40, por ejemplo, en el arranque del sistema 20 de células de combustible. Un conducto ramificado de metanol 61 está formado para alimentar el suministro de metanol al quemador 26. El conducto ramificado de metanol 21 se ramifica desde el conducto de flujo de metanol 60, por el que se hace pasar el suministro de metanol desde el depósito de metanol 22 al evaporador 32.

El quemador 26 tiene un primer sensor de temperatura 73 que mide la temperatura de la combustión en el quemador 26 e introduce el resultado de la medición en la unidad de control 50. La unidad de control 50 envía una señal de control a la primera bomba 70 basada en la entrada procedente del primer sensor de temperatura 73, a efectos de regular la cantidad de metanol alimentada al quemador 26 y mantener la temperatura de la combustión en el quemador 26 dentro de un rango predeterminado (aproximadamente de 800°C a 1000°C). El gas de combustión en el quemador 26 funciona impulsando y haciendo girar la turbina 28a y a continuación es conducido al evaporador 32. La eficiencia del intercambio calorífico en la turbina 28a es relativamente baja (no superior aproximadamente a

10%). El gas de escape de la combustión conducido al evaporador 32 tiene, por lo tanto, una temperatura aproximadamente de 600 a 700°C y es suficiente para la fuente de calor del evaporador 32. La mezcla de solución de metanol y agua suministrada mediante el primer conducto de combustible 63, tal como se ha descrito, es vaporizada por el gas de escape de combustión caliente conducido desde el quemador 26 al evaporador 32. Un gas combustible en bruto de metanol y agua vaporizado por el evaporador 32 es conducido con intermedio de un segundo conducto de suministro de combustible 24 a la unidad de reforma 34.

La unidad de reforma 34 efectúa la reforma del gas combustible en bruto de metanol y agua para producir un combustible gaseoso rico en hidrógeno. La configuración de la unidad de reforma 34 y la reacción de reforma que tiene lugar en la unidad de reforma 34 son la parte esencial y se explicarán más adelante de forma más detallada. Un segundo sensor de temperatura 74 está dispuesto en el segundo conducto de suministro de combustible 64, por el cual el gas combustible en bruto formado por metanol y agua es conducido a la unidad de reforma 34 y mide la temperatura del gas combustible en bruto de metanol y agua alimentado a la unidad de reforma 34. La temperatura observada del gas combustible en bruto es introducida en la unidad de control 50. En el proceso de envío de la señal de control a la primera bomba 70 basándose en la entrada procedente del primer sensor de temperatura 73, la unidad de control 50 corrige la cantidad de control de la primera bomba 70 basándose en la entrada procedente del segundo sensor de temperatura 74 y regula la cantidad de metanol alimentado al quemador 26. Regulando de esta manera la temperatura del gas de combustión en el quemador 26, se ajusta la temperatura del gas combustible en bruto vaporizado en el evaporador 32. El gas combustible en bruto conducido desde el evaporador 32 es calentado de modo general hasta aproximadamente 250°C.

Tal como se describe más adelante, se utiliza oxígeno en la reacción de reforma que tiene lugar en la unidad de reforma 34. La unidad de reforma 34 tiene un compresor 38 para conducir oxígeno requerido para la reacción de reforma. El compresor 38 comprime el aire admitido del exterior y alimenta el aire de entrada comprimido a la unidad de reforma 34 con intermedio de un conducto de suministro de aire 39. En la estructura de esta realización, el conducto de suministro de aire 39 se une con el segundo conducto de suministro de combustible 64 y el aire de entrada por el compresor 38 es alimentado a la unidad de reforma 34 junto con el gas combustible en bruto procedente del evaporador 32. El compresor 38 está conectado a la unidad de control 50 que controla el estado de impulsión del compresor 38.

La unidad 36 de reducción de CO reduce la concentración de monóxido de carbono contenido en el combustible gaseoso conducido desde la unidad de reforma 34 con intermedio de un tercer conducto de suministro de combustible 65. La reacción de reforma en general del metanol es expresada por la ecuación (4) que se ha indicado anteriormente. No obstante, en la situación real, la reacción de reforma no tiene lugar de la manera ideal expresada por esta ecuación, sino que el combustible gaseoso producido en la unidad de reforma 34 comprende una cierta cantidad de monóxido de carbono. La unidad 36 de reducción de CO funciona reduciendo la concentración de monóxido de carbono comprendido en el combustible suministrado a las células de combustible 40.

Las células de combustible 40 de esta realización son células de combustible de electrolito polímero y tienen catalizador de platino o aleación de platino para acelerar las reacciones de las células (en esta realización, se aplica platino como catalizador sobre la superficie de la membrana electrolito 41). El monóxido de carbono incluido en el combustible gaseoso es adsorbido por el catalizador de platino para reducir su acción catalítica e interferir con la reacción de la ecuación (1) que tiene lugar en los ánodos, a efectos de deteriorar el rendimiento de las células de combustible. En el curso de la generación de potencia con las células de combustible con electrolito polímero, tal como las células de combustible 40, es esencial, por lo tanto, reducir suficientemente la concentración de monóxido de carbono incluido en el suministro de combustible gaseoso e impedir el deterioro del rendimiento de las células. En las células de combustible con el electrolito polímero, el límite permisible de la concentración de monóxido de carbono incluido en el combustible gaseoso de alimentación es en general no superior a varios ppm.

El combustible gaseoso alimentado a la unidad 36 de reducción de CO es un gas rico en hidrógeno que contiene una cierta cantidad de monóxido de carbono, tal como se ha mencionado anteriormente. La unidad 36 de reducción de CO oxida el monóxido de carbono, preferentemente a hidrógeno, incluido en el combustible gaseoso. La unidad 36 de reducción de CO está llena de un soporte con cualquier portador, tal como platino, rutenio, paladio, oro, y aleaciones de estos metales como elemento principal soportado como catalizador de oxidación selectivo del monóxido de carbono. La concentración de monóxido de carbono incluido en el combustible gaseoso procesado por esta unidad 36 de reducción de CO depende de la temperatura de control de la unidad de reducción de CO 36, de la concentración de monóxido de carbono comprendido originalmente en el combustible gaseoso suministrado y del caudal del combustible gaseoso alimentado a la unidad 36 de reducción de CO por unidad de volumen del catalizador. La unidad 36 de reducción de CO tiene un sensor de monóxido de carbono que no se ha mostrado. La temperatura de control de la unidad 36 de reducción de CO y el caudal del combustible gaseoso alimentado a la unidad 36 de reducción de CO son regulados de acuerdo con el resultado de la medición con el sensor de monóxido de carbono, a efectos de hacer que la concentración de monóxido de carbono comprendida en el combustible gaseoso procesado no sea superior a varias ppm.

El combustible gaseoso que tiene la concentración reducida de monóxido de carbono es conducido desde la unidad 36 de reducción de CO pasando por un cuarto conducto 66 de suministro de combustible a las células de

combustible 40 y es sometido a la reacción de la célula en los ánodos. El escape del combustible gaseoso después de la reacción en la célula que ha tenido lugar en las células de combustible 40, es descargado al conducto 67 de escape de combustible y conducido al quemador 26, tal como se ha mencionado previamente. El hidrógeno restante en el escape de combustible gaseoso se consume como combustible para la combustión. El gas oxidante involucrado en la reacción de la célula, en el cátodo de las células de combustible 40, es suministrado, por otra parte, como aire comprimido para la unidad de compresor 28 a través del conducto 68 de suministro de gas oxidante, tal como se ha descrito en lo anterior. El escape de gas oxidante después de la reacción en la célula es descargado al exterior a través de un conducto de escape de gas oxidante 69.

La unidad de control 50 está construida en forma de circuito lógico que comprende un microordenador. En una estructura concreta, la unidad de control 50 incluye una CPU 54 que lleva a cabo una serie de operaciones aritméticas y lógicas de acuerdo con los programas de control predeterminados, una ROM 56 en la que se almacena por adelantado programas de control y datos de control requeridos para la realización de las diferentes operaciones aritméticas y lógicas por la CPU 54, una RAM 58 en la que se registran una serie de datos necesarios para la realización de las diferentes operaciones aritméticas y lógicas por la CPU 54 de manera temporal con capacidad de ser introducidas y ser leídas, y un puerto de entrada-salida 52 que introduce señales de detección procedentes de los sensores de temperatura descritos anteriormente y da salida a señales de control hacia las bombas y al compresor 38 que se ha descrito anteriormente de acuerdo con los resultados de las operaciones aritméticas y lógicas llevadas a cabo por la CPU 54.

A continuación se describe la configuración de la unidad de reforma 34. La figura 3 muestra esquemáticamente la estructura de la unidad de reforma 34. La unidad de reforma 34 de esta realización recibe los suministros de gas combustible en bruto y de aire procedentes de un extremo que se conecta con el segundo conducto de suministro de combustible 64. El gas combustible en bruto suministrado y el aire pasan por el interior de la unidad de reforma 34 y son sometidos a la reacción de reforma por vapor de agua y a la reacción de oxidación (reacción de oxidación parcial). El combustible gaseoso rico en hidrógeno producido mediante la reacción de reforma por vapor de agua expresada por la ecuación (4) y la reacción de oxidación expresada por la ecuación (5) en la unidad de reforma 34 es descargado desde el otro extremo al tercer conducto de suministro de combustible 65. La unidad de reforma 34 comprende una primera unidad de reacción 80 y una segunda unidad de reacción 81. La primera unidad de reacción 80 y la segunda unidad de reacción 81 están construidas en forma de elementos de panal de abejas de metal con un catalizador Cu-Zn soportado sobre su superficie. La primera unidad de reacción 80 dispuesta sobre el lado superior de la corriente (es decir, el lado próximo a la conexión con el segundo conducto de combustible 64) está diseñada de manera que tiene un número de células menor, tal como se explica más adelante, que la segunda unidad de reacción 81 dispuesta en el lado inferior de la corriente (es decir, el lado próximo a la conexión con el tercer conducto de suministro de combustible 65).

La figura 4 muestra esquemáticamente una parte de la sección transversal del elemento en forma de panal de abejas de metal que define la primera unidad de reacción 80 y la segunda unidad de reacción 81. El elemento en forma de panal de abejas de metal está formado al colocar chapas de acero inoxidable 82 y 83, una encima de otra. De manera más específica, el elemento en forma de panal de abejas de metal está formado al colocar de manera alternativa capas de acero inoxidable planas 82 y chapas de acero inoxidable onduladas 83, una encima de otra. La placa de acero inoxidable 83 está ondulada a intervalos de 1 mm. La disposición alternada de las chapas de acero inoxidable onduladas 83 y las chapas de acero inoxidable planas 82 proporcionan, por lo tanto, la estructura de panal de abejas para las células que tienen una sección transversal sustancialmente cuadrada de 1 mm de longitud en cada lado.

La diferencia entre la primera unidad de reacción 80 y la segunda unidad de reacción 81 es el grosor de las chapas de acero inoxidable 82 y 83 utilizadas para formar la estructura en forma de panal de abejas de metal. El diferente grosor tiene como resultado una diferencia entre el número de células incluido en la primera unidad de reacción 80 y el número de células incluido en la segunda unidad de reacción 81. La primera unidad de reacción 80 tiene la estructura de panal de abejas formada por las chapas de acero inoxidable 82 y 83 con un grosor de 0,1 mm mientras que la segunda unidad de reacción 81 tiene la estructura de panal de abejas formada por las chapas de acero inoxidable 82 y 83 de 0,03 mm de grosor. Es decir, la primera unidad de reacción 80 comprende aproximadamente 75 células por 1 cm<sup>2</sup> de sección transversal y la segunda unidad de reacción 81 incluye aproximadamente 91 células por 1 cm<sup>2</sup> de sección transversal. La unidad de reforma 34 tiene una sección transversal fija. Las estructuras de panal de abejas compuestas de las chapas de acero inoxidable de diferentes grosores constituyen, por lo tanto, el área total en sección de la trayectoria de flujo de gas en la primera unidad de reacción 80 (es decir, la suma de secciones transversales de las respectivas células incluidas en la primera unidad de reacción 80), con un valor más reducido que el área total de sección de la trayectoria de flujo de gas de la segunda unidad de reacción 81 (es decir, la suma de secciones transversales de las respectivas células incluidas en la segunda unidad de reacción 80).

El catalizador es soportado respectivamente sobre la superficie de las estructuras en forma de panal de abejas de la primera unidad de reacción 80 y de la segunda unidad de reacción 82. El caudal del combustible gaseoso en bruto que pasa a través de la superficie de las estructuras en forma de panal de abejas es sometido a la acción de reforma del vapor de agua y a la reacción de oxidación para producir un combustible gaseoso rico en hidrógeno. En esta realización, el catalizador soportado sobre la superficie de la estructura en forma de panal de abejas está fabricado a

partir de cobre y óxido de zinc por coprecipitación. El catalizador Cu-Zn obtenido por coprecipitación es triturado, mezclado con un aglomerante, tal como un sol de alúmina, y soportado sobre la superficie del elemento en forma de panal de abejas, por ejemplo, por aplicación.

5 El flujo de gas combustible en bruto alimentado desde la unidad de reforma 34 construida tal como se ha explicado en lo anterior, pasa en primer lugar a través de la primera unidad de reacción 80 que tiene el menor número de células, es decir, que tiene el área transversal más reducido de flujo de gas, y a continuación por la segunda unidad de reacción 81 que tiene el mayor número de células, es decir, que tiene un área en sección total para el flujo de gas con un valor más elevado. Dado que el caudal predeterminado del gas combustible en bruto pasa a través de la estructura en forma de panal de abejas que tiene un área en sección total para el flujo de gas más reducida y la estructura en panal de abejas que tiene el área en sección total más grande para el flujo del gas, en esta secuencia, la velocidad de flujo del gas combustible en bruto es mayor en la primera unidad de reacción 80 de la unidad de reforma 34 que en la segunda unidad de reacción 81.

15 En la unidad de reforma 34 de la primera realización, la velocidad de flujo más elevada del gas combustible en bruto en el lado de arriba impide de manera efectiva un aumento brusco de temperatura en el lado de arriba de la corriente y mantiene sustancialmente la distribución de temperatura en la totalidad de la unidad de reforma 34 en un rango de temperatura de 250 a 300°C, lo cual es adecuado para la reacción de reforma. La figura 5 es un gráfico que muestra las distribuciones de temperaturas internas a lo largo del flujo de gas con respecto a la unidad de reforma 34 de esta realización y una unidad de reforma de la técnica anterior que tiene una sección transversal fija en la estructura de panal de abejas. Tal como se ha descrito en lo anterior, la reacción de oxidación tiene una tasa de reacción más elevada que la reacción de reforma por vapor de agua. En la unidad de reforma de la técnica anterior, la reacción de oxidación tiene lugar de manera vigorosa en las proximidades de la entrada de gas combustible en bruto. Esto eleva la temperatura hasta aproximadamente 400°C en las proximidades de la entrada. En la unidad de reforma 34 de esta realización, por otra parte, el gas combustible en bruto tiene la velocidad de flujo elevada en el lado de arriba de la corriente, de manera que el calor producido por la reacción de oxidación que tiene lugar en el lado de arriba de la corriente se transmite con rapidez a la parte de abajo de la corriente por el flujo rápido del gas. La velocidad de flujo más elevada del gas combustible en bruto en el lado de arriba de la corriente impide que se complete la reacción de oxidación en una zona estrecha del lado de arriba de la corriente pero se extiende al área de la reacción de oxidación vigorosa en la parte de abajo de la corriente. Esto impide de manera efectiva un aumento del uso de la temperatura en las proximidades de la entrada. La primera unidad de reacción 80 dispuesta en el lado superior de la corriente tiene la estructura de panal de abejas formada por las placas gruesas de acero inoxidable y de acuerdo con ello tiene una gran capacidad calorífica. El calor generado por la reacción de oxidación tiende por lo tanto a ser transmitido a la parte inferior de la corriente por el flujo de gas, antes de ser transmitida a la estructura de panal de abejas e incrementar la temperatura de dicha estructura de panal de abejas.

En la unidad de reforma 34 de esta realización, no hay aumento brusco de temperatura en las proximidades de la entrada. Esto previene de manera ventajosa los problemas potenciales debidos a la elevación de la temperatura, por ejemplo, el deterioro del catalizador y formación de subproductos. El deterioro más reducido del catalizador mejora significativamente la duración de la unidad de reforma. La unidad de reforma 34 de esta realización tiene una duración superior a 5000 horas, mientras que una unidad de reforma de la técnica anterior cuya distribución de temperatura se muestra en la figura 5, tiene una duración aproximadamente de 200 horas.

45 Tal como se ha descrito en lo anterior, en la unidad de reforma 34 de esta realización, el área de reacción de oxidación vigorosa se extiende a la parte inferior de la corriente y el calor producido por la reacción de oxidación que tiene lugar en el lado superior de la corriente se transmite con rapidez a la parte inferior de la corriente. A diferencia de la unidad de reforma de la técnica anterior, no existe, como consecuencia, una excesiva disminución de la temperatura en la parte inferior de la corriente en la unidad de reforma 34. Es decir, la parte inferior de la corriente de la unidad de reforma 34 se mantiene en el estado altamente activo de la reacción de reforma por vapor. Esto asegura la suficiente utilización de catalizador presente en el lado inferior de la corriente y aumenta la tasa de reacción de reforma por vapor. La actividad incrementada de la reacción de reforma por vapor en el lado inferior de la corriente posibilita la reducción de las dimensiones de la unidad de reforma.

55 La unidad de reforma 34 de la primera realización que se ha explicado anteriormente, tiene la estructura de panal de abejas de metal. No obstante, podría ser aplicable a la unidad de reforma una unidad de panal de abejas de cerámica. La estructura de panal de abejas de cerámica se describe más adelante como ejemplo modificado de la primera realización. Igual que la unidad de reforma 34 de la primera realización, la unidad de reforma del ejemplo modificado tiene la primera unidad de reacción 80 y la segunda unidad de reacción 81. La figura 6 muestra esquemáticamente las secciones de la primera unidad de reacción 80 y de la segunda unidad de reacción 81 de la estructura de panal de abejas de cerámica. La figura 6(A) muestra un ejemplo de la primera unidad de reacción 80 de la estructura de panal de abejas de cerámica. La figura 6(B) muestra otro ejemplo de la primera unidad de reacción 80 de la estructura de panal de abejas de cerámica. La figura 6(C) muestra un ejemplo de la segunda unidad de reacción 81 de la estructura de panal de abejas de cerámica.

65 El ejemplo de la figura 6(A) reduce la sección transversal de cada célula incluida en la estructura de panal de abejas y el ejemplo de la figura 6(B) reduce el número total de células incluidas en la estructura de panal de abejas a

efectos de reducir el área total en sección del conducto de flujo de gas en comparación con la estructura de panales de abejas mostrada en la figura 6(C). La unidad de reforma 34 construida combinando la primera unidad de reacción 80 que tiene la estructura de la figura 6(A) ó de la figura 6(B) con la segunda unidad de reacción 81 mostrada en la figura 6(C) facilita los mismos efectos que se han explicado en la primera realización.

5 En la realización que se ha explicado anteriormente, la unidad de reforma 34 está dividida en dos secciones internas, es decir, la primera unidad de reacción 80 y la segunda unidad de reacción 81 y la velocidad de flujo del gas combustible en bruto en la primera sección se hace distinta de la última. La unidad de reforma puede ser dividida alternativamente en tres o más secciones internas. En este caso, la disposición de hacer que la velocidad de  
10 flujo del gas sea más elevada en el lado superior de la corriente que en el lado inferior de la misma, asegura efectos similares a los explicados en la realización anterior.

15 En la realización que se ha explicado anteriormente, el área total en sección del conducto de flujo de gas en el lado superior de la corriente se hace más pequeña que el área total en sección del lado inferior de la corriente al reducir el número de células por unidad de sección transversal o al reducir la sección transversal de cada célula en la estructura de panel de abejas dispuesta en el lado superior de la corriente de la unidad de reforma. A diferencia de las estructuras que se ha explicado anteriormente, la estructura de expandir el área en sección en la unidad de reforma a lo largo del flujo del gas se puede aplicar para hacer más elevada la velocidad del flujo del gas en el lado superior de la corriente que en el lado inferior de la corriente en la unidad de reforma. La figura 7 muestra una  
20 unidad de reforma 34A que tiene una estructura de este tipo. La unidad de reforma 34A tiene tres estructuras de panel de abejas con diferentes secciones transversales totales. La estructura de panel de abejas situada en el lado superior de la corriente tiene el área total en sección más reducida. Esta disposición también hace más elevada la velocidad de flujo del gas en el lado superior de la corriente que en el lado inferior de la misma, asegurando de esta manera efectos similares a los explicados en la realización anterior. La distribución de temperatura interna en la  
25 unidad de reforma 34A se ha mostrado en el gráfico de la figura 5. En la disposición de expandir gradualmente el área total en sección de la unidad de reforma igual que en la unidad de reforma 34A no es necesario variar el número de células por unidad de sección transversal o variar la sección transversal de cada célula. Esta disposición no está restringida a las tres secciones sino que la unidad de reforma puede tener cualquier número múltiple de secciones con diferentes áreas en sección transversal para conseguir los efectos anteriores, siempre que el área en  
30 sección total del conducto de flujo se expanda gradualmente a lo largo del flujo de gas.

Otra estructura aplicada para transmitir activamente el calor generado por la reacción de oxidación que tiene lugar en el lado de arriba de la unidad de reforma a la parte de abajo de la corriente constituye el catalizador para acelerar la reforma por vapor de agua y la reacción de oxidación soportado sobre un portador compuesto principalmente por  
35 un material que tiene una conductividad térmica relativamente alta. Esta estructura se describe más adelante como segunda realización. La figura 8 muestra esquemáticamente la estructura de una unidad de reforma 90 en la segunda realización. La unidad de reforma 90 de la segunda realización se incluye en un sistema de células de combustible que tienen una estructura similar a la del sistema de células de combustible 20 mostrado en el figura 1. Tal como se ha mostrado en la figura 8, la unidad de reforma 90 tiene una única unidad de reacción 92 con  
40 estructura de panel de abejas. La figura 9(A) es una vista en sección que muestra esquemáticamente un parte de la estructura de panel de abejas de la unidad de reacción 92. La figura 9(B) es una vista a mayor escala que muestra esquemáticamente una parte de la superficie de la estructura de panel de abejas mostrada en la figura 9(A) (es decir, el área B mostrada dentro de un círculo en la figura 9(A)).

45 Igual que la unidad de reforma 34 de la primera realización, la unidad de reforma 90 de esta realización se compone de un panel de abejas de metal. Es esta realización, una placa de acero inoxidable 94 que tiene un grosor de 0,05 mm es utilizada para la estructura en forma de panel de abejas. Una capa catalítica 96, que tiene un grosor aproximado de 0, 05 mm y que contiene un catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor y la reacción de oxidación, queda formada sobre la superficie de la placa de acero inoxidable 94. En al capa catalítica 96, las  
50 moléculas de cobre y las moléculas de óxido de zinc que forman el catalizador Cu-Zn, son dispersadas y soportadas en un aglomerante que tiene una elevada conductividad térmica.

A continuación se describe el método de preparación de la capa catalítica 96. El procedimiento prepara en primer lugar un material en polvo de CuO-ZnO como material catalizador por la técnica conocida de coprecipitación, y  
55 mezcla el 5% de un sol de alúmina como aglomerante y un material que tiene una conductividad térmica más elevada que el óxido de aluminio con el polvo de CuO-ZnO. Entre los ejemplos disponibles de material que tiene una conductividad térmica más elevada se incluyen los nitruros, por ejemplo, nitruro de aluminio (AlN) y nitruro de titanio (TiN), carburos, por ejemplo, carburo de silicio (SiC) y carburo de boro ( $b_4C$ ), y grafito. La carga preferente varía de 5 a 30%. Entre estos materiales que tienen la conductividad térmica más elevada, AlN, SiC y grafito, respectivamente muestran conductividades térmicas de 0,07 cal/cm/s/°C, 0,1 cal/cm/s/°C, y 0,301 cal/cm/s/°C, siendo todos ellos más  
60 elevadas que la conductividad térmica del óxido de aluminio convencionalmente utilizado (0,02 cal/cm/s/°C).

A continuación, el procedimiento añade agua a la mezcla, efectúa la molturación y la mezcla con un molido de bolas, aplica la mezcla molida sobre la placa de acero inoxidable 94 y hace que la placa de acero inoxidable con la mezcla  
65 colocada encima de la misma, sea sometida a proceso de calentamiento y de reducción. Este procedimiento produce el catalizador Cu-Zn que consiste principalmente en moléculas de cobre y moléculas de óxido de zinc a

partir del material catalizador. El catalizador Cu-Zn es dispersado y soportado en el aglomerante que soporta el material que tiene la conductividad térmica elevada para formar la capa catalítica 96.

5 La unidad de reforma 90 de la configuración anterior es aplicada al sistema de células de combustible 20. Cuando se  
 10 hace pasar un suministro de gas combustible en bruto hacia dentro de la unidad de reforma 90, la reacción de oxidación se desarrolla vigorosamente generando una gran cantidad de calor en el lado de arriba de la corriente que recibe el suministro de oxígeno, tal como se ha descrito anteriormente. El calor generado por la reacción de oxidación no es utilizado en la reacción de reforma por vapor que tiene lugar en el lado superior de la corriente, sino que es transmitida con rapidez a través del aglomerante que contiene el material que tiene la conductividad térmica elevada. Una parte del calor transmitido a través del aglomerante es transmitido adicionalmente al elemento de base en forma de panal de abejas compuesto de acero inoxidable que tiene elevada conductividad térmica. El calor transmitido al elemento de base en forma de panal de abejas de acero inoxidable atraviesa el elemento base de panal de abejas hacia la parte inferior de la corriente. El calor residual no transmitido al elemento de base en forma de panal de abejas pasa a través del aglomerante hacia la parte inferior de la corriente. El calor es transmitido al  
 15 lado inferior de la corriente de la unidad de reforma 90 de este modo y es utilizado para la reacción de reforma por vapor de agua que tiene lugar en el lado inferior de la corriente.

20 En la unidad de reforma 90 de esta realización, el catalizador es soportado en el aglomerante que tiene la conductividad térmica elevada, de manera que el calor generado por la reacción de oxidación sobre el lado de arriba de la corriente es transmitido con rapidez a la parte inferior de la corriente para impedir una elevación rápida de la temperatura del lado de arriba de la corriente. La figura 10 es un gráfico que muestra las distribuciones internas de temperatura a lo largo del flujo de gas con respecto a la unidad de reforma 90 de esta realización y una unidad de reforma de la técnica anterior utilizando un aglomerante que no contiene el material que tiene elevada conductividad térmica. A diferencia de la unidad de reforma, según la técnica anterior, en la unidad de reforma 90, según la  
 25 presente realización, el calor generado por la reacción de oxidación que tiene lugar en el lado superior de la corriente se transmite con rapidez a la parte inferior de la corriente. Por lo tanto, no existe aumento brusco de la temperatura en el lado superior de la corriente y la temperatura interna de la unidad de reforma se mantiene de manera favorable en un rango de temperatura de 250 a 300°C. En la unidad de reforma 90 de esta realización no hay aumento brusco de temperatura en las proximidades de la entrada. Esto impide de manera ventajosa los  
 30 problemas potenciales debidos a la elevación de la temperatura, por ejemplo, el deterioro del catalizador y la formación de subproductos. El deterioro reducido del catalizador mejora significativamente la duración de la unidad de reforma. La unidad de reforma 90 de esta realización tiene una duración de más de 5000 horas, mientras que la unidad de reforma de la técnica anterior, cuya distribución de temperatura se ha mostrado en la figura 10, tiene una duración aproximada de 200 horas.

35 Tal como se ha descrito en lo anterior, en la unidad de reforma 90 de esta realización, el calor producido por la reacción de oxidación que tiene lugar en el lado superior de la corriente se transmite con rapidez a la parte inferior de la corriente. A diferencia de la unidad de reforma de la técnica anterior, no se produce, de modo consiguiente, una caída excesiva de la temperatura en la parte inferior de la corriente de la unidad de reforma 90. Es decir, la parte inferior de la corriente de la unidad de reforma 90 se mantiene en estado de elevada actividad de la reacción de  
 40 reforma por vapor de agua. Esto asegura la suficiente utilización del catalizador presente en el lado inferior de la corriente y mejora la tasa de la reacción de reforma por vapor. Esta disposición posibilita la reducción de las dimensiones de la unidad de reforma.

45 En la estructura de la segunda realización, la capa catalítica 96 que utiliza el aglomerante que contiene el material que tiene elevada conductividad térmica se forma sobre el elemento de base en forma de panal de abejas realizado a base de la placa de acero inoxidable que tienen una conductividad térmica excelente. Tanto la capa catalítica 96 como la placa de acero inoxidable 94 conducen calor desde el lado superior de la corriente al lado inferior de la misma. Esto consigue efectivamente un elevado rendimiento de la conducción de calor. En una estructura  
 50 modificada, la capa catalítica 96 puede estar constituida sobre el elemento de base de panal de abejas de material cerámico. En otra estructura modificada, el catalizador puede ser mezclado con el aglomerante que tiene elevada conductividad térmica, formado en pastillas, siendo acumulado en la unidad de reforma. Estas estructuras modificadas aseguran también los efectos producidos por la conductividad térmica mejorada desde el lado superior de la corriente al lado inferior de la misma.

55 La estructura de supresión de la actividad de la reacción de oxidación en el lado superior de la corriente al hacer que la cantidad existente del catalizador soportado sobre el lado superior de la corriente sea más baja que el soportado sobre el lado inferior de la corriente de la unidad de reforma, se describe a continuación como tercera realización. La figura 11 muestra esquemáticamente la estructura de una unidad de reforma 100, según la tercera realización. La  
 60 unidad de reforma 100 de la tercera realización está incluida en un sistema de células de combustible que tienen una estructura similar a la del sistema de células de combustible 20 mostrado en la figura 1. Tal como se ha mostrado en la figura 11, la unidad de reforma 100 tiene una primera unidad de reacción 101 y una segunda unidad de reacción 102. La primera unidad de reacción 101 y la segunda unidad de reacción 102 tienen las estructuras en panal de abejas de forma similar. El catalizador Cu-Zn es soportado sobre la superficie de la estructura en forma de panal de abejas, tal como se ha explicado en las realizaciones anteriores. La cantidad de catalizador soportado sobre la estructura de panal de abejas de la segunda unidad de reacción 102 es superior a la soportada sobre la  
 65

estructura de panal de abejas de la primera unidad de reacción 101. La primera unidad de reacción 101 tiene el catalizador Cu-Zn sobre la misma con una proporción de 50g/l (la cantidad de catalizador por unidad de volumen de la estructura en panal de abejas), mientras que la segunda unidad de reacción 102 tiene el catalizador Cu-Zn soportado sobre la misma en una proporción de 180 g/l.

5 En la unidad de reforma 100 que tiene la configuración anterior, dado que la primera unidad de reacción 101 en el lado superior de la corriente tiene una cantidad menor de catalizador soportado sobre la misma, el avance de la reacción de oxidación se suprime en el lado que recibe el suministro del gas combustible en bruto y el suministro de aire. Esta disposición impide que la reacción de oxidación tenga lugar de manera brusca sobre el lado superior de la corriente de la unidad de reforma pero extiende el área de la reacción de oxidación vigorosa a la parte inferior de la corriente. Esto impide de manera efectiva un aumento brusco de la temperatura en el lado superior de la corriente.

15 La figura 12 es un gráfico que muestra las distribuciones de temperatura interna a lo largo del flujo de gas con respecto a la unidad de reforma 100 de esta realización y una unidad de reforma, según la técnica anterior, de las estructuras de panal de abejas que tiene una cantidad idéntica de catalizador soportado tanto en el lado superior de la corriente como en el lado inferior de la misma. A diferencia de la unidad de reforma según la técnica anterior, en la unidad de reforma 100 según esta realización, el avance de la reacción de oxidación es suprimido en el lado superior de la corriente. De modo consiguiente, no hay aumento brusco de la temperatura en el lado superior de corriente y la temperatura interna de la unidad de reforma se mantiene de manera favorable en el rango de 250 a 20 300°C. En la unidad de reforma 100 según esta realización, no hay aumento brusco de la temperatura en las proximidades de la entrada. Esto impide de manera ventajosa los problemas potenciales debidos al aumento de temperatura, por ejemplo, el deterioro del catalizador y la formación de subproductos. El deterioro reducido del catalizador mejora significativamente la duración de esta unidad de reforma. La unidad de reforma 100 de esta realización, tiene una duración superior a las 5000 horas, mientras que la unidad de reforma según la técnica anterior cuya distribución de temperatura se muestra en la figura 12 tiene una duración aproximada de 200 horas.

30 Tal como se ha descrito en lo anterior, la unidad de reforma 100 de esta realización, el área de avance vigoroso de la reacción de oxidación exotérmica se extiende a la parte inferior de la corriente. A diferencia de la unidad de reforma de la técnica anterior, de modo consiguiente, no existe una caída excesiva de la temperatura en la parte inferior de la corriente de la unidad de reforma 100. Es decir, la parte inferior de la corriente de la unidad de reforma 100 se mantiene en estado altamente activo de la reacción de reforma por vapor. Esto asegura la suficiente utilización del catalizador presente en el lado inferior de la corriente y mejora la velocidad de reacción de reforma por vapor. Esta disposición posibilita la reducción de dimensiones de la unidad de reforma.

35 En la estructura de la tercera realización, la cantidad de catalizador soportada sobre la unidad de reforma 100 varía en dos etapas. La cantidad de catalizador puede variar, no obstante, en tres o más etapas. Los efectos explicados anteriormente se consiguen al reducir la cantidad de catalizador soportado sobre el plano superior de la corriente. La disposición de hacer más pequeña la cantidad de catalizador soportada sobre el lado superior de la corriente y regular el número de etapas en las que se varía la cantidad de catalizador, posibilita la homogeneización adicional de la temperatura interna de la unidad de reforma y aumenta los efectos explicados anteriormente.

45 En la estructura de la tercera realización, la reacción de reforma por vapor y la reacción de oxidación son aceleradas por el mismo catalizador Cu-Zn. En una estructura modificada, la reacción de reforma por vapor y la reacción de oxidación pueden ser aceleradas por un catalizador distinto. En el último caso, la disposición reduce solamente la cantidad de catalizador para acelerar la reacción de oxidación en el lado superior de la corriente en vez de variar la cantidad total de catalizadores entre el lado superior de la corriente y el lado inferior de la misma.

50 La estructura de bajar la concentración de oxígeno incluida en el gas suministrado a la unidad de reforma para suprimir la actividad de la reacción de oxidación en el lado superior de la corriente e incrementar la velocidad de flujo del suministro de gas para transmitir el calor generado por la reacción de oxidación en el lado superior de la corriente a la parte inferior de la corriente, se describe como una cuarta realización. La figura 13 muestra esquemáticamente la estructura de una unidad de reforma 110 en la cuarta realización. La unidad de reforma 110 de la cuarta realización está incluida en un sistema de células de combustible que tienen una estructura similar a la del sistema de células de combustible 20 mostrado en la figura 1, excepto algunas diferencias. En la siguiente descripción, iguales numerales indican iguales componentes.

60 En la estructura de la realización que se ha descrito en lo anterior, el conducto 39 de suministro de aire, por el cual se alimenta el aire desde el compresor 38 a la unidad de reforma, se une al segundo conducto de suministro de combustible 64. El gas combustible en bruto es mezclado como consecuencia con el aire antes de ser suministrado a la unidad de reforma. En el sistema de células de combustible que incluyen la unidad de reforma 110 de la cuarta realización, por otra parte, el conducto 39 del suministro de aire está conectado directamente a la unidad de reforma 110. En el sistema de células de combustible, incluyendo la unidad de reforma 110 de esta realización, el gas de escape oxidante descargado desde las células de combustible 40 al conducto 69 de salida de gas oxidante se hace pasar también dentro de la unidad de reforma 110, junto con el aire introducido por el compresor 38. El aire normal contiene oxígeno en una proporción aproximada de 20%. Dado que una determinada cantidad de oxígeno se consume por la reacción electroquímica en las células de combustible, el gas oxidante de escape descargado desde

las células de combustible tiene menor contenido de oxígeno que el aire. La concentración de oxígeno incluida en el gas oxidante de escape depende de la proporción de oxígeno en exceso (es decir, la proporción de la cantidad de oxígeno incluida en el aire realmente suministrado con respecto a la cantidad de oxígeno teóricamente requerido) en el gas oxidante suministrado a las células de combustible. En el sistema de células de combustible de esta

5 realización, la concentración de oxígeno incluida en el gas oxidante de escape es aproximadamente de 10%. El suministro mixto de aire y gas de escape oxidante a la unidad de reforma 110 posibilita, por lo tanto, que la concentración de oxígeno suministrado a la unidad de reforma 110 sea regulada a un rango aproximado desde 10% a 20%.

10 La estructura de la unidad de reforma 110 se describe en detalle haciendo referencia a la figura 13. La unidad de reforma 110 comprende una única unidad de reacción 111 con estructura de panal de abejas que tiene el catalizador Cu-Zn soportado sobre su superficie. El conducto de suministro de aire 39 se une con el conducto de escape de gas oxidante 69 para formar un segundo conducto de suministro de aire 115. La mezcla gaseosa de aire y gas oxidante de escape (a la que se hará referencia a continuación como mezcla de aire) pasa por el segundo conducto de

15 suministro de aire 115 y es suministrada al lado superior de la corriente de la unidad de reforma 110, que recibe el suministro del gas combustible en bruto que pasa desde el segundo conducto de suministro del combustible 64. Un controlador de flujo másico 112 queda dispuesto en el conducto del suministro de aire 39 en una posición específica en las proximidades del punto de encuentro del segundo conducto de suministro de aire 115 y regula la cantidad de aire introducido al segundo conducto de suministro de aire 115. De manera similar, un controlador de flujo 113

20 queda dispuesto en el conducto 69 de gas oxidante de escape en una posición específica en las proximidades del punto de encuentro con el segundo conducto de suministro de aire 115 y regula la cantidad de gas oxidante de escape procedente del segundo conducto de suministro de aire 115. Estos controladores de flujo másico 112 y 113 están conectados a la unidad de control 50 que se ha descrito anteriormente. La unidad de control 50 regula la relación de mezcla de aire suministrado mediante el conducto de aire del suministro 39 con respecto al gas oxidante de escape suministrado por el conducto de gas oxidante de escape 69. Un sensor de concentración de oxígeno 114 está dispuesto en el segundo conducto de suministro de aire 115. El sensor de concentración de oxígeno 114 está conectado también a la unidad de control 50. La información con respecto a la concentración de oxígeno incluida en la mezcla de aire es introducida en la unidad de control 50. Un sensor de temperatura 117 está dispuesto en la

25 unidad de reacción 111 en una posición predeterminada a parte del extremo superior de la misma. El sensor de temperatura 117 está conectado asimismo a la unidad de control 50. La información respecto a la temperatura en la unidad de reacción 111 es introducida en la unidad de control 50.

La disposición de esta realización reduce la concentración de oxígeno incluido en la mezcla de aire que contiene oxígeno suministrada a la unidad de reforma 110, aumentando simultáneamente la velocidad de flujo del gas que

35 pasa por la unidad de reacción 111. Esta disposición impide de manera efectiva un aumento brusco de temperatura en el lado superior de la corriente de la unidad de reforma 110. La concentración menor de oxígeno en la mezcla de aire suministrada a la unidad de reforma 110 reduce la concentración de oxígeno incluida en el gas que pasa por el interior de la unidad de reacción 111 y suprime la actividad de la reacción de oxidación del lado superior de la corriente, impidiendo de esta manera un aumento brusco de la temperatura en el lado superior de la corriente. La concentración más baja de oxígeno en la mezcla de aire que contiene oxígeno aumenta el caudal de la mezcla de

40 aire que se suministra a la unidad de reacción 111 y, por lo tanto, aumenta la velocidad de flujo del gas que pasa por el interior de la unidad de reacción 111. Esta disposición posibilita el transporte de oxígeno a la parte inferior de la corriente antes de que el oxígeno haya sido agotado por la reacción de oxidación que tiene lugar en el lado de arriba de la corriente y de manera correspondiente extiende el área de reacción vigorosa de oxidación a la parte inferior de la corriente. La velocidad de flujo incrementada del gas que pasa por el interior de la unidad de reacción 111 posibilita que el calor desarrollado por la reacción de oxidación que tiene lugar en el lado superior de la corriente sea transmitida rápidamente a la parte inferior de la corriente y de este modo impide efectivamente un aumento excesivo de la temperatura en el lado superior de la corriente de la unidad de reacción.

50 La figura 14 es un diagrama de flujo que muestra una rutina de regulación de la carga de aire llevada a cabo en el sistema de células de combustible incluyendo la unidad de reforma 110 de esta realización. En el sistema de células de combustible, incluyendo la unidad de reforma 110, cuando se determina que la temperatura interna de la unidad de reforma 110 se eleva suficientemente a estado estacionario después de un funcionamiento de un conmutador de arranque no mostrado para facilitar una instrucción de arranque al sistema de células de combustible, esta rutina es

55 ejecutada de manera repetida a determinados intervalos de tiempo.

Cuando el programa entra en esta rutina, la CPU 54 lee en primer lugar la cantidad de metanol incluida en el gas combustible en bruto suministrado a la unidad de reforma 110, basándose en la cantidad de control de la segunda

60 bomba 71 dispuesta en el conducto 60 de conducción de metanol (etapa S200). La CPU 54 calcula a continuación la cantidad de oxígeno a suministrar a la unidad de reforma 110 correspondiente a la cantidad introducida de metanol y controla los controladores de flujo másico 112 y 1113 para posibilitar el suministro de la cantidad de oxígeno requerida (etapa S210). La especificación de la cantidad de metanol suministrada a la unidad de reforma determina la cantidad de oxígeno requerida para conseguir las cantidades de calor requeridas para que la reacción de reforma por vapor equilibre la cantidad de calor generada en la reacción de oxidación. Los controladores de flujo másico 112

65 y 113 son controlados, por consiguiente, para suministrar el aire que contiene la cantidad calculada de oxígeno a la unidad de reforma 110. La cantidad de control de cada controlador de flujo másico para suministrar la cantidad

requerida de oxígeno se ajusta por adelantado como cantidad de control de referencia que corresponde a cada cantidad de suministro de oxígeno y se almacena en la unidad de control 50.

5 Después de activar los controladores de flujo másico 112, y 113 para poner en marcha el suministro de la mezcla de aire que contiene la cantidad de oxígeno requerida a la unidad de reforma 110, la CPU 54 lee la temperatura interna T1 en el lado superior de la corriente de la unidad de reacción 111 a partir de los sensores de temperatura 117 (etapa S220). La temperatura interna T1 es comparada a continuación con una temperatura de referencia predeterminada Ta (etapa S230). La temperatura de referencia predeterminada es ajustada por adelantado como límite superior de la temperatura interna T1 en el lado superior de la corriente y se almacena en la unidad de control 10 50. En esta realización, la temperatura de referencia predeterminada Ta se ajusta a un valor igual a 300°C.

En el caso en el que la temperatura interna observada T1 en el lado superior de la corriente es inferior a la temperatura de referencia predeterminada Ta en la etapa S230, se determina que la temperatura interna T1 en el lado superior de la corriente de la unidad de reacción 11 es un nivel suficientemente bajo. El programa sale entonces 15 de esta rutina. En el caso en el que la temperatura interna observada T1 en el lado superior de la corriente no es inferior a la temperatura de referencia predeterminada Ta, por otra parte, la CPU 54 disminuye la magnitud de activación del controlador de flujo másico 112, incrementando al mismo tiempo la magnitud de activación del controlador de flujo másico 113. Esto incrementa la fracción de gas de escape oxidante incluido en la mezcla de aire suministrada a la unidad de reforma 110 sin cambiar el caudal de suministro de oxígeno por unidad de tiempo (etapa 20 S240). La técnica de esta realización determina por adelantado una unidad mínima de variación con respecto a la fracción del gas de escape oxidante, es decir, con respecto a la concentración de oxígeno incluido en la mezcla de aire suministrado a la unidad de reforma 110. El procedimiento de la etapa S240 reduce la concentración de oxígeno para cualquier unidad mínima de variación. Otro procedimiento aplicable puede regular la fracción de gas de escape oxidante de acuerdo con la diferencia entre la temperatura interna T1 y la temperatura de referencia predeterminada 25 Ta. La fracción incrementada de gas de escape oxidante disminuye la concentración total de oxígeno incluida en el gas suministrado a la unidad de reforma 110, suprimiendo, por lo tanto, la reacción de oxidación que tiene lugar en el lado superior de la corriente. La fracción incrementada del gas de escape oxidante sin cambio de caudal de suministro de oxígeno por unidad de tiempo incrementa el caudal de la mezcla de aire suministrada a la unidad de reforma 110 y aumenta la velocidad de flujo del gas que pasa por el interior de la unidad de reforma 110. Esto 30 posibilita que el calor generado por la reacción de oxidación que tiene lugar en el lado superior de la corriente se admita de manera más rápida a la parte inferior de la corriente. Es decir, la realización del proceso en la etapa S240 reduce de manera efectiva la temperatura interna T1 en el lado superior de la corriente de la unidad de reacción 111.

Después de variar la fracción de gas de escape oxidante en la etapa S240, el programa vuelve a la serie de proceso de la etapa S220 y después de la misma para leer la temperatura interna observada T1 y compara dicha 35 temperatura interna T1 con la temperatura de referencia predeterminada Ta. Cuando la temperatura interna T1 es inferior a la temperatura de referencia predeterminada Ta en la etapa S230, se determina que la fracción de gas oxidante de escape incluida en la mezcla de aire suministrada a la unidad de reforma 110 tiene un nivel adecuado y que la temperatura interna T1 en la parte superior de la corriente de la unidad de reacción 111 tiene un nivel 40 suficientemente bajo. Entonces el programa sale de esta rutina.

En el sistema de células de combustible que incluyen la unidad de reforma 110 de esta realización, el sensor de concentración de oxígeno 114 está dispuesto en el segundo conducto de suministro de aire 115, tal como se ha descrito en lo anterior. La concentración de oxígeno incluido en la mezcla de aire suministrada a la unidad de 45 reforma 110 es corregida, basándose en la medición del sensor de concentración de oxígeno 114. De acuerdo con un proceso concreto, cuando los controladores de flujo másico son activados en la etapa S210 o en la etapa S240 en la rutina de regulación de la carga de aire, la concentración de oxígeno incluido en la mezcla de aire suministrada a la unidad de reforma 110 es medida con el sensor 114 de concentración de oxígeno. Las magnitudes de activación de los controladores de flujo másico son corregidas basándose en el resultado de la medición. 50

El sistema de células de combustible incluyendo la unidad de reforma 110 de la cuarta realización construida de este modo, regula la concentración de oxígeno incluido en la mezcla de aire suministrada a la unidad de reforma 110. La 55 disminución de concentración de oxígeno incluido en la mezcla de aire suprime de manera efectiva el avance de la reacción de oxidación en el lado de alimentación que recibe el suministro del gas combustible en bruto y el suministro de la mezcla de aire. Esto impide una elevación brusca de la temperatura en el lado superior de la corriente. La disposición de disminución de la concentración de oxígeno incluido en la mezcla de aire manteniendo simultáneamente una cantidad fija de oxígeno suministrado por unidad de tiempo a la unidad de reforma 110, aumenta el caudal de mezcla de aire e incrementa la velocidad de flujo del gas que pasa por el interior de la unidad de reacción 111. Esto posibilita que el calor producido por la reacción de oxidación que tiene lugar en el lado 60 superior de la corriente se transmita rápidamente a la parte inferior de la corriente, impidiendo de esta manera un aumento excesivo de la temperatura en el lado superior de la corriente.

La reacción con oxidación suprimida en el lado superior de la corriente amplía el área de reacción de oxidación vigorosa a la parte inferior de la corriente. A diferencia de la unidad de reforma de la técnica anterior, de modo 65 consiguiente no existe una caída excesiva de temperatura en la parte inferior de la corriente de la unidad de reforma 110. La velocidad de flujo incrementada del gas que pasa por el interior de la unidad de reacción 111 posibilita que

el calor generado en el lado superior de la corriente sea transmitido con rapidez a la parte inferior de la corriente. Esto contribuye también a impedir una caída de la temperatura en la parte inferior de la corriente. Es decir, la parte inferior de la corriente de la unidad de reforma 110 se mantiene en estado altamente activo de la reacción de reforma por vapor de agua. Esto asegura la utilización suficiente del catalizador presente en el lado inferior de la corriente y aumenta la velocidad de reacción de reforma por vapor. Esta disposición posibilita la reducción de dimensiones de la unidad de reforma.

La disposición de la cuarta realización especifica la cantidad de metanol incluida en el gas combustible en bruto suministrado a la unidad de reforma 110 basándose en la magnitud de activación de la segunda bomba 71 dispuesta en el conducto de flujo de metanol 60 y determina si la reacción de oxidación tiene lugar de manera excesiva en el lado superior de la corriente basándose en el resultado de la medición del sensor de temperatura 117. La especificación de la cantidad de metanol suministrada a la unidad de reforma 110 y la determinación con respecto al avance de la reacción de oxidación y la reacción de reforma por vapor en la unidad de reforma 110, se puede llevar a cabo utilizando los resultados de mediciones distintos de los mencionados anteriormente o además de los mencionados anteriormente. Por ejemplo, se puede disponer un sensor que analiza un componente del gas que pasa a través del tercer conducto de suministro de combustible 65 en dicho tercer conducto de suministro de combustible 65 a efectos de determinar el avance de la reacción de reforma por vapor y la reacción de oxidación en la unidad de reforma 110. El sensor mide la cantidad, por ejemplo, de metanol, hidrógeno, dióxido de carbono u oxígeno, incluidos en el combustible gaseoso descargado desde la unidad de reforma 110. El avance de la reacción de reforma por vapor y la reacción de oxidación en la unidad de reforma 110 se pueden determinar al utilizar adicionalmente los resultados de esta medición.

En la estructura de la cuarta realización, la mezcla de aire es suministrada solamente al lado superior de la corriente de la unidad de reforma 110. Otra estructura preferible alimenta el suministro de la mezcla de aire a una serie de diferentes lugares. Esta estructura se describe más adelante como ejemplo modificado de la cuarta realización. La figura 15 muestra esquemáticamente la estructura de una unidad de reforma 110A en el ejemplo modificado de la cuarta realización. La unidad de reforma 110A comprende dos unidades de reacción 111A y 111B, cada una de las cuales recibe un suministro de mezcla de aire. El flujo de gas combustible en bruto suministrado a la unidad de reforma 110A pasa por las unidades de reacción 111A y 111B según esta secuencia. El conducto 39 de suministro de aire y el conducto 69 de escape de gas oxidante, por los que se conducen el aire y el gas de escape oxidante a la unidad de reforma 110A, se ramifican respectivamente a las trayectorias de aire 39A y 39B y a las trayectorias de ramificación de escape de gas oxidante 69A y 69B. La trayectoria ramificada de aire 39A se une a la trayectoria de escape de gas oxidante 69A para formar un segundo conducto de suministro de aire 115A, a través del cual se suministra la mezcla de aire a la unidad de reacción 111A en el lado superior de la corriente. La trayectoria ramificada de aire 39B, por otra parte, se une a la trayectoria ramificada de escape de gas oxidante 69B para formar un segundo conducto de suministro de aire 115B por el que se suministra mezcla de aire a la unidad de reacción 111B del lado inferior de la corriente. De la misma manera que se ha explicado en la cuarta realización, los caudales y concentraciones de oxígeno incluidos en los suministros de la mezcla de aire a las respectivas unidades de reacción se regulan por ajuste de las magnitudes de activación de los controladores de flujo másico 112A, 112B, 113A y 113B, basándose en la cantidad de metanol suministrada a la unidad de reforma 110A y en las temperaturas del lado superior de la corriente de las unidades de reacción respectivas.

La unidad de reforma 110A de esta configuración suministra la mezcla de aire de manera dividida y disminuye la cantidad de oxígeno incluido en cada suministro de gas, impidiendo, por lo tanto, de manera más efectiva un aumento local excesivo de la temperatura. La unidad de reforma es dividida en la serie de unidades de reacción y el suministro de la mezcla de aire es conducido a cada unidad de reacción. Esto regula la distribución de temperatura en la unidad de reforma, mayor exactitud y posibilita que el interior de la unidad de reforma se mantenga más fácilmente dentro del rango deseable de temperatura.

La figura 16 es un gráfico que muestra las distribuciones internas de temperatura a lo largo del flujo de gas con respecto a la unidad de reforma 110A descrita anteriormente y la unidad de reforma correspondiente a la técnica anterior, que recibe un suministro de aire normal como fuente de oxígeno requerido para la reacción de oxidación. A diferencia de la unidad de reforma de la técnica anterior, en la unidad de reforma 110A el avance de la reacción de oxidación en el lado superior de la corriente se suprime. Como consecuencia no hay aumento brusco de la temperatura en el lado superior de la corriente y la temperatura interna de la unidad de reforma se mantiene de manera favorable en el rango de temperatura de 250 300°C. Tal como se ha descrito en lo anterior, en las unidades de reforma 110 y 110A de esta realización, no hay un aumento brusco de temperatura en las proximidades de la entrada. Esto impide de manera ventajosa los problemas potenciales debidos a la elevación de temperatura, por ejemplo, deterioro del catalizador y formación de subproductos. Igual que en la realización explicada en lo anterior, esta disposición mejora significativamente la duración de la unidad de reforma.

Las unidades de reforma 110 y 110A de esta realización tienen las unidades de reacción de las estructuras de panal de abejas. En una estructura modificada, la unidad de reforma puede ser llenada con pastillas con el catalizador dispuesto sobre las mismas. Esta estructura modificada ejerce también efectos similares por la regulación de la concentración de oxígeno incluido en la mezcla de aire suministrado a la unidad de reforma, igual que la fuente de oxígeno requerida para la reacción de oxidación.

La tercera y cuarta realizaciones explicadas anteriormente suprimen la actividad de la reacción de oxidación que tiene lugar en el lado superior de la corriente de la unidad de reforma, a efectos de impedir un aumento brusco de la temperatura en el lado superior de la corriente. De acuerdo con la otra posible estructura, el área de reacción de oxidación vigorosa y el área de reacción de oxidación inactiva pueden cambiar en la sección catalítica. Esta disposición varía el área de evolución de calor y por lo tanto impide un aumento local excesivo de la temperatura. La unidad de reforma de esta estructura, en la que la entrada que recibe los suministros de gas combustible en bruto y oxígeno se puede cambiar de manera que la salida envía combustible gaseoso rico en hidrógeno, se describe a continuación como quinta realización.

La figura 17 muestra esquemáticamente la estructura de una unidad de reforma 120, según la quinta realización. La unidad de reforma 120 de la quinta realización se incluye en un sistema de células de combustible que tienen una estructura similar a la del sistema de células de combustible 20 mostrado en la figura 1. Tal como se ha mostrado en la figura 17, la unidad de reforma 120 tiene una única unidad de reacción 121 con estructura de panal de abejas con catalizador Cu-Zn soportado sobre su superficie. La unidad de reacción 121 tiene sensores de temperatura 122 y 123 que miden la temperatura interna en ambos extremos de la unidad de reacción 121. Estos sensores de temperatura están conectados a la unidad de control 50. Se introducen elementos de información con respecto a la temperatura interna en ambos extremos de la unidad de reacción 121 en la unidad de control 50.

En la estructura de esta realización, el segundo conducto 64 de suministro de combustible se ramifica hacia una primera ruta ramificada de suministro 124 y una segunda ruta ramificada de suministro 125, que están conectadas a los respectivos extremos de la unidad de reforma 120. Un extremo de la unidad de reforma 120 se conecta con una primera ruta ramificada de descarga 126 y también con la primera ruta ramificada de suministro 124. El otro extremo de la unidad de reforma 120 se conecta con una segunda ruta ramificada de descarga 127 y también con la segunda ruta ramificada del suministro 125. La primera ruta de descarga ramificada 126 se une con la segunda ruta ramificada de descarga 127 para formar el tercer conducto de suministro de combustible 65, que conduce a la unidad 36 de reducción de CO. Las válvulas de solenoide 128, 129, 128A, y 129A están dispuestas respectivamente en la primera ruta ramificada de suministro 124, la segunda ruta ramificada de suministro 125, la primera ruta ramificada de descarga 126 y la segunda ruta ramificada de descarga 127. Estas unidades de solenoide 128, 129, 128A, y 129A están conectadas a la unidad de control 50 que controla el estado marcha-paro de estas válvulas de solenoide.

En la unidad de reforma 120 de esta estructura, la situación marcha-paro de las válvulas de solenoide se puede cambiar entre un primer estado en el que las válvulas de solenoide 128 y 128A se encuentran en posición en marcha (ON) y las válvulas de solenoide 129 y 129A se encuentran en paro (OFF) y un segundo estado en el que las válvulas de solenoide 129 y 129A se encuentran en posición marcha y las válvulas de solenoide 128 y 128A se encuentran en posición paro. Cuando el estado marcha-paro de las válvulas de solenoide se encuentra en la primera situación, el suministro de gas combustible en bruto conducido desde el segundo conducto de suministro de combustible 64 pasa por la unidad de reacción 121 de izquierda a derecha en el dibujo de la figura 13. Cuando el estado marcha-paro de las válvulas de solenoide se encuentra en el segundo estado, por otra parte, el suministro de gas combustible en bruto pasa por la unidad de reacción 121 desde la derecha hacia la izquierda en el dibujo de la figura 13.

La figura 18 es un diagrama de flujo que muestra una rutina de cambio de la entrada de gas realizada en el sistema de células de combustible 20 para cambiar la entrada de gas en la unidad de reforma 120. Cuando se acciona un conmutador de arranque no mostrado para facilitar una instrucción de arranque al sistema de células de combustible 20, esta rutina se realiza de manera repetida a predeterminados intervalos de tiempo.

Cuando el programa entra en esta rutina, la CPU 54 determina en primer lugar si el estado marcha-paro de las válvulas de solenoide se encuentra o no en el primer estado (etapa S300). En el caso del primer estado, la CPU 54 lee una temperatura interna T1 en el extremo superior de la corriente, que recibe el suministro del gas, desde el sensor de temperatura 122 (etapa S310). La temperatura interna observada T1 es comparada con una temperatura de referencia predeterminada T0 (etapa S320). La temperatura de referencia predeterminada T0 es ajustada por adelantado como criterio que muestra que la temperatura interna de la unidad de reacción 121 aumenta a un valor no deseado y se almacena en la unidad de control 50. En esta realización, la temperatura de referencia predeterminada T0 se ajusta igual a 300°C. En el caso en el que la temperatura interna T1 no ha alcanzado todavía la temperatura de referencia T0 en la etapa S320, el programa vuelve a la etapa S310 y repite el proceso de lectura y comparación de la temperatura interna hasta que la temperatura interna T1 alcanza la temperatura de referencia T0.

Cuando se determina en la etapa S320 que la temperatura interna T1 no es inferior a la temperatura de referencia T0, la CPU 54 dispone todas las válvulas de solenoide en posición de paro y pone en marcha la medición del transcurso de tiempo t con un temporizador no mostrado, incluido en la unidad de control 50 (etapa S330). El proceso de ajuste de todas las válvulas de solenoide en posición de paro en la fase S330 interrumpe el flujo de gas de entrada y salida de la unidad de reforma 120 y provoca que la reacción de reforma por vapor y la reacción de oxidación continúen con el gas combustible en bruto restante en la unidad de reacción 121. El transcurso de tiempo t

es comparado con un tiempo de referencia predeterminado  $t_0$  (etapa S340). El tiempo de referencia predeterminado  $t_0$  es ajustado por adelantado como el tiempo requerido para completar la reacción de reforma por vapor y la reacción de oxidación utilizando el gas combustible en bruto restante en la unidad de reforma 120 y se almacena en la unidad de control 50. En esta realización, el tiempo de referencia predeterminado  $t_0$  se ajusta igual a 1 segundo.

5 En el caso en el que el transcurso de tiempo  $t$  no ha alcanzado todavía el tiempo de referencia predeterminado  $t_0$  en la etapa S340, el proceso de la etapa S340 es realizado de manera repetida hasta que transcurre el tiempo de referencia predeterminado  $t_0$ . En el caso en el que el transcurso de tiempo  $t$  alcanza el tiempo de referencia predeterminado  $t_0$  en la etapa S340, la CPU 54 envía una señal de control a las válvulas de solenoide seleccionadas y dispone el estado marcha-paro de las válvulas de solenoide en el segundo estado (etapa S350). El programa sale entonces de esta rutina.

15 En el caso de respuesta negativa en la etapa S300, se determina que la unidad de reforma 120 se encuentra en el segundo estado. La CPU 54 lee una temperatura interna  $T_2$  en el extremo superior de la corriente, que recibe el suministro de gas desde el sensor de temperatura 123 (etapa S360). El programa lleva a cabo a continuación el proceso de las etapas S370 a S390, que es similar al proceso de las etapas S320 a S340 que se ha explicado anteriormente. Cuando la temperatura interna  $T_2$  del valor de referencia predeterminado  $T_0$  ( $300^{\circ}\text{C}$  en esta realización) con el avance de la reacción de oxidación, todas las válvulas de solenoide están dispuestas en posición paro (OFF) para el periodo de tiempo predeterminado (1 segundo en esta realización). El programa dispone entonces el estado marcha-paro de las válvulas de solenoide en el primer estado (etapa S400) y sale de esta rutina.

20 Tal como se ha mencionado en lo anterior, la rutina de cambio de la entrada de gas es llevada a cabo de forma repetida a intervalos de tiempo predeterminados cuando se acciona el conmutador de puesta en marcha no mostrado para dar la instrucción de puesta en marcha al sistema 20 de células de combustible. En la etapa inicial, cuando se dan instrucciones para accionar el sistema 20 de células de combustible, el estado marcha-paro de las válvulas de solenoide puede ser ajustado en el primer o en el segundo estado opcionalmente. Por ejemplo, el último estado marcha-paro de las válvulas de solenoide en el accionamiento anterior del sistema 20 de células de combustible se puede mantener como estado inicial para el accionamiento actual del sistema 20 de células de combustible. En otro ejemplo, el primer estado o el segundo estado pueden ser fijados al estado marcha-paro de las válvulas de solenoide al inicio del sistema 20 de células de combustible.

30 Al incluir el sistema de células de combustible la unidad de reforma 120 de la quinta realización construida de este modo, el lugar para recibir el suministro de la mezcla de aire se puede cambiar entre el lado superior de la corriente y el lado inferior de la misma en la unidad de reforma 120. La dirección de flujo de gas en la unidad de reacción 121 es por lo tanto reversible. Esta disposición impide de manera efectiva un aumento excesivo de temperatura, por una parte de la unidad de reforma con el calor generado por la reacción de oxidación. Como consecuencia, no existe un aumento brusco de temperatura en el lado superior de la corriente. El cambio de la dirección del flujo de gas se basa en la temperatura observada en el extremo de la unidad de reacción 121. Esto impide de manera segura un excesivo aumento de temperatura al final de la unidad de reacción 121.

40 El cambio de la dirección del flujo de gas posibilita que cualquier extremo de la unidad de reacción 121 funcione como lado superior de la corriente. A diferencia de la unidad de reforma de la técnica anterior, no se produce, como consecuencia, disminución significativa de la temperatura en un área específica del lado inferior de la corriente. Es decir, ambos lados de la unidad de reforma 120 se mantienen en estado altamente activo de la reacción de reforma por vapor. Esto asegura la utilización suficiente del catalizador incluido en la unidad de reacción completa 121 y aumenta la velocidad de la reacción de reforma por vapor. Esta disposición posibilita la reducción de las dimensiones de la unidad de reforma.

50 La figura 19 es un gráfico que muestra las distribuciones de temperatura interna de un extremo al otro con respecto a la unidad de reforma 120 descrita en lo anterior y una unidad de reforma de la técnica anterior que tiene una dirección fija del flujo de gas interno. A diferencia de la unidad de reforma de la técnica anterior, la unidad de reforma 120 suprime de manera efectiva el avance excesivo de la reacción de oxidación en un extremo específico. Cualquier extremo de la unidad de reforma 120 puede funcionar como lado superior de la corriente y la temperatura interna de la unidad de reforma se mantiene por lo tanto de manera favorable dentro del rango de temperatura de  $250$  a  $300^{\circ}\text{C}$ . Tal como se ha descrito en lo anterior, en la unidad de reforma 120 de esta realización no hay elevación brusca de temperatura en las proximidades de la entrada. Esto impide de manera ventajosa los problemas potenciales debido a la elevación de temperatura, por ejemplo, el deterioro del catalizador y la formación de subproductos. Igual que en las realizaciones explicadas anteriormente, esta disposición mejora significativamente la duración de la unidad de reforma.

60 La unidad de reforma 120 de esta realización tiene la unidad de reacción con estructura de panal de abejas. En una estructura modificada, la unidad de reforma puede ser llenada con pastillas con el catalizador soportado sobre las mismas. Esta estructura modificada ejerce también efectos similares por cambio de la dirección del flujo del gas que pasa por el interior de la unidad de reforma.

65 En la unidad de reforma 120 de esta realización, la dirección del flujo de gas es cambiada basándose en la temperatura observada al final de la unidad de reacción 121. La dirección de flujo de gas puede ser cambiada, no

obstante, basándose en otro factor. La disposición de cambio de la dirección de flujo de gas de acuerdo con la temperatura observada al final de la unidad de reacción 121 asegura el notable efecto de mantener la temperatura interna de la unidad de reforma 120 dentro del rango de temperatura predeterminado, aunque el caudal del gas combustible en bruto suministrado a la unidad de reforma 120 varía fluctuando el grado de avance de la reacción de reforma por vapor y la reacción de oxidación que tiene lugar en la unidad de reforma 120. Por ejemplo, cuando hay una variación suficientemente reducida en el caudal del gas combustible en bruto suministrado a la unidad de reforma, la dirección del caudal de gas puede cambiar a intervalos de tiempo predeterminados.

La estructura de las partículas catalíticas de agitación cerradas de forma estanca en la unidad de reforma para impedir un excesivo aumento de temperatura en un área específica del lado superior de la corriente de la unidad de reforma se describe a continuación como sexta realización. La figura 20 muestra esquemáticamente la estructura de una unidad de reforma 130 y elementos que se conectan con la unidad de reforma 130 en la sexta realización. La unidad de reforma 130 de la sexta realización queda incluida en el sistema de células de combustible que tienen estructura similar a la del sistema de células de combustible 20 mostrado en la figura 1. En la siguiente descripción, los componentes iguales están indicados por numerales iguales y no se explican de manera específica.

Las partículas del catalizador Cu-Zn son cerradas de forma estanca en la unidad de reforma 130. El catalizador de Cu-Zn preparado por la técnica conocida de coprecipitación es granulado de manera que se tenga el diámetro medio de partículas de 500  $\mu\text{m}$  aproximadamente. Otro procedimiento dispersa el catalizador Cu-Zn en un disolvente seleccionado y pulveriza la dispersión desde un secador de pulverización formando las partículas finas del diámetro medio de partículas antes indicado. Las partículas catalíticas pueden tener cualquier tamaño siempre que las partículas sean suficientemente agitadas con el flujo de gas inyectado a la unidad de reforma con las partículas catalíticas cerradas de forma estanca en el mismo. Por ejemplo, el diámetro preferible de las partículas varía desde 100  $\mu\text{m}$  hasta varios milímetros. Las partículas catalíticas pueden tener cualquier forma, pero la forma sustancialmente esférica es preferible para conseguir un elevado rendimiento de la agitación.

Igual que en las realizaciones explicadas anteriormente, el suministro de gas combustible en bruto que contiene metanol y vapor de agua y el suministro de la entrada de aire por el compresor 38 son conducidos a la unidad de reforma 130. En esta realización, los suministros del gas combustible en bruto y del aire se conducen a la unidad de reforma 130 mediante las válvulas de control de presión 132 y las toberas de inyección 134. Se vaporizan metanol y agua y se calientan en el evaporador 32. El gas combustible en bruto descargado del evaporador 32 tiene, como consecuencia, una determinada temperatura y presión. El flujo del gas combustible en bruto es mezclado con el flujo de aire suministrado a través del conducto de alimentación de aire 39 y es inyectado en la unidad de reforma 130 con intermedio de las válvulas de control de presión 132 y las toberas de inyección 134. Las partículas catalíticas son cerradas de forma estanca en la unidad de reforma 130, tal como se ha mencionado anteriormente. El chorro de gas combustible en bruto que contiene el aire se fluidifica y agita las partículas catalíticas en la unidad de reforma 130, tal como se ha mostrado por las flechas de la figura 20. En la unidad de reforma 130 de esta realización, el flujo del gas combustible en bruto que contiene el aire es inyectado desde siete posiciones distintas. El flujo de gas puede ser inyectado, no obstante, desde cualquier número arbitrario de posiciones siempre que las partículas catalíticas sean agitadas suficientemente en la unidad de reforma. El volumen interno de la unidad de reforma 130 puede ser determinado de manera tal que una cantidad predeterminada de las partículas catalíticas sean agitadas suficientemente con el flujo de gas (el gas combustible en bruto que contiene oxígeno) suministrado a un caudal predeterminado a una presión predeterminada.

Un filtro 136 formado por níquel esponjoso queda dispuesto en el otro extremo de la unidad de reforma 130 en oposición al extremo que conecta con las toberas de inyección. El filtro 136 tiene una malla suficientemente fina que impide fugas de las partículas catalíticas cerradas de forma estanca en la unidad de reforma 130 pero permite el flujo del combustible gaseoso producido en la unidad de reforma 130 a la unidad de reducción de CO 36. El combustible gaseoso que pasa a través del filtro 136 es conducido a la unidad de reducción de CO 36, que reduce la concentración de monóxido de carbono comprendido en el combustible gaseoso y a continuación es suministrado a las células de combustible 40.

En el sistema de células de combustible que comprende la unidad de reforma 130 construida de este modo, las partículas catalíticas cerradas de forma estanca en la unidad de reforma 130 son agitadas de manera continua por el flujo del gas combustible en bruto que contiene el aire. Las partículas catalíticas situadas en las posiciones en las que se suministra el gas combustible en bruto que contienen una elevada concentración de oxígeno son sustituidas de manera continua. Esta disposición impide de manera efectiva un excesivo aumento de la temperatura en una zona específica del catalizador con el calor producido por la reacción de oxidación. El gas inyectado en la unidad de reforma para agitar las partículas catalíticas es idéntico al gas sometido a la reacción de reforma por vapor y la reacción de oxidación que tiene lugar en la unidad de reforma (gas de combustible en bruto que contiene el aire). Es decir, esta realización posibilita que la acción de agitación de las partículas catalíticas sea llevada a cabo simultáneamente con la acción de suministro del gas combustible en bruto a la unidad de reforma 130. El flujo de gas inyectado a la unidad de reforma no lleva a cabo las reacciones que tienen lugar en la unidad de reforma las reacciones electroquímicas que tienen lugar en las células de combustible.

El calor producido por la reacción de oxidación es dispersado en la unidad de reforma 130 por agitación de las partículas catalíticas en la unidad de reforma 130. A diferencia de la unidad de reforma de la técnica anterior, no se produce, como consecuencia, ninguna caída de temperatura significativa en un área específica del lado inferior de la corriente. La unidad de reforma en su conjunto 130 con las partículas catalíticas se mantiene como consecuencia en el estado altamente activado de la reacción de reforma por vapor. Esto aumenta de manera favorable la velocidad de la reacción de reforma por vapor.

La figura 21 es un gráfico que muestra las distribuciones de temperatura interna de un extremo al otro con respecto a la unidad de reforma 130 descrita en lo anterior y una unidad de reforma, según la técnica anterior, que tiene una dirección fija del flujo de gas interno. El gas combustible en bruto que tiene una temperatura de 250°C y un caudal de 670 l/min es mezclado con el aire que tiene un caudal de 140 l/min y el gas mixto es inyectado a 5 atmósferas de presión desde las toberas de inyección 134 a la unidad de reforma 130. A diferencia de la unidad de reforma de la técnica anterior, la reacción de oxidación no avanza excesivamente en un extremo específico de la unidad de reforma 130. Las partículas catalíticas dentro de la unidad de reforma 130 son involucradas de manera uniforme en la reacción, de manera que las temperaturas internas de la unidad de reforma se mantienen favorablemente en el rango de temperatura de 250 a 300°C. Tal como se ha descrito en lo anterior, en la unidad de reforma 130 de esta realización no existe aumento brusco de temperatura en las proximidades de la entrada. Esto impide de manera favorable los problemas debidos al aumento de temperatura, por ejemplo, el deterioro del catalizador y la formación de subproductos. Igual que en las realizaciones descritas anteriormente, esta disposición mejora significativamente la duración de la unidad de reforma.

En la sexta realización que se ha explicado anteriormente, el gas combustible en bruto que contiene el aire es utilizado como gas inyectado en la unidad de reforma 130 con la finalidad de agitación. Un gas compuesto, como mínimo, por uno de: metanol vaporizado, vapor y aire, puede ser utilizado con el mismo objetivo. En este último caso, los componentes residuales distintos del componente gaseoso inyectado a la unidad de reforma para agitar el catalizador son suministrados a una posición predeterminada (es deseable el lado superior de la corriente próximo a los chorros de gas) en la unidad de reforma con las partículas catalíticas cerradas de forma estanca en su interior.

En la disposición de la sexta realización, el gas a alta presión es inyectado hacia dentro de la unidad de reforma 130 para agitar las partículas catalíticas cerradas de forma estanca en la unidad de reforma 130. No obstante, las partículas catalíticas pueden ser agitadas por cualesquiera otros medios. Por ejemplo, se pueden disponer medios mecánicos en la unidad de reforma para agitar las partículas catalíticas.

La estructura de cambio del lado del flujo que recibe el suministro de aire sometido a la reacción de oxidación a lo largo del tiempo en la sección catalítica se describe a continuación como séptima realización. La figura 22 muestra esquemáticamente la estructura de la unidad de reforma 140 en la séptima realización. La unidad de reforma 140 de la séptima realización está incluida en el sistema de células de combustible que tiene una estructura similar a la del sistema de células de combustible 20 mostrado en la figura 1. Tal como se ha mostrado en la figura 22, la unidad de reforma 140 está formada en una estructura sustancialmente cilíndrica y tiene una unidad de reacción única 141 con una estructura de panal de abejas con el catalizador Cu-Zn soportado sobre su superficie. La unidad de reforma 140 es rotativa por medio de un motor no ilustrado. Igual que en las realizaciones que se han explicado anteriormente, la unidad de reforma 140 recibe el suministro del gas combustible en bruto conducido a través del segundo conducto 64 de suministro de combustible y descarga el combustible gaseoso resultante al tercer conducto de suministro de combustible 65. El segundo conducto del suministro de combustible 64 y el tercer conducto de suministro de combustible 65 están conectados a los centros aproximados de las secciones transversales sustancialmente circulares de la unidad de reforma 140. El motor es impulsado para hacer girar la unidad de reforma 140 a la velocidad de una rotación por segundo alrededor del eje de la sección transversal.

El suministro del gas combustible en bruto que se hace pasar a través del segundo conducto 64 de suministro de combustible y el suministro de aire que se hace pasar a través del conducto de suministro de aire 39 son llevados a la unidad de reforma 140. En esta realización, el extremo del conducto de suministro de aire 39 que se conecta con la unidad de reforma 140, está formado en el segundo conducto 64 de suministro de combustible. El extremo del conducto de suministro de aire 39 formado en el segundo conducto 64 de suministro de aire está curvado en un espacio del lado superior de la corriente de la unidad de reacción 141 en la unidad de reforma 140 y se abre en forma de salida de aire 142. La salida de aire 142 se abre al extremo en el lado de arriba de la unidad de reacción 141. En esta realización, la posición de la abertura es aproximadamente intermedia entre el centro y la circunferencia de la sección transversal en el extremo de la unidad de reacción 141. El aire que pasa por el conducto 39 de suministro de aire es pulverizado desde la salida de aire 142 y suministrado aproximadamente a la mitad de las células alrededor de las que están situadas justamente en oposición a la salida de aire 142, constituyendo entre todas las celdas la estructura de panal de abejas de la unidad de reacción 141.

En la unidad de reforma 140 de esta realización, tanto la reacción por vapor de agua como la reacción de oxidación tienen lugar en las células que reciben el suministro de aire procedente de la salida de aire, mientras que solamente la reacción de reforma por vapor tiene lugar en las células que no reciben el suministro de aire. La unidad de reforma 140 es obligada a girar, tal como se ha descrito en lo anterior, y la posición de la salida de aire 142 está fijada con

independencia de la rotación de la unidad de reforma 140. Como consecuencia, las células que reciben el suministro de aire cambian a lo largo del tiempo.

5 En la unidad de reforma 140 de la séptima realización constituida de este modo, las células que reciben el suministro de aire para el avance de la reacción de oxidación cambian a lo largo del tiempo. Como consecuencia, no existe una elevación excesiva de la temperatura en las células específicas en el lado de la parte superior. En las células con el suministro de aire en las que tiene lugar la reacción de oxidación para elevar la temperatura en el lado superior de la corriente, el suministro de aire es detenido inmediatamente para inactivar la reacción de oxidación. El calor producido por la reacción de oxidación es consumido por la reacción de reforma por vapor de agua y no hay otro aumento de temperatura. En las células sin suministro de aire en las que el calor se consume por la reacción de reforma por vapor, por otra parte, el suministro de aire es iniciado inmediatamente para activar la reacción de oxidación, que produce calor e impide un descenso significativo de la temperatura.

15 Igual que las realizaciones explicadas anteriormente, la proporción de suministro de metanol con respecto al suministro de aire a la unidad de reforma 140 se fija para conseguir que la cantidad de calor requerida para la reacción de reforma por vapor equilibre la cantidad de calor generada por la reacción de oxidación que tiene lugar en la unidad de reforma. En la unidad de reforma 140 de esta realización, casi la mitad de las células entre todas las células que constituyen la estructura de panal de abejas reciben suministro de aire. Es decir, cada una de las células a la que se suministra el aire en el momento, recibe oxígeno en exceso con respecto a la cantidad de metanol. La cantidad de calor generado por la reacción de oxidación es, por consiguiente, mayor que la cantidad de calor requerido para la reforma por vapor del suministro de metanol. Tal como se ha descrito en lo anterior, el suministro de aire es detenido inmediatamente a dichas células. Esta disposición impide de manera efectiva un aumento excesivo de temperatura en el lado de arriba de la corriente que recibe el suministro de aire. El aire y el gas combustible en bruto son suministrados en exceso de oxígeno. En comparación con el suministro estándar sin exceso de oxígeno, el área de reacción de oxidación vigorosa se extiende a la parte inferior de la corriente. A diferencia de la unidad de reforma de la técnica anterior, no existe, como consecuencia, ninguna caída significativa de la temperatura en el lado inferior de la corriente. En la unidad de reforma 140, el conjunto de la unidad de reacción se mantiene en el rango de temperatura deseable y se encuentra en un estado altamente activo de la reacción de reforma por vapor. Esto incrementa la velocidad de la reacción de reforma por vapor.

30 La figura 23 es un gráfico que muestra la distribución interna de temperatura desde el lado superior de la corriente al lado inferior de la misma con respecto a la unidad de reforma 140 descrita anteriormente y antes de la unidad de reforma, según el estado de la técnica, que recibe una cantidad fija de suministro de oxígeno. La medición de la distribución de temperatura fue llevada a cabo, mientras el gas era suministrado a la unidad de reforma 140 en las condiciones en las que LHSV (volumen de metanol procesado por hora/ volumen de catalizador) =3 y el gas contenía el aire que conseguía la proporción de oxígeno/metanol =11% y alcanzando el agua la proporción de agua/metanol =2. A diferencia de la unidad de reforma de la técnica anterior, no hay aumento excesivo de temperatura en el lado de arriba de la corriente de la unidad de reforma 140. La temperatura interna de la unidad de reforma se mantiene por lo tanto de manera salvable en el rango de temperatura de 250 a 300°C. Esto impide de manera ventajosa los problemas potenciales debidos al aumento de temperatura, por ejemplo, deterioro del catalizador y formación de subproductos. Igual que en las realizaciones explicadas anteriormente, esta disposición mejora significativamente la duración de la unidad de reforma. El combustible gaseoso producido por la unidad de reforma 140 bajo las condiciones anteriormente mencionadas contenía H<sub>2</sub>=50%, CO<sub>2</sub>=23%, H<sub>2</sub>O=17,5%, N<sub>2</sub>=9%, y CO=0,5% y se utilizó de manera satisfactoria para las células de combustible.

45 En la séptima realización descrita anteriormente, la unidad de reforma 140 es obligada a girar, mientras que la salida de aire 142 para pulverizar el aire es fija. Una estructura modificada hace girar la salida de aire y fija la unidad de reforma. La unidad de reforma de esta estructura se describe a continuación como ejemplo modificado de la séptima realización. La figura 24 muestra esquemáticamente la estructura de una unidad de reforma 140A en el ejemplo modificado de la séptima realización. La unidad de reforma 140A tiene una estructura sustancialmente similar a la de la unidad de reforma 140. En la siguiente descripción, los componentes correspondientes se expresan por iguales numerales con el sufijo A. La unidad de reforma 140A de este ejemplo modificado no es rotativa. Un mecanismo específico rotatorio 144 queda dispuesto en la curva de la parte extrema del conducto 39 de suministro de aire que conduce a la salida de aire 142A. El mecanismo rotatorio 144 hace girar el extremo del conducto 39 de suministro de aire con la salida de aire 142A para cambiar el lugar de flujo en el extremo superior de la corriente de la unidad de reacción 141A, que recibe el suministro de aire de la salida de aire 142A, en el momento oportuno.

60 La unidad de reforma 140A con esta configuración ejerce efectos similares a los de la unidad de reforma 140 de la séptima realización. El mecanismo rotatorio 144 dispuesto en las proximidades del extremo del conducto 39 de suministro de aire soporta un elemento extremo 143 con la salida de aire 142A libremente rotativa con respecto a la base del conducto 39 del suministro de aire. El elemento extremo 143 puede ser obligado a girar por la fuerza de reacción de la pulverización de aire desde la salida de aire 142A o por una potencia externa.

65 En la realización y en su ejemplo modificado, la salida de aire y la unidad de reforma son obligadas a girar. Otra estructura modificada proporciona una serie de salidas de aire del lado de arriba de la unidad de reforma y cambia la salida de aire funcional, de la que el aire es realmente pulverizado, a lo largo del tiempo. Cualquier estructura puede

ser aplicable siempre que cambie el lugar del flujo en la unidad de reacción que recibe el suministro de aire a lo largo del tiempo. Las unidades de reforma 140 y 140A tienen la unidad de reacción con estructura de panal de panal de abejas. En una estructura modificada, la unidad de reacción puede ser llenada con pastillas con el catalizador dispuesto sobre las mismas. Esta estructura modificada ejerce también el efecto similar al cambiar el lugar del flujo en la unidad de reacción, que recibe el suministro de aire a lo largo del tiempo.

Las unidades de reforma de las sexta y séptima realizaciones explicadas anteriormente tienen asimismo el efecto de hacer que la reacción de oxidación tenga lugar de manera vigorosa en la etapa inicial calentando, por lo tanto, la unidad de reforma con rapidez para pasar al nivel estacionario. En la etapa inicial, la temperatura de la unidad de reforma es baja, tal como la temperatura ambiente, y se requiere calentar con rapidez la unidad de reforma al nivel estacionario. Una técnica posible suministra grandes cantidades de metanol y de oxígeno para hacer que la reacción de oxidación tenga lugar de manera vigorosa y calentar de esta manera interiormente la unidad de reforma. No obstante, en la unidad de reforma de la técnica anterior, la reacción de oxidación vigorosa con una cantidad grande de suministro de aire puede provocar un aumento excesivo de la temperatura en un área específica en el lado de arriba de la corriente mientras que la temperatura promedio de la unidad de reforma es todavía baja. En las unidades de reforma de la sexta y séptima realizaciones, el área de reacción de oxidación vigorosa (es decir, el lugar catalítico que recibe la concentración alta de oxígeno) se cambia con el tiempo. La reacción de oxidación vigorosa con gran cantidad de suministro de aire no provoca, como consecuencia, un aumento excesivo de temperatura en ningún lugar específico, sino que calienta con rapidez el conjunto de la unidad de reforma al nivel estacionario.

A continuación se describe una unidad de reforma de una octava realización que comprende una serie de unidades de reacción, en las que la dirección de flujo de gas en parte de las unidades de reacción es la inversa con respecto a la dirección de flujo de gas en las unidades de reacción residuales, a efectos de permitir intercambio calorífico entre el lado superior de la corriente de una unidad de reacción que recibe los suministros del gas combustible en bruto y el aire del lado inferior de la corriente de la unidad de reacción adjunta que envía el combustible gaseoso. La figura 25 es una vista en sección que ilustra esquemáticamente la estructura de una unidad de reforma 150 de la octava realización. La unidad de reforma 150 de la octava realización, se incluye en un sistema de células de combustible que tienen una estructura similar a las de las células de combustible del sistema 20 mostrado en la figura 1. La unidad de reforma 150 está formada con una estructura sustancialmente cilíndrica y tiene un cuerpo tubular doble que comprende una unidad de reacción 152 formada a lo largo de su pared interna y una unidad de reacción 151 situada dentro de la unidad de reacción 152. La unidad de reacción 151 recibe el suministro de gas combustible en bruto y el aire en un extremo de la misma (extremo de la izquierda de la figura 25) y emite el combustible gaseoso en el otro extremo (extremo de la derecha de la figura 25). La unidad de reacción 152 recibe también los suministros del gas combustible en bruto y del aire en un extremo y emite el combustible gaseoso en el otro extremo, pero los respectivos extremos son opuestos a los de la unidad de reacción 151. Es decir, la dirección de flujo del gas en la unidad de reacción 151 es inversa a la dirección de flujo de gas en la unidad de reacción 152. Cada una de las unidades de reacción 151 y 152 pueden estar compuestas por una estructura de panal de abejas con el catalizador de Cu-Zn soportado sobre su superficie o puede estar lleno de las pastillas del catalizador de Cu-Zn.

En la unidad de reforma 150 de la octava realización construida de este modo, el lado superior de la corriente de la unidad de reacción interna 151 es adyacente al lado inferior de la corriente de la unidad de reacción externa 152 y el lado inferior de la corriente de la unidad de reacción interna 151 es adyacente al lado superior de la corriente de la unidad de reacción externa 152. Esta disposición permite el intercambio calorífico entre el lado superior de la corriente de una unidad de reacción y el lado inferior de la corriente de la otra unidad de reacción. El calor generado por la reacción de oxidación en el lado superior de la corriente de una unidad de reacción se transmite a la parte inferior de la corriente de la otra unidad de reacción adjunta a la misma (ver las flechas de trazos de la figura 25). Esta disposición impide de manera efectiva un excesivo aumento de la temperatura en el lado superior de la corriente que recibe los suministros de gas combustible en bruto y aire.

La parte inferior de la corriente de cada unidad de reacción incluida en la unidad de reforma 150 recibe el calor transmitido desde el lado superior de la corriente de la unidad de reacción adyacente. A diferencia de la unidad de reforma de la técnica anterior, no existe, por consiguiente, una disminución significativa de la temperatura en el lado inferior de la corriente. Cada una de las unidades de reacción de la unidad de reforma 150 es mantenida, por lo tanto, en estado altamente activado en la reacción de reforma por vapor. Esto favorece la velocidad de la reacción de reforma por vapor.

La figura 26 es un gráfico que muestra las distribuciones de temperatura interna desde un extremo al otro con respecto a las unidades de reacción respectivas de la unidad de reforma 150 descrita en lo anterior y una unidad de reforma anteriormente conocida que tiene una dirección fija del flujo interno de gas en las unidades de reacción. A diferencia de la unidad de reforma de la técnica anterior, en la unidad de reforma 150 no existe un aumento excesivo de temperatura en un área específica del lado superior de la corriente por el calor producido por la reacción de oxidación. Tampoco hay un descenso significativo de la temperatura en un área específica en el lado inferior de la corriente. La temperatura interna de la unidad de reforma se mantiene, por lo tanto, de manera favorable en un rango de temperatura de 250 a 300°C. Tal como se ha descrito en lo anterior, en la unidad de reforma 150 de esta realización no hay un aumento brusco de temperatura en las proximidades de la entrada. Esto impide de manera ventajosa los problemas potenciales debidos al aumento de temperatura, por ejemplo, deterioro del catalizador y

formación de subproductos. Igual que las realizaciones anteriormente explicadas, esta disposición mejora significativamente la duración de la unidad de reforma.

5 La unidad de reforma 150 de la octava realización explicada en lo anterior, tiene la estructura tubular doble que incluye la unidad de reacción interna 151 y la unidad de reacción externa 152, en la que la dirección del gas que discurre en una unidad de reacción es inversa a la dirección de flujo de gas en la otra unidad de reacción. En la estructura generalizada, la unidad de reforma comprende una serie de unidades de reacción, mientras que la dirección de flujo de gas en parte de las unidades de reacción es inversa a la dirección de flujo del gas en el resto de unidades de reacción. Esta disposición permite el intercambio calorífico entre la parte superior de la corriente que genera una gran cantidad de calor y la parte inferior de la corriente que consume una gran cantidad de calor. Como consecuencia, esto asegura los mismos efectos que se han explicado en la octava realización. Por ejemplo, la unidad de reforma puede estar constituida con una estructura de apilamiento en la que una serie de unidades de reacción delgadas son dispuestas una encima de la otra, en vez de la estructura tubular doble. La dirección del flujo del gas se invierte de manera alternativa en el apilamiento de las unidades de reacción respectivas. En esta estructura, el intercambio calorífico es llevado a cabo entre el lado superior de la corriente de cada unidad de reacción y el lado inferior de la corriente de una unidad de reacción adyacente, a efectos de homogeneizar la temperatura interna.

20 A continuación se describe la novena realización que tiene una zona giratoria dispuesta en la parte media de una trayectoria de flujo definida en una unidad de reacción, en la que la parte superior de la corriente y la parte inferior de la misma son adyacentes entre sí en la unidad de reacción para permitir el intercambio calorífico entre ambas. La figura 27 es una vista parcial que muestra esquemáticamente la estructura de una unidad de reforma 160 de la novena realización. La unidad de reforma 160 de la novena realización queda incluida en un sistema de células de combustible que tiene una estructura similar al sistema de células de combustible 20 mostrado en la figura 1. Igual que la unidad de reforma 150 de la octava realización, la unidad de reforma 160 está constituida en una forma sustancialmente cilíndrica y tiene una estructura tubular doble incluyendo una sección interna 161 y una sección externa 162. La sección interna 161 y la sección externa 162 tienen continuidad una con respecto a la otra y forman una única unidad de reacción 163.

30 El segundo conducto de suministro de combustibles 64 se conecta con un extremo de la sección interna 161. Los suministros de gas combustible en bruto y de aire que pasan por el segundo conducto de suministro de combustible 64 se desplazan de un extremo al otro extremo de la sección interna 161. El otro extremo de la sección interna 161 se conecta con la sección externa 162. El gas que pasa por el interior de la sección interna 161 es conducido desde el otro extremo de la misma a la sección externa 162 (ver flechas continuas de la figura 27). El gas introducido en la sección externa 162 pasa por el interior de dicha sección externa 162 y es conectado al tercer conducto de suministro de combustible 65 en un extremo correspondiente al extremo de la sección interna 161. El combustible gaseoso resultante producido por el gas que pasa por la unidad de reacción 163 es descargado al tercer conducto de suministro de combustible 65. La sección interna 161 y la sección externa 162 de la unidad de reacción 163 pueden estar constituidas por la estructura de panel de abejas con el catalizador Cu-Zn soportado sobre la misma o puede encontrarse lleno de las pastillas del catalizador de Cu-Zn.

45 En la unidad de reforma 160 de la novena realización construida de este modo, la sección interna 161 es adyacente a la sección externa 162. Esta disposición permite el intercambio calorífico entre la sección interna 161 y la sección externa 162. La sección interna 161 corresponde a la parte superior de la corriente en la unidad de reacción 163 en la que tiene lugar la reacción de oxidación vigorosa generando una gran cantidad de calor. La parte externa 162 corresponde a la parte de corriente inferior de la unidad de reacción 163 en la que solamente la reacción de reforma por vapor que tiene lugar requiere calor. En la unidad de reforma 160, el calor transmitido desde la sección interna 161 genera una gran cantidad de calor hacia la sección externa 162 que requiere calor (ver las flechas de trazos de la figura 27). Como consecuencia, no hay un aumento excesivo de la temperatura en la sección interna 161 que corresponde al lado superior de la corriente.

50 En la unidad de reforma 160, la sección externa 162 que corresponde al lado inferior de la corriente recibe el calor transmitido desde la sección interna adyacente 161. A diferencia de la unidad de reforma de la técnica anterior, no existe, como consecuencia, una caída significativa de la temperatura en el lado inferior de la corriente. El conjunto de la unidad de reacción de la unidad de reforma 160 se mantiene, por lo tanto, en estado altamente activo de la reacción de reforma por vapor. Esto favorece la velocidad de la reacción de reforma por vapor.

60 La figura 28 es un gráfico que muestra las distribuciones internas de temperatura desde un extremo que se conecta con el segundo conducto 64 de suministro de combustible hasta el otro extremo con respecto a la unidad de reforma 160 descrita anteriormente y una unidad de reforma descrita anteriormente y de la técnica anterior que tiene una dirección fija del flujo interno de gas en una unidad de reacción. A diferencia de la unidad de reforma de la técnica anterior, en la unidad de reforma 160 no hay un aumento excesivo de temperatura en el lado superior de la corriente por el calor producido por la reacción de oxidación. Tampoco hay una caída significativa de la temperatura en el lado inferior de la corriente. La temperatura interna de la unidad de reforma se mantiene, por lo tanto, de manera favorable en un rango de temperatura de 250 a 300°C. Tal como se ha descrito en lo anterior, en la unidad de reforma 160 de esta realización no hay un aumento brusco de la temperatura en las proximidades de la entrada.

Esto impide de manera ventajosa los problemas potenciales debidos al aumento de temperatura, por ejemplo, el deterioro del catalizador y la formación de subproductos. Igual que las realizaciones explicadas en lo anterior, esta disposición mejora significativamente la duración de la unidad de reforma.

5 La unidad de reforma 160 de la novena realización explicada en lo anterior, tiene la estructura tubular doble que comprende la sección interna 161 y la sección externa 162 en la que la dirección de flujo de gas en la sección interna 161 es inversa a la dirección de flujo de gas en la sección externa 162. La unidad de reforma de esta disposición, no obstante, no está restringida a la estructura tubular doble. En la estructura generaliza se dispone un área giratoria en la parte media de la trayectoria de flujo por la que pasa el gas combustible en bruto y el aire y el  
10 lado superior de la corriente y el lado inferior de la misma están dispuestos para que se encuentren adyacentes entre sí para permitir el intercambio calorífico entre ambos. Esta disposición consigue los mismos efectos que se han explicado en la novena realización. Por ejemplo, la unidad de reforma puede tener una trayectoria de flujo plegada o doblada en la que la dirección de flujo del gas en el lado superior de la corriente es inversa a la dirección de flujo del  
15 gas en el lado inferior de la corriente, en vez de la estructura tubular doble. La figura 29 muestra una unidad de reforma 160A que presenta esta estructura. Esta estructura posibilita también la transmisión de calor desde el lado superior de la corriente al lado inferior adyacente de la misma (ver flechas en la figura 29), homogeneizando por lo tanto la temperatura interna.

La estructura de calentamiento de la parte inferior de la corriente de la unidad de reforma con gases de combustión calientes descargados del evaporador 32 se describe a continuación en forma de décima realización. La figura 30 es una vista en sección que muestra esquemáticamente la estructura de la unidad de reforma 170 de la décima realización. La unidad de reforma 170 de la décima realización se incluye en un sistema de células de combustible que tiene una estructura similar al sistema 20 de células de combustible mostrado en la figura 1. La unidad de reforma 170 comprende dos unidades de reacción 171 y 172 con estructuras de panel de abejas con el catalizador  
20 Cu-Zn soportado sobre la superficie de las mismas. La división de la unidad de reforma 170 en dos unidades de reacción posibilita que el gas separado por cada célula de la estructura de panel de abejas de la unidad de reacción 171 en el lado superior de la corriente se mezcle nuevamente en el curso de la trayectoria de flujo y de esta forma homogeneice las condiciones del gas que pasa por el interior de la unidad de reacción 170. La unidad de reforma 170 se conecta al segundo conducto 64 de suministro de combustible que recibe el suministro de aire desde el  
25 conducto de suministro de aire 39 y recibe el suministro del gas combustible en bruto mezclado con el aire. El suministro del gas combustible en bruto que contiene el aire y que es conducido desde el segundo conducto de suministro de combustible 64 pasa por las unidades de reacción 171 y 172, en esta secuencia. El combustible gaseoso rico en hidrógeno resultante es descargado a continuación al tercer conducto de suministro de combustible  
30 65.

Las unidades de reacción 171 y 172 están dotadas respectivamente de los sensores de temperatura 173 y 174. Estos sensores de temperatura 173 y 174 están conectados a la unidad de control 50. Elementos de información referentes a la temperatura interna de las unidades de reacción 171 y 172 son enviados a la unidad de control 50. Tal como se explica más adelante, los resultados de la medición con el sensor de temperatura 173 se utilizan para impedir un aumento excesivo de temperatura dentro de la unidad de reacción 171, mientras que los resultados de la medición con el sensor de temperatura 174 son utilizados para impedir una caída excesiva de la temperatura dentro de la unidad de reacción 172. Como consecuencia, es deseable que el sensor de temperatura 173 esté situado en el lado superior de la corriente de la unidad de reacción 171 y el sensor de temperatura 174 esté situado en el lado inferior de la corriente de la unidad de reacción 172.  
35

Una entrada 175 de escape de la combustión, en la que se introducen los gases de la combustión descargados del evaporador 32, se dispone en una posición específica sobre la parte circunferencial de la unidad de reforma 170 que corresponde a la unidad de reacción 172. Tal como se ha descrito anteriormente, el evaporador 32 recibe un suministro de escape de la combustión procedente del quemador 26 por medio del compresor 28 y calienta y vaporiza metanol y agua con la cantidad de calor del escape de la combustión. El escape de la combustión descargado del compresor 28 después de consumir el calor interno en el evaporador 32 para calentar y vaporizar metanol y agua todavía mantiene una cierta cantidad de calor. En la unidad de reforma 170 de esta realización, este escape de la combustión es conducido a la entrada 175 de escape de la combustión y es utilizado para calentar la unidad de reacción 172 del lado inferior de la corriente.  
40

El sistema de células de combustible que incluye la unidad de reforma 170 de esta realización tiene un conducto de flujo de escape de la combustión 176 que conduce el escape de la combustión descargado del evaporador 32 a la entrada del escape de la combustión 175. Un controlador de flujo másico 177 está dispuesto en el conducto 176 de flujo del escape de la combustión para regular el caudal del escape de combustión conducido a la entrada 175 de escape de la combustión. El controlador de flujo másico 177 está conectado a la unidad de control 50. La unidad de control 50 regula el caudal del escape de la combustión conducido a la entrada 175 del escape de la combustión. La temperatura del escape de la combustión conducido desde el evaporador 32 a la entrada 175 de escape de la combustión es aproximadamente de 300°C. La temperatura interna de la unidad de reacción 172 es ajustada controlando el estado de activación del controlador de flujo másico 177 y regulando el caudal del escape de la combustión suministrado a la entrada de escape de la combustión 175. El escape de la combustión conducido a la  
45  
50  
55  
60  
65

entrada 175 de escape de la combustión de utiliza para calentar la unidad de reacción 172 y a continuación es descargada desde el sistema de células de combustible.

5 En la unidad de reacción 171 del lado superior de la corriente de la unidad de reforma 170 de esta realización, la cantidad de calor producido por la reacción de oxidación compensa la cantidad de calor requerido para la reacción de reforma por vapor que tiene lugar en la unidad de reacción 171. En la unidad de reacción 172 en el lado inferior de la corriente, por otra parte, el calor requerido para la reacción de reforma por vapor que procede de la unidad de reacción 172 es alimentado tanto por el calor producido por la reacción de oxidación que tiene lugar en el lado superior de la corriente como por el calor incluido en el escape de la combustión conducido a la entrada 175 del escape de la combustión. En el sistema de células de combustible incluyendo la unidad de reforma 170 de esta realización, la unidad de control 50 controla la cantidad de activación del compresor 38 que recibe el aire a suministrar a la unidad de reforma 170 basándose en los resultados de la medición con el sensor de temperatura 173 y regula el caudal de aire suministrado a la unidad de reforma 170 para que la temperatura interna de la unidad de reacción 171 no sea superior a 300°C. En el sistema de células de combustible de esta realización, la unidad de control 50 controla también la cantidad de activación del controlador de flujo másico 177 basándose en los resultados de la medición con el sensor de temperatura 174 y regula el caudal del escape de la combustión introducido en la entrada 175 del escape de la combustión para hacer que la temperatura interna de la unidad de reacción 172 no sea inferior a 250°C.

20 En la unidad de reforma 170 de la décima realización construida de este modo, la unidad de reacción 172 en el lado inferior de la corriente es calentada con el escape de la combustión. Como consecuencia, no es necesario que la cantidad de calor producido por la reacción de oxidación compense la totalidad de calor requerido por la reacción de reforma por vapor que tiene lugar en la unidad de reforma 170. Es decir, esta disposición reduce el caudal de aire suministrado a la unidad de reforma 170 y sometido a la reacción de oxidación, suprimiendo, por lo tanto, el avance de la reacción de oxidación que tiene lugar en el lado superior de la corriente. El caudal de aire suministrado a la unidad de reforma 170 es regulado basándose en la temperatura interna observada de la unidad de reacción 171. Esta disposición impide de manera efectiva un aumento excesivo de la temperatura en la unidad de reacción 171 en la que la reacción de oxidación tiene lugar de forma vigorosa.

30 En la unidad de reforma 170, el calor interno del escape de la combustión conducido a la entrada 175 del escape de la combustión se transmite a la unidad de reacción 172 en el lado inferior de la corriente. A diferencia de la unidad de reforma de la técnica anterior, no existe, de modo consiguiente, disminución significativa de la temperatura en el lado inferior de la corriente. El conjunto de la unidad de reacción en la unidad de reforma 170 se mantiene, por lo tanto, en estado altamente activo de la reacción de reforma por vapor. Esto incrementa la velocidad de la reacción de reforma por vapor. El calor del escape de la combustión que es desperdiciado en la estructura de la técnica anterior, es utilizado para calentar la unidad de reacción 172. De acuerdo con ello, esta disposición no reduce el rendimiento energético para calentar la unidad de reacción 172.

40 La figura 31 es un gráfico que muestra las distribuciones de temperatura interna desde el lado superior de la corriente que recibe el suministro de gas combustible en bruto que contiene el aire al lado inferior de la corriente con respecto a la unidad de reforma 170 descrita anteriormente y a una unidad de reforma de la técnica anterior, en la que la cantidad de calor producida por la reacción de oxidación compensa la totalidad de la cantidad de calor requerido para la reacción de reforma por vapor. A diferencia de la unidad de reforma de la técnica anterior, en la unidad de reforma 170 no hay un aumento excesivo de la temperatura en el lado superior de la corriente, por acción del calor producido por la reacción de oxidación. Tampoco existe una disminución significativa de la temperatura en el lado inferior de la corriente. La temperatura interna de la unidad de reforma se mantiene por lo tanto favorablemente dentro del rango de temperatura de 250 a 300°C. Tal como se ha descrito en lo anterior, en la unidad de reforma 170 de esta realización, no hay un aumento brusco de temperatura en las proximidades de la entrada. Esto impide de manera ventajosa los problemas potenciales debidos al aumento de la temperatura, por ejemplo, deterioro del catalizador y formación de subproductos. Igual que en las realizaciones explicadas anteriormente, esta realización mejora significativamente la duración de la unidad de reforma.

55 La unidad de reforma 170 de la décima realización explicada anteriormente, comprende las dos unidades de reacción 171 y 172 compuestas por las estructuras de panal de abejas. La unidad de reforma puede estar llena de pastillas con el catalizador colocado sobre las mismas, en vez de la estructura de panal de abejas. En este caso, la unidad de reforma puede no estar dividida en dos secciones sino que puede ser llenada de manera uniforme con las pastillas.

60 Cualesquiera gases calientes distintos de los del escape de la combustión descargado del evaporador 32 pueden ser utilizados alternativamente para calentar la parte inferior de corriente. Por ejemplo, en el sistema de células de combustible que comprenden la unidad de reforma 170 de esta realización, en el caso en el que la fuente de calor que suministra calor requerido para el evaporador 32 es distinta de la fuente de activación del compresor 28 que suministra aire comprimido a los cátodos de las células de combustible 40, el gas caliente utilizado para calentar la parte inferior de la corriente puede ser el escape gaseoso descargado de cualquiera de las fuentes de calor y la fuente de activación. El gas descargado de otro componente de alta temperatura del sistema de células de combustible puede ser utilizado de manera alternativa siempre que el gas tenga energía utilizable para mantener la

temperatura interna de la unidad de reforma en el rango de temperatura de 250 a 300°C. En vez de utilizar los gases de escape calientes descargados del componente de alta temperatura, otra estructura disponible hace circular un fluido específico entre el componente a alta temperatura y la unidad de reforma y suministra la energía térmica del componente a alta temperatura a la unidad de reforma por medio del fluido que se hace circular.

5 La estructura de suministro de parte del combustible en bruto en forma líquida a los lados superiores de la corriente de la unidad de reacción se describe a continuación como undécima realización de acuerdo con la invención. La figura 32 muestra esquemáticamente la estructura de una unidad de reforma 180 de la undécima realización. La unidad de reforma 180 de la undécima realización queda incluida en el sistema de células de combustible que tienen una estructura similar a las células de combustible del sistema 20 de la figura 1. La unidad de reforma 180 tiene una  
10 unidad única de reacción 181 con estructura de panal de abejas con un catalizador de Cu-Zn soportado sobre su superficie. La unidad de reforma 180 se conecta con el segundo conducto 64 de suministro de combustible para recibir del suministro del gas combustible en bruto y adicionalmente recibe el suministro de una solución mixta de metanol y agua (a la que se hace referencia como combustible líquido en bruto). El combustible líquido en bruto es  
15 conducido al evaporador 32 con intermedio del conducto 63 de suministro de combustible, tal como se ha descrito anteriormente. El primer conducto 63 de suministro de combustible se ramifica a una ruta de combustible en bruto 182 para suministrar combustible líquido en bruto a la unidad de reforma 180. En la estructura de esta realización el conducto 39 de suministro de aire no se une al segundo conducto 64 de suministro de combustible sino que se une con la ruta ramificada de combustible en bruto 182 formando un conducto de combustible en bruto 183. El conducto  
20 183 de combustible en bruto está conectado al extremo superior de la corriente de la unidad de reforma 180 para suministrar el combustible líquido en bruto mezclado con el aire a la unidad de reforma 180.

Los controladores de flujo másico 184 y 185 están dispuestos respectivamente en el conducto 39 de suministro de  
25 aire y la ramificación de combustible en bruto 182 para regular el caudal del aire y la cantidad de combustible líquido en bruto suministrado a la unidad de reforma 180. Estos controladores de flujo másico 184 y 185 son conectados al controlador 50, que controla las cantidades de activación de los mismos. Una tobera de inyección 187 formada como estructura extrema del conducto 183 de combustible en bruto está situada en las proximidades del extremo superior de la corriente de la unidad de reacción 181 de la unidad de reforma 180. El combustible líquido en bruto mezclado  
30 con el aire es pulverizado desde esta tobera de inyección 187 hacia el extremo de la unidad de reacción 181 utilizando la presión de aire y es alimentado en una amplia área de la sección transversal en el extremo de la unidad de reacción 181. La tobera de inyección 187 puede no estar formada como tobera sino que puede tener cualquier forma que permita la pulverización del líquido sobre una amplia área. En la unidad de reforma 180, un sensor de temperatura 186 está dispuesto en las proximidades del extremo superior de la corriente de la unidad de reacción 181. El sensor de temperatura 186 está conectado a la unidad de control 50. Se introduce información referente a la  
35 temperatura en el lado superior de la corriente de la unidad de reacción 181 en la unidad de control 50.

Tal como se ha descrito anteriormente, cuando los suministros de gas combustible en bruto y de aire son facilitados a la unidad de reforma, la reacción de oxidación tiene lugar de manera vigorosa elevando la temperatura en el lado superior de la corriente en el que la concentración de oxígeno es elevada. En la estructura de esta realización, por  
40 otra parte, el combustible líquido en bruto es pulverizado hacia el extremo superior de la corriente de la unidad de reacción 181 a efectos de regular la temperatura en el lado superior de la corriente. El combustible líquido en bruto pulverizado a la unidad de reacción 181, que ha sido calentado a elevada temperatura, elimina el calor de la unidad de reacción 181 y se calienta y vaporiza. La temperatura en el lado superior de la corriente de la unidad de reacción 181 es controlada, de forma consiguiente, a un valor no más elevado que un nivel predeterminado regulando el  
45 suministro de combustible líquido en bruto.

En el proceso de producción del combustible gaseoso rico en hidrógeno en la unidad de reforma 180 de esta disposición, el suministro de combustible líquido en bruto a la unidad de reforma 180 y su cantidad son controlados en base a la temperatura interna de la unidad de reacción 181 medida por el sensor de temperatura 186. La cantidad  
50 total de metanol suministrada a la unidad de reforma 180 depende de la magnitud de la carga conectada a las células de combustible 40, es decir, la cantidad de combustible gaseoso a suministrar a las células de combustible 40. La cantidad de metanol conducido por el primer conducto 63 de suministro de combustible y suministrado a la unidad de reforma 180 en forma líquida, es regulada en base a los resultados de la medición con el sensor de temperatura 186. De acuerdo con un proceso concreto, cuando la temperatura de la unidad de reacción 181 supera un nivel predeterminado (300°C en esta realización), el combustible líquido en bruto es pulverizado desde la tobera de inyección 187. La cantidad de combustible líquido en bruto pulverizada desde la tobera de inyección 187 es regulada para hacer que la temperatura de la unidad de reacción 181 no sea superior al nivel predeterminado. Mientras la temperatura de la unidad de reacción 181 no es superior al nivel predeterminado, solamente el aire se  
55 pulveriza desde la tobera de inyección 187.

60 En la unidad de reforma 180 de la undécima realización construida de este modo, el líquido es pulverizado y vaporizado dentro de la unidad de reforma 180, a efectos de enfriar el lado superior de la corriente de la unidad de reacción 181. Esta disposición impide de manera efectiva un aumento excesivo de temperatura en el lado superior de la corriente en la unidad de reacción 181 por acción del calor producido por la reacción de oxidación. El líquido  
65 pulverizado en la unidad de reforma 180 para enfriar la parte superior de la corriente de la unidad de reacción 181 es el combustible líquido en bruto que sufre la reacción de reforma y la reacción de oxidación que tiene lugar en la

unidad de reforma 180. Como consecuencia, la inyección del líquido no acepta las reacciones que tienen lugar en la unidad de reforma 180.

5 La figura 33 es un gráfico que muestra las distribuciones de temperatura interna desde el lado superior de la corriente que recibe el suministro de gas combustible en bruto que contiene el aire al lado inferior de la corriente con respecto a la unidad de reforma 180 descrita anteriormente y una unidad de reforma de la técnica anterior en la que la totalidad de la cantidad de metanol requerido para producir la cantidad deseada de combustible gaseoso es suministrada mediante el evaporador 32. A diferencia de la unidad de reforma de la técnica anterior, en la unidad de reforma 180 no hay un aumento excesivo de la temperatura en el lado superior de la corriente por la acción del calor producido por la reacción de oxidación. La temperatura interna de la unidad de reforma se mantiene, por lo tanto, favorablemente dentro del rango de temperatura de 250 a 300°C. Tal como se ha descrito en lo anterior, en la unidad de reforma 180 de esta realización no hay un aumento brusco de temperatura en las proximidades de la entrada. Esto impide de manera ventajosa los problemas potenciales debidos al aumento de temperatura, por ejemplo, el deterioro del catalizador y la formación de subproductos. Igual que en las realizaciones explicadas anteriormente, esta disposición mejora significativamente la duración de la unidad de reforma.

Si bien la temperatura en el lado superior de la corriente de la unidad de reforma 180 aumenta excesivamente y se pulveriza una cantidad creciente de combustible líquido en bruto desde la tobera de inyección 187, una disminución de la potencia eléctrica requerida para la carga conectada a las células de combustible 40 puede provocar que el metanol suministrado a la unidad de reforma 180 se encuentre en exceso y produzca el combustible gaseoso por encima de la cantidad requerida. En el sistema de células de combustible que incluye la unidad de reforma 180 de esta realización, el escape de combustible gaseoso descargado desde las células de combustible 40 es utilizado como combustible para la combustión en el quemador 26. Esto no disminuye, por lo tanto, el rendimiento total de energía del sistema incluso en los casos mencionados.

En la unidad de reforma 180 de esta realización, la solución mixta de metanol y agua es pulverizada desde la tobera de inyección 187 para enfriar la parte superior de la corriente de la unidad de reacción 181. Solamente se pueden pulverizar metanol o agua. En este caso, existe una ruta de ramificación del conducto 60 de metanol o del conducto 62 de agua en vez del primer conducto 63 de alimentación de combustible. Se introduce metanol o agua por esta ruta ramificada y es pulverizado desde una tobera igual a la tobera de inyección 187. Esta disposición posibilita también que el líquido pulverizado elimine el calor para la vaporización en el lado superior de la corriente de la unidad de reacción 181 y, por lo tanto, ejerce efectos similares a los de la unidad de reforma 180 de la undécima realización explicada anteriormente.

A continuación se describe una duodécima realización, en la que una unidad de reacción en la que tienen lugar tanto la reacción de reforma por vapor como la reacción de oxidación, está dispuesta en forma adyacente a una unidad de reacción en la que tiene lugar solamente la reacción de reforma por vapor para permitir intercambio calorífico entre ambas e impedir de esta manera un aumento excesivo de la temperatura por el calor producido por la reacción de oxidación. La figura 34 muestra esquemáticamente la estructura de la unidad de reforma 190 en la duodécima realización. La unidad de reforma 190 de la duodécima realización queda incluida en un sistema de células de combustible que tienen una estructura similar al sistema 20 de células de combustible que se ha mostrado en la figura 1. La unidad de reforma 190 está constituida con una forma sustancialmente cilíndrica y tiene tres unidades de reacción 191, 192, y 193 constituidas por las estructuras de panel de abejas. La unidad de reacción 193 está constituida a lo largo de la pared interior de la unidad de reforma 190 y las unidades de reacción 191 y 192 están formadas dentro de la unidad de reacción 193. La unidad de reacción 191 está situada en el lado superior de la corriente y la unidad de reacción 192 está situada en el lado inferior de la misma. Existe un cierto espacio 200 constituido entre ambas.

En la unidad de reforma 190 todas las unidades de reacción 191, 192, y 193 tienen el catalizador Cu-Zn dispuesto sobre la superficie de las mismas. La unidad de reacción 193 se conecta con el segundo conducto 64 de suministro de combustible para recibir el suministro de gas combustible en bruto, sin recibir suministro de aire. Solamente la reacción de reforma por vapor tiene lugar en la unidad de reacción 193. El segundo conducto 64 de suministro de combustible se conecta con la unidad de reacción 191 y también con la unidad de reacción 193. El gas combustible en bruto suministrado a la unidad de reacción 191 pasa por el interior de la unidad de reacción 191 y la unidad de reacción 192 en esta secuencia. El conducto de suministro de aire 39 se ramifica en las rutas ramificadas 194 y 195 que están respectivamente conectadas a las partes superiores de la corriente de la unidad de reacción 191 y de la unidad de reacción 192. El aire se hace pasar por esta ruta de ramificación 194 y 195 y es alimentado a las unidades de reacción respectivas. Tanto la reacción de reforma por vapor como la reacción de oxidación tienen lugar de modo consiguiente en la unidad de reacción 191 y en la unidad de reacción 192. Tanto el gas rico en hidrógeno producido por medio de la reacción de reforma por vapor como la reacción de oxidación en las unidades de reacción 191 y 192 y el gas rico en hidrógeno producido mediante la reacción de reforma por vapor en la unidad de reacción 193 son enviados al tercer conducto 65 de suministro de combustible y conducida a la unidad de reducción de CO 36.

Los controladores de flujo másico 196 y 197 están respectivamente dispuestos en las rutas de ramificación de aire 194 y 195 que se ramifican del conducto 39 del suministro de aire para regular los caudales de aire suministrados a las unidades de reacción 191 y 192. Estos controladores de flujo másico 196 y 197 están conectados a la unidad de

control 50 que regula los caudales de aire suministrados a las respectivas unidades de reacción. Los sensores de temperatura 198 y 199 están dispuestos en las respectivas partes superiores de las unidades de reacción 191 y 192 para medir las temperaturas internas de las respectivas unidades de reacción. Estos sensores de temperatura 198 y 199 están conectados a la unidad de control 50. La unidad de control 50 regula los caudales de aire suministrados a las correspondientes unidades de reacción basándose en los resultados de los datos de medición de los respectivos sensores de temperatura.

En las unidades de reacción 191 y 192 de la unidad de reforma 190 de esta realización, la cantidad de calor producido por la reacción de oxidación que tiene lugar en su interior compensa la cantidad de calor retenida para la reacción de reforma por vapor que también tiene lugar en su interior. En la unidad de reacción circunferencial 193, por otra parte, el calor requerido para la reacción de reforma por vapor que tiene lugar en la misma es suministrado por el calor producido por la reacción de oxidación que tiene lugar en las unidades de reacción internas adyacentes 191 y 192 (ver flechas de trazos de la figura 34). En el sistema de células de combustible que incluyen la unidad de reforma 190 de esta realización, la unidad de control 50 controla las cantidades de oxidación de los controladores de flujo másico 196 y 197 que regulan los caudales de aire suministrados a la unidades de reacción 191 y 192 basándose en los resultados de las mediciones con los sensores de temperatura 198 y 199 y de esta manera regula los caudales de aire para mantener las temperaturas internas de las unidades de reacción 191 y 192 en valores no superiores a 300°C.

En la unidad de reforma 190 de la duodécima realización construida de este modo, el calor producido por la reacción de oxidación que tiene lugar en las unidades de reacción 191 y 192 es consumido también en la unidad de reacción 193 en la que tiene lugar solamente la reacción endotérmica. Esta disposición impide que finalmente un aumento excesivo de la temperatura en las partes superiores de la corriente de las unidades de reacción 191 y 192 en las que tiene lugar de manera vigorosa la reacción de oxidación. Los caudales de aire suministrados en las unidades de reacción 191 y 192 son regulados basándose en las temperaturas internas de las respectivas unidades de reacción. La temperatura interna de cada una de las unidades de reacción se mantiene de este modo en un valor no superior al nivel predeterminado.

En la unidad de reforma 190 de esta realización, el flujo de aire es suministrado separadamente a las unidades de reacción 191 y 192. Esta disposición posibilita que tenga lugar la reacción de oxidación exotérmica en la unidad de reacción 192 que está situada en el lado de debajo de la unidad de reacción 191. A diferencia de la unidad de reforma de la técnica anterior, no existe, por consiguiente, descenso significativo de la temperatura en el lado inferior de la corriente. La unidad de reacción en su conjunto de la unidad de reforma 190 es mantenida, por lo tanto, en estado altamente activado de la reacción de reforma por vapor. Esto aumenta la velocidad de reacción de la reforma por vapor.

La figura 35 es un gráfico que muestra las distribuciones de temperatura interna del lado superior de la corriente que recibe el suministro de gas combustible en bruto al lado de la corriente inferior con respecto a la unidad de reforma 190 descrita anteriormente y una unidad de reforma de la técnica anterior que incluye solamente una unidad de reacción en la que tiene lugar tanto la reacción de reforma por vapor como la reacción de oxidación. A diferencia de la unidad de reforma de la técnica anterior, en la unidad de reforma 190 no hay un aumento excesivo de temperatura en el lado superior de la corriente por el calor producido por la reacción de oxidación. Tampoco existe un deceso significativo de temperatura en el lado inferior de la corriente. La temperatura interna de la unidad de reforma se mantiene, por lo tanto, favorablemente dentro de la gama de temperatura de 250 a 300°C. Tal como se ha descrito en lo anterior, la unidad de reforma 190 de esta realización no hay un aumento brusco de temperatura en las proximidades de la entrada. Esto impide de manera ventajosa los problemas potenciales debidos al aumento de temperatura, por ejemplo, deterioro del catalizador y formación de subproductos. Tal como en las realizaciones que se han explicado anteriormente, esta disposición mejora significativamente la duración de la unidad de reforma.

En la unidad de reforma 190 de la duodécima realización explicada anteriormente, el flujo de aire es suministrado separadamente a las unidades de reacción internas 191 y 192 en las que tienen lugar tanto la reacción de reforma por vapor como la reacción de oxidación. Esto impide de manera efectiva un descenso significativo de la temperatura en el lado inferior de la corriente. La disposición modificada de suministro de aire solamente al lado superior de la corriente tiene un cierto efecto de prevención de una elevación excesiva de temperatura en el lado superior de la corriente.

La unidad de reforma 190 de la duodécima realización tiene la estructura tubular doble incluyendo las unidades de reacción internas en las que tiene lugar tanto la reacción de reforma por vapor como la reacción de oxidación y la unidad de reacción circunferencial en la que tiene lugar solamente la reacción de reforma por vapor. A continuación se describe una estructura de apilamiento en la que estas dos unidades de reacción diferentes están alternativamente dispuestas una encima de la otra como ejemplo modificado de la duodécima realización. La figura 36 muestra esquemáticamente la estructura de la unidad de reforma 190A en el ejemplo modificado de la duodécima realización. Igual que en la unidad de reforma 190, la unidad de reforma 190A está incluida en el sistema de células de combustible que tiene una estructura similar a la del sistema 20 de células de combustible mostrado en la figura 1. En la siguiente descripción, los componentes idénticos a los de la unidad de reforma 190 se han indicado con iguales numerales con el sufijo A.

La unidad de reforma 190A comprende una serie de unidades de reacción planas 191A y 193A, que están colocadas de manera alternada una encima de otra. Estas unidades de reacción 191A y 193A están compuestas por estructuras de panal de abejas con el catalizador Cu-Zn dispuesto sobre su superficie. El suministro del gas combustible en bruto conducido por el segundo conducto 64 de suministro de combustible es alimentado a cada una de las unidades de reacción. El conducto de suministro de aire 39 se ramifica para conectarse con las respectivas partes superiores de la corriente de las unidades de reacción 191A y suministro de flujo de aire a las respectivas unidades de reacción 191A. El caudal de aire suministrado a la serie de unidades de reacción 191A es regulada por el controlador de flujo másico 196A dispuesto en el conducto 39 de suministro de aire. De la misma manera que se ha explicado en la duodécima realización, la regulación se basa en los resultados de las mediciones con sensores de temperatura (no mostrados) situados en las partes superiores de la corriente de las respectivas unidades de reacción 191A.

En la unidad de reforma 190A del ejemplo modificado de la duodécima realización construida de este modo, igual que en la unidad de reforma 190 de la duodécima realización, el calor generado por la reacción de oxidación es consumido por la reacción de reforma por vapor que tiene lugar en la unidad de reacción adyacente. Esta disposición impide de manera efectiva un aumento excesivo de temperatura en el lado superior de la corriente en el que tiene lugar vigorosamente la reacción de oxidación. Igual que la unidad de reforma 190, esto impide problemas potenciales, por ejemplo, deterioro del catalizador y formación de subproductos y mejora significativamente la duración de la unidad de reforma.

A continuación se describe una unidad de reforma 190B que tiene una estructura multitubular como segundo ejemplo modificado de la duodécima realización. La figura 37 es una vista en sección que muestra esquemáticamente la estructura de la unidad de reforma 190B en el segundo ejemplo modificado de la duodécima realización. La figura 37(A) es una vista vertical en sección de la unidad de reforma 190B y la figura 37(B) es una vista en sección, según la línea de corte B-B de la figura 37(A). Igual que la unidad de reforma 190, la unidad de reforma 190B está incluida en un sistema de células de combustible que tiene una estructura similar a la del sistema 20 de células de combustible que se ha mostrado en la figura 1. En la siguiente descripción, los componentes idénticos a los de la unidad de reforma 190 se han indicado con iguales numerales con un sufijo B.

La unidad de reforma 190B está constituida en una forma sustancialmente cilíndrica y comprende unidades de reacción 191B y una unidad de reacción 193B. Cada una de las unidades de reacción 191B tiene forma sustancialmente cilíndrica de pequeño diámetro en su cara inferior. Se incluyen siete unidades de reacción 191B en la unidad de reforma 190B. El espacio restante en la unidad de reforma 190B distinto al ocupado por las unidades de reacción 191B es ocupado por la unidad de reacción 193B. Las unidades de reacción 191B y 193B están compuestas por estructuras de panal de abejas con el catalizador Cu-Zn dispuesto en su superficie. El suministro del gas combustible en bruto conducido por el segundo conducto de suministro de combustible 64 es alimentado a cada una de las unidades de reacción. El conducto 39 de suministro de aire se ramifica para conectarse con las respectivas partes superiores de las unidades de reacción 191B y suministrar el flujo de aire a las respectivas unidades de reacción 191B. El caudal de aire suministrado a la serie de unidades de reacción 191B está regulado por un controlador de flujo másico 196B dispuesto en el conducto de suministro de aire 39. De la misma manera que se ha explicado en la duodécima realización, la regulación se basa en los resultados de las mediciones con sensores de temperatura (no mostrados) situados en las partes superiores de la corriente de las respectivas unidades de reacción 191B.

En la unidad de reforma 190B del ejemplo modificado de la duodécima realización construida de este modo, igual que en la unidad de reforma 190 de la duodécima realización, el calor generado por la reacción de oxidación es consumido por la reacción de reforma por vapor que tiene lugar en la unidad de reacción adyacente. Esta disposición impide de manera efectiva un excesivo aumento de temperatura en el lado de arriba de la corriente en el que tiene lugar de modo vigoroso la reacción de oxidación. Igual que en la unidad de reforma 190, esto impide problemas potenciales, por ejemplo, deterioro del catalizador y formación de subproductos, y mejora significativamente la duración de la unidad de reforma.

En las unidades de reforma 190, 190A, y 190B descritas anteriormente, las reacciones de oxidación tienen lugar solamente en las unidades de reacción seleccionadas. Si bien se requiere una cantidad de calor fija para la reacción de reforma por vapor que tiene lugar en la unidad de reforma, la reducción del área de la reacción de oxidación vigorosa provoca que la cantidad de catalizador sea insuficiente con respecto a la cantidad de suministro de oxígeno. Esto reduce la velocidad de la reacción de oxidación que tiene lugar en el área que recibe el suministro de oxígeno. Esta disposición amplía el área de la reacción de oxidación vigorosa a la parte inferior de la corriente e impide de manera efectiva un descenso significativo de la temperatura en la parte inferior de la corriente de la unidad de reforma.

En las unidades de reforma 190A y 190B de los ejemplos modificados de la duodécima realización explicada anteriormente, igual que en la unidad de reforma 190, el caudal de aire puede ser suministrado no solamente al área superior de la corriente sino también a un área intermedia de la unidad de reforma. Esta disposición impide de manera más efectiva un descenso significativo de la temperatura en la parte inferior de la corriente de la unidad de reforma. Las unidades de reforma 190, 190A, y 190B tienen las unidades de reacción de las estructuras de panal de

abejas. En una estructura modificada, la unidad de reforma puede ser llenada con pastillas que llevan el catalizador sobre las mismas. En esta estructura modificada, la disposición de la unidad de reacción en la que tiene lugar tanto la reacción de reforma por vapor como la reacción de oxidación, en disposición adyacente a la unidad de reacción en la que tiene lugar solamente la reacción de reforma por vapor, impide de manera efectiva un aumento excesivo de temperatura en la parte superior de la corriente de la unidad de reacción.

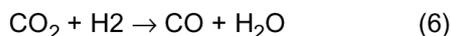
En todas las realizaciones desde la primera a la duodécima que se han explicado, las respectivas unidades de reforma utilizan catalizador Cu-Zn. Este catalizador único acelera tanto la reacción de reforma por vapor expresada por la ecuación (4) como la reacción de oxidación expresada por la ecuación (5). Cualquier catalizador que acelera tanto la reacción de reforma por vapor como la reacción de oxidación (por ejemplo, catalizador Pd-Zn) se puede utilizar en vez de catalizador Cu-Zn. La presencia de este catalizador en cualquiera de las unidades de reforma de dichas realizaciones asegura el efecto similar de prevenir un aumento excesivo de la temperatura en un área parcial de la unidad de reforma.

En las realizaciones anteriores, el catalizador único es utilizado para acelerar tanto la reacción de reforma por vapor como la reacción de oxidación. No obstante, en cualquiera de las reacciones anteriores se pueden utilizar diferentes catalizadores para acelerar respectivamente la reacción de reforma por vapor y la reacción de oxidación. Otro catalizador para acelerar la reacción de oxidación puede ser utilizado además del catalizador Cu-Zn. En el caso de utilizar una serie de catalizadores distintos, siempre que éstos estén bien mezclados en la unidad de reforma para asegurar el avance de la reacción de oxidación expresada por la ecuación (5) y la reacción de reforma por vapor expresada por la ecuación (4) con una eficiencia suficiente en un área específica reciben el suministro de oxígeno, la aplicación de esos catalizadores en las estructuras de las realizaciones respectivas asegura el efecto similar de impedir un aumento excesivo de la temperatura en un área parcial de la unidad de reforma. Ejemplos disponibles de otros catalizadores para acelerar la reacción de oxidación incluyen metales tales como paladio, platino, níquel, rodio, cromo, tungsteno, renio, oro, plata, y hierro, así como aleaciones de estos metales y otros metales.

En las realizaciones explicadas anteriormente, se utiliza metanol como combustible en bruto. Otro hidrocarburo podría ser utilizado alternativamente como combustible en bruto que es sometido a reacción de reforma por vapor y a la reacción de oxidación. En el caso en que se seleccione un combustible en bruto distinto del metanol, la unidad de reforma comprende el catalizador adecuado para el combustible en bruto seleccionado en cualquiera de las estructuras de las reacciones anteriores. Esta realización asegura también el efecto similar de impedir un excesivo aumento de temperatura en un área parcial de la unidad de reforma.

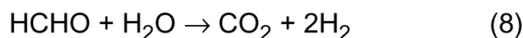
El catalizador Cu-Zn incluido en cualquiera de las unidades de reforma de las realizaciones primera a décima, la undécima realización según la invención y la duodécima realización explicada anteriormente, es un catalizador conocido que acelera la reacción de reforma del metanol por vapor. Tal como se ha descrito previamente, el catalizador Cu-Zn se deteriora a alta temperatura por encima de 300°C. El catalizador Cu-Zn no es utilizable, por lo tanto, como catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor cuando se aplica como combustible en bruto un hidrocarburo que tiene una temperatura de reacción elevada de la reacción de reforma por vapor. El catalizador Cu-Zn, no obstante, funciona favorablemente como catalizador de aceleración de la reacción de reforma por vapor cuando se aplica al combustible en bruto metanol que tiene una temperatura de reacción más baja de la reacción de reforma por vapor que los otros hidrocarburos. La técnica de utilización del catalizador Cu-Zn como catalizador de oxidación en general no es conocida por los técnicos en la materia. El catalizador Cu-Zn se oxida fácilmente (el cobre se oxida deteriorándose). En presencia de oxígeno, el catalizador Cu-Zn es oxidado inmediatamente perdiendo su actividad catalítica y por lo tanto no es en general aplicable como catalizador de oxidación. En el caso de utilizar catalizador Cu-Zn en presencia de metanol, no obstante, el metanol se oxida antes que el cobre a causa de la diferencia de energía libre para oxidación. El propio catalizador de Cu-Zn, como consecuencia, no se oxida así que funciona de manera efectiva acelerando tanto la reacción de reforma por vapor como la reacción de oxidación.

La utilización de un catalizador único de Cu-Zn acelera tanto la reacción de reforma por vapor como la reacción de oxidación y simplifica ventajosamente la estructura de la unidad de reforma. La utilización del catalizador Cu-Zn para acelerar la reacción de oxidación del metanol asegura el efecto adicional de reducir la concentración de monóxido de carbono incluido en el combustible gaseoso rico en hidrógeno producido por la unidad de reforma. A continuación se describe el monóxido de carbono producido en la unidad de reforma. El catalizador Cu-Zn tiene la actividad de promover ligeramente la reacción de la ecuación (6) que se indica a continuación en presencia de dióxido de carbono e hidrógeno:

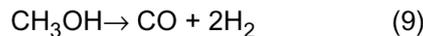


Cuando el catalizador Cu-Zn acelera la reacción de reforma por vapor del metanol solo o simultáneamente con la reacción de oxidación de metanol, se produce hidrógeno y dióxido de carbono, tal como se ha indicado anteriormente. Con el aumento de cantidades de hidrógeno y dióxido de carbono producidos de este modo, la reacción de la ecuación (6) tiene lugar ligeramente produciendo monóxido de carbono. El combustible gaseoso producido por la unidad de reforma contiene, por lo tanto, una cierta cantidad de monóxido de carbono.

Utilizando el catalizador de Cu-Zn para reformar metanol se acompaña la producción de una cierta cantidad de monóxido de carbono. Tal como se ha explicado en las realizaciones anteriores, en el caso en el que se utiliza el catalizador Cu-Zn para acelerar la reacción de oxidación de metanol simultáneamente con la reacción de reforma por vapor, no se produce sustancialmente monóxido de carbono mediante esta reacción de oxidación. Esto impide de manera efectiva el incremento de concentración de monóxido de carbono incluido en el combustible gaseoso. La reacción de oxidación del metanol acelerada por la presencia del catalizador Cu-Zn se expresa en la ecuación (5) facilitada anteriormente. La reacción consiste principalmente en las reacciones expresadas por las ecuaciones (7) y (8) que se facilitan a continuación. La reacción de la ecuación (5) tiene lugar como conjunto:



Tal como se ha mostrado por las ecuaciones (7) y (8), la reacción de oxidación de metanol acelerada en presencia del catalizador de Cu-Zn tiene lugar principalmente mediante una ruta de reacción que no produce monóxido de carbono. La reacción de oxidación acelerada en presencia de un catalizador de oxidación conocido convencionalmente, por ejemplo, el catalizador de platino, por otra parte, consiste principalmente en las reacciones expresadas en las ecuaciones (9) y (10) que se indican a continuación. La reacción de la ecuación (5) tiene lugar en su conjunto. En este caso se produce monóxido de carbono a lo largo de la reacción. Cuando la reacción de oxidación de metanol es acelerada por un catalizador de oxidación convencionalmente conocido, por ejemplo, el catalizador de platino, una parte del monóxido de carbono producido de esta forma permanece en el combustible gaseoso resultante producido en la unidad de reforma. Esto aumenta la concentración de monóxido de carbono incluido en el combustible gaseoso.



Quando el catalizador Cu-Zn es utilizado para acelerar tanto la reacción de reforma por vapor como la reacción de oxidación de metanol que se ha explicado en las realizaciones anteriores, la reacción de oxidación tiene lugar por la ruta de reacción que no produce monóxido de carbono. En comparación con la técnica anterior que utiliza un catalizador de oxidación conocido, tal como platino, para acelerar la reacción de oxidación del metanol y catalizador Cu-Zn para acelerar la reacción de reforma por vapor, esta técnica reduce significativamente la concentración de monóxido de carbono contenido en el combustible gaseoso resultante. En la técnica anterior, que utiliza tanto el catalizador Cu-Zn como un catalizador de oxidación conocido, tal como catalizador de platino, para acelerar respectivamente la reacción de reforma por vapor del metanol y la reacción de oxidación del mismo, una concentración de monóxido de carbono no inferior a 1,5-2% permanece en general en el combustible gaseoso resultante. En la técnica que utiliza solamente catalizador Cu-Zn para acelerar tanto la reacción de reforma por vapor como la reacción de oxidación del metanol, por otra parte, la concentración de monóxido de carbono que permanece en el combustible gaseoso resultante llega a valores bajos del orden de 0,5%.

El monóxido de carbono que permanece en el combustible gaseoso suministrado a las células de combustible es adsorbido por la capa catalítica que contiene platino formada sobre la membrana del electrolito para interferir con el avance de las reacciones electroquímicas. En los sistemas de células de combustible de las realizaciones explicadas anteriormente, la unidad de reducción de CO está dispuesta después de la unidad de reforma para reducir la concentración de monóxido de carbono incluido en el combustible gaseoso suministrado a las células de combustible. La aplicación del catalizador Cu-Zn para acelerar tanto la reacción de oxidación como la reacción de reforma por vapor de metanol y producir el combustible gaseoso que tiene una baja concentración de monóxido de carbono en la unidad de reforma reduce ventajosamente la carga requerida para la unidad de reducción de CO (es decir, la cantidad de monóxido de carbono que se tiene que oxidar en la unidad de reducción de CO). Esta disposición posibilita que el combustible gaseoso tenga una concentración de monóxido de carbono a suministrar a las células de combustible suficientemente baja incluso con la unidad de reducción de CO de pequeñas dimensiones. La unidad de reducción de CO puede ser incluso omitida en el caso en el que el combustible gaseoso producido en la unidad de reforma tiene una concentración suficientemente baja de monóxido de carbono. La disposición y utilización del catalizador Cu-Zn para acelerar tanto la reacción de reforma por vapor como la reacción de oxidación de metanol reduce la concentración de monóxido de carbono comprendida en el combustible gaseoso producido en la unidad de reforma y por esta razón asegura la reducción de dimensiones del sistema conjunto de las células de combustible que comprenden esta unidad de reforma.

5 El catalizador Cu-Zn utilizado en la anterior realización es preparado a partir de óxido de cobre (CuO) y óxido de zinc (ZnO). Otra sustancia puede ser añadida en el proceso de coprecipitación de estos materiales. Por ejemplo, de 2 a 5% de alúmina puede ser añadida en el proceso de coprecipitación de óxido de cobre y óxido de zinc para preparar el catalizador Cu-Zn. Esta composición favorece la resistencia térmica del catalizador de Cu-Zn y mejora la dispersión de cobre y de óxido de zinc del catalizador.

10 En la descripción anterior, el catalizador Cu-Zn, que es preparado a partir de óxido de cobre y de óxido de zinc, es utilizado como catalizador para acelerar tanto la reacción de reforma por vapor como la reacción de oxidación de metanol. Se pueden utilizar de manera alternativa una serie de catalizadores que contienen cobre distintos del catalizador Cu-Zn para acelerar la reacción de reforma por vapor y la reacción de oxidación de metanol y producir un combustible gaseoso que tiene una baja concentración de monóxido de carbono. Por ejemplo, el catalizador para acelerar ambas reacciones se puede obtener a partir de una combinación de óxido de cobre y óxido de cromo (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), una combinación de óxido de cobre y óxido de silicio (SiO<sub>2</sub>), o una combinación de óxido de cobre y un  
15 óxido de otro metal. Estos catalizadores que contienen cobre pueden ser fabricados por cualesquiera métodos adecuados para los materiales, por ejemplo, el método de impregnación, amasado, método intercambio iónico, así como coprecipitación que se ha descrito anteriormente.

#### Aplicabilidad industrial

20 Tal como se ha indicado en lo anterior, un dispositivo de reforma de combustible, según la presente invención, es aplicable en sectores de fabricación y comercialización de células de combustible y también en sectores de fabricación y comercialización de vehículos eléctricos, con dichos células de combustible montadas en los mismos.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Aparato para la reforma de combustible adecuado para llevar a cabo una reacción de reforma por vapor de agua, que es endotérmica y produce hidrógeno a partir de un hidrocarburo y vapor de agua, y una reacción de oxidación, que es exotérmica y oxida el hidrocarburo, utilizándose los productos y el calor generado por la reacción de oxidación para el avance de la reacción de reforma por vapor, comprendiendo dicho dispositivo de reforma de combustible:
- 10 una sección catalítica que comprende un catalizador adecuado para acelerar la reacción de reforma por vapor y la reacción de oxidación;
- una unidad de suministro de gas combustible en bruto para producir el paso de un suministro de gas combustible en bruto que contiene el hidrocarburo y vapor de agua hacia dentro de dicha sección catalítica;
- 15 una unidad de suministro de gas oxidante para obligar al paso de un suministro de un gas oxidante que contiene oxígeno hacia dentro de dicha sección catalítica;
- una unidad de envío de combustible gaseoso que provoca que un combustible gaseoso rico en hidrógeno, que es producido por la reacción de reforma por vapor de agua y la reacción de oxidación que tiene lugar en dicha sección catalítica, sea enviado desde dicha sección catalítica; y
- 20 una unidad de refrigeración final adecuada para pulverizar un líquido que contiene, como mínimo, un hidrocarburo y agua en una zona del lado que recibe el suministro de gas combustible en bruto y el suministro de gas oxidante.
- 25 2. Aparato para la reforma de combustible, según la reivindicación 1, adecuado para llevar a cabo a una reacción de reforma por vapor de agua, en el que el hidrocarburo es metanol y el catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor de agua y la reacción de oxidación es un único catalizador que contiene cobre.
- 30 3. Procedimiento para llevar a cabo una reacción de reforma por vapor en un dispositivo de reforma de combustible, cuya reacción es endotérmica y produce hidrógeno a partir de un hidrocarburo y vapor de agua, en el que una reacción de oxidación, que es exotérmica y oxida el hidrocarburo, se desarrolla y el calor generado por la reacción de oxidación es utilizado para el avance de la reacción de reforma por vapor, comprendiendo dicho dispositivo de reforma de combustible:
- 35 una sección catalítica que comprende un catalizador para acelerar la reacción de reforma de vapor y la reacción de oxidación;
- 40 una unidad de suministro de gas combustible en bruto que hace pasar un suministro de gas combustible en bruto que contiene el hidrocarburo y el vapor de agua hacia dentro de dicha sección catalítica;
- una unidad de suministro de gas oxidante que hace pasar un suministro de un gas oxidante que contiene oxígeno hacia dentro de dicha sección catalítica;
- 45 una unidad de envío de combustible gaseoso que provoca que un combustible gaseoso rico en hidrógeno, que es producido mediante la reacción de reforma por vapor de agua y la reacción de oxidación que tiene lugar en dicha sección catalítica, sea enviado desde dicha sección catalítica; y
- 50 una unidad de refrigeración final que pulveriza un líquido que contiene, como mínimo, uno de hidrocarburo y agua en una zona del lado que recibe el suministro del gas combustible en bruto y el suministro del gas oxidante.
- 55 4. Procedimiento para llevar a cabo una reacción de reforma por vapor de agua, de acuerdo con la reivindicación 3, en el que el hidrocarburo es metanol, y el catalizador para acelerar la reacción de reforma por vapor y la reacción de oxidación es un catalizador único que contiene cobre.

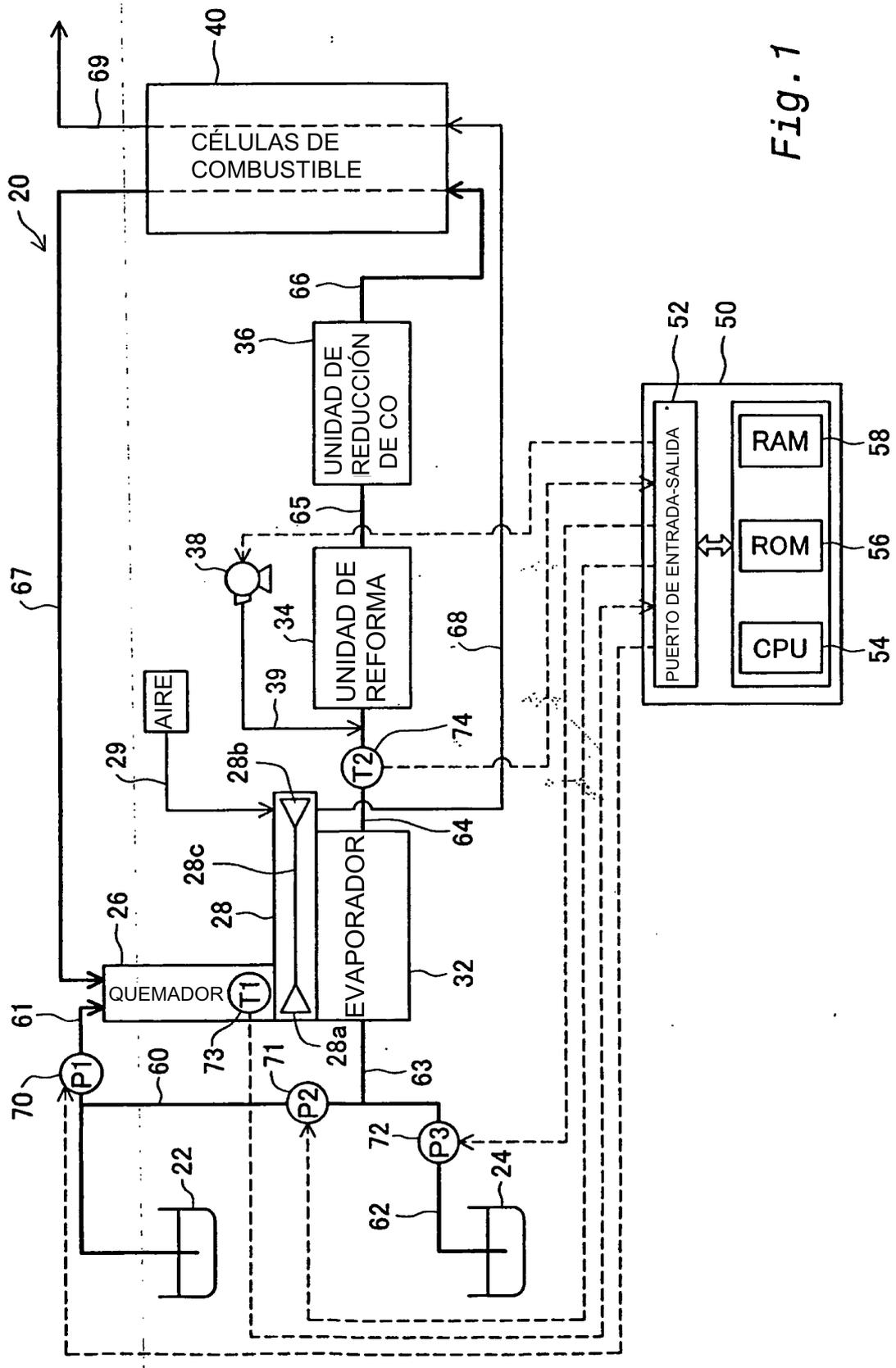


Fig. 1

Fig. 2

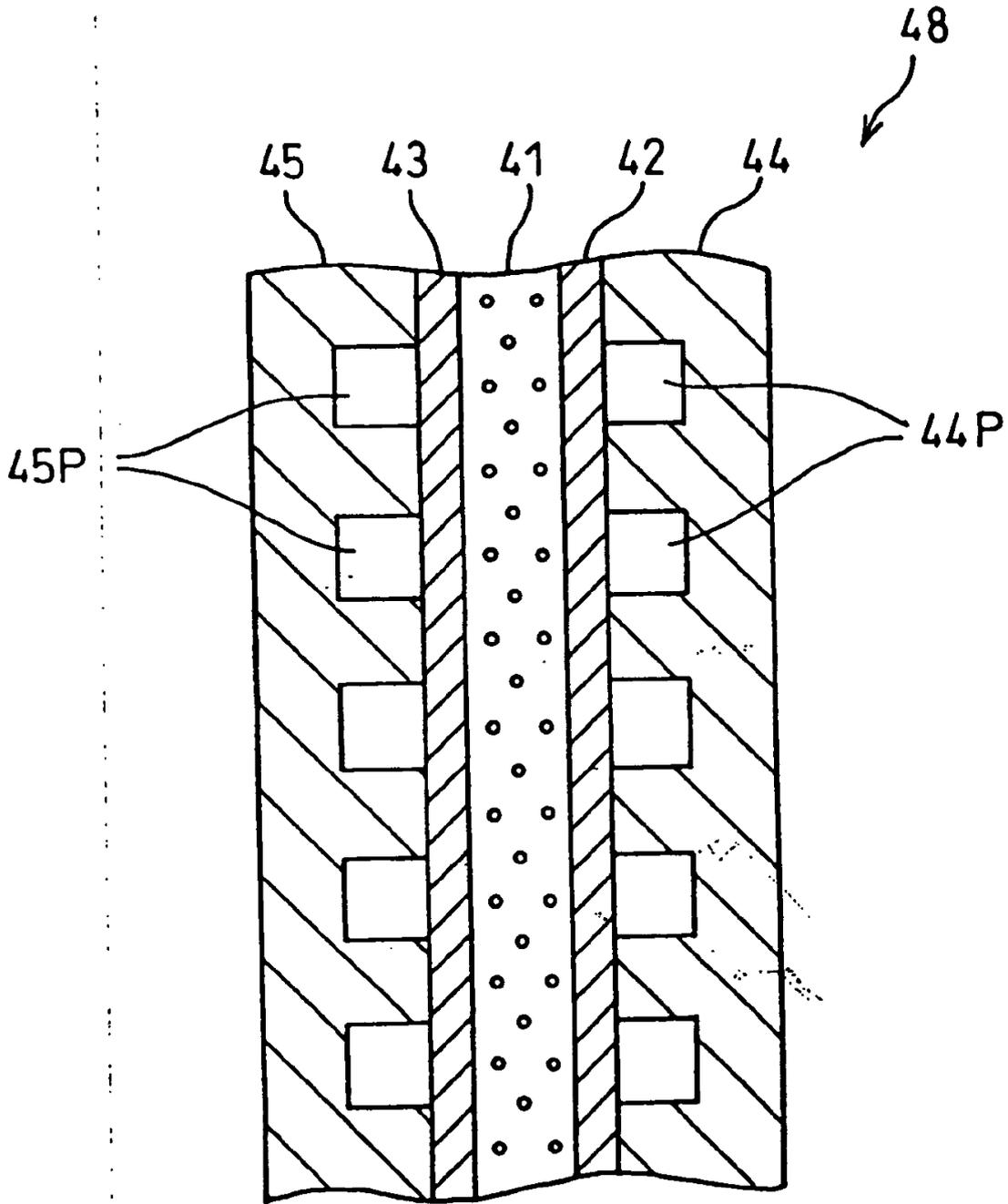


Fig. 3

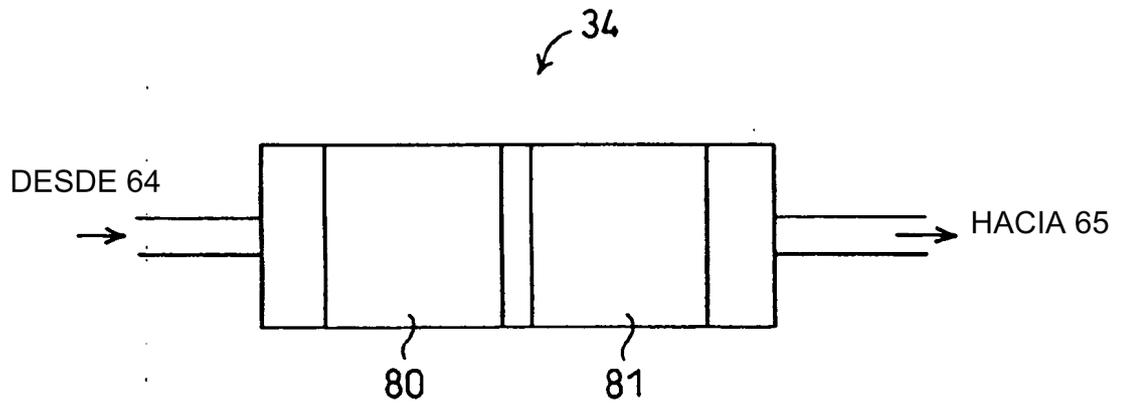


Fig. 4

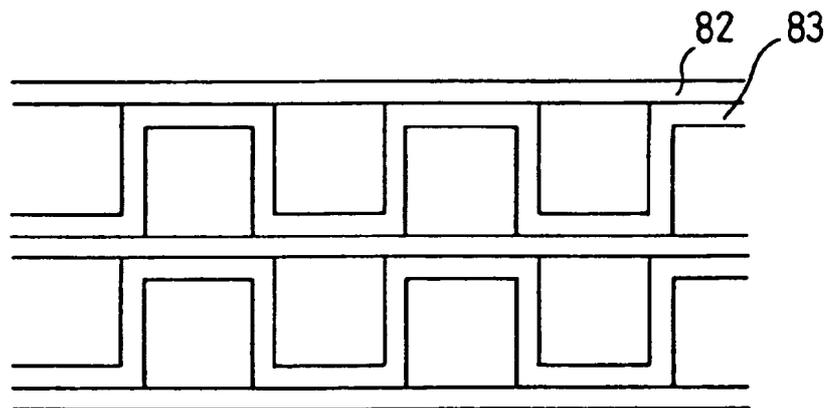


Fig.5

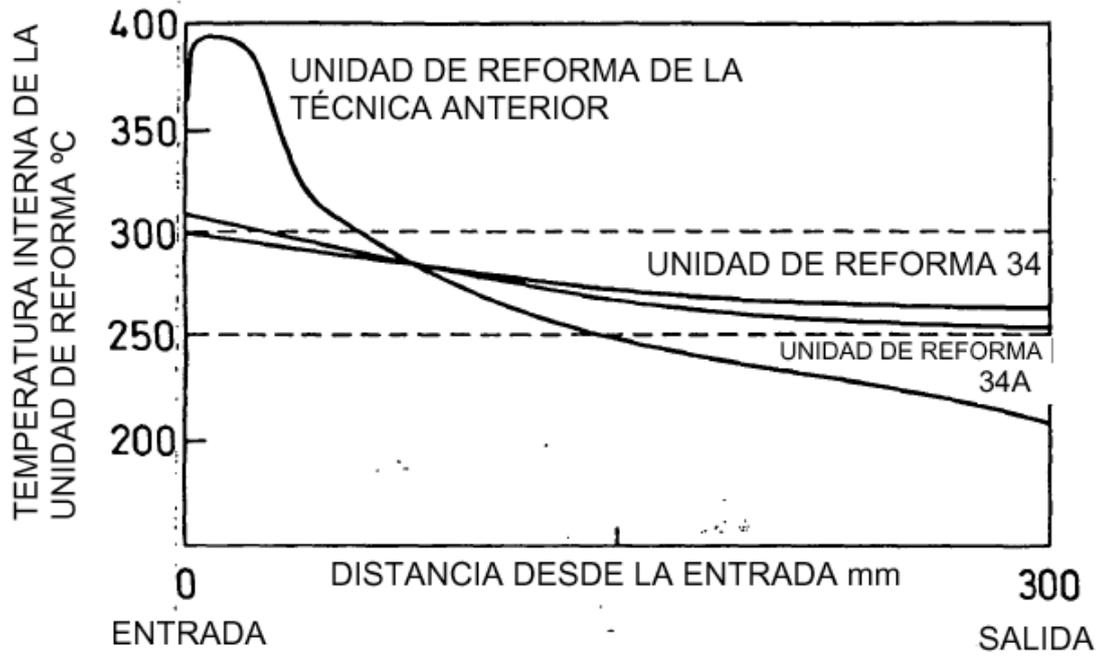
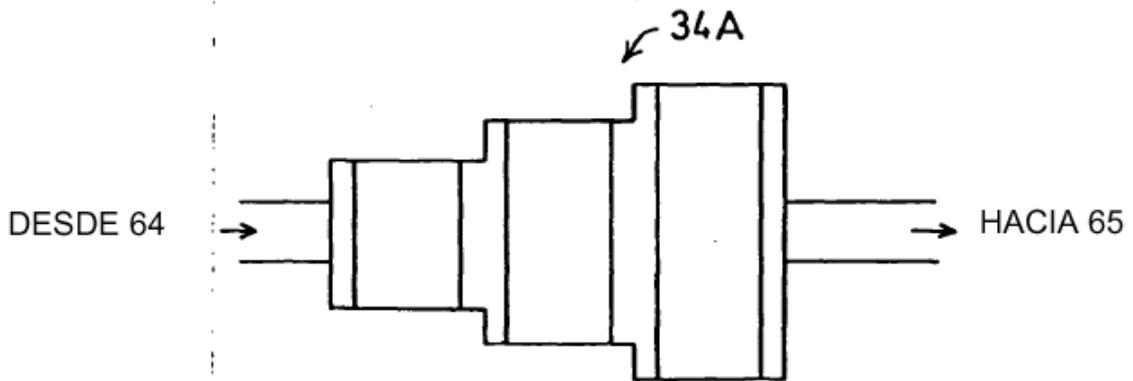
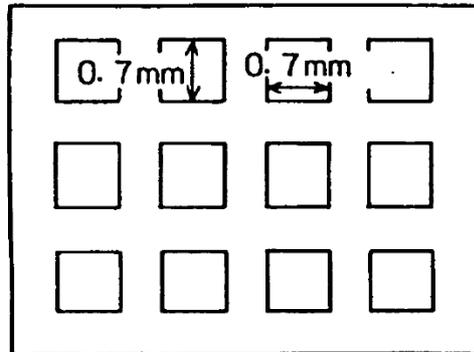


Fig.7



**Fig. 6(A)**

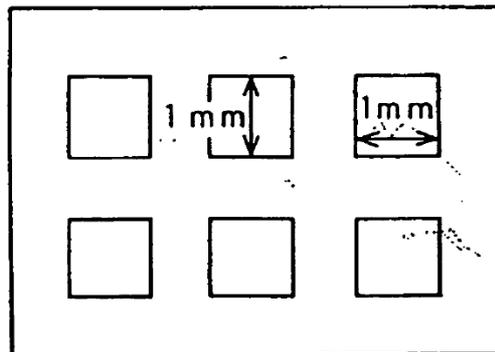
UNIDAD SUPERIOR  
(ZONAS DE SECCIÓN TRANSVERSAL MÁS PEQUEÑAS DE LAS CÉLULAS)



GROSOR DE PARED DEL PANEL DE ABEJAS CERÁMICO 0,4 mm

**Fig. 6(B)**

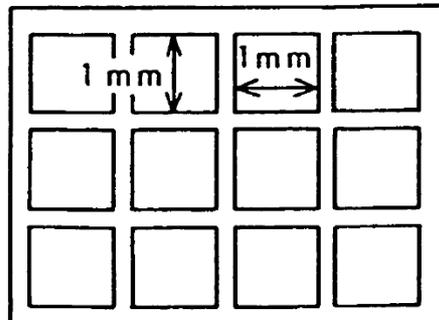
UNIDAD SUPERIOR  
(MENOR NÚMERO DE CÉLULAS)



GROSOR DE PARED DEL PANEL DE ABEJAS CERÁMICO 0,7 mm

**Fig. 6(C)**

UNIDAD INFERIOR



GROSOR DE PARED DEL PANEL DE ABEJAS CERÁMICO 0,1 mm

Fig. 8

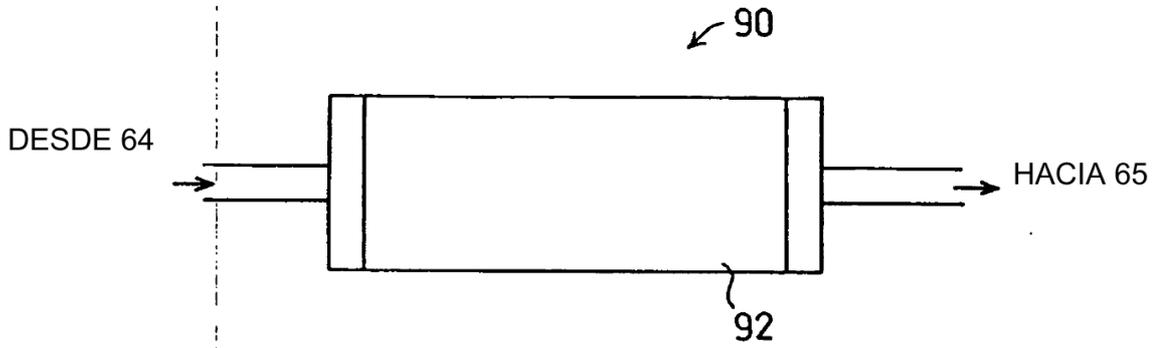


Fig. 9(A)

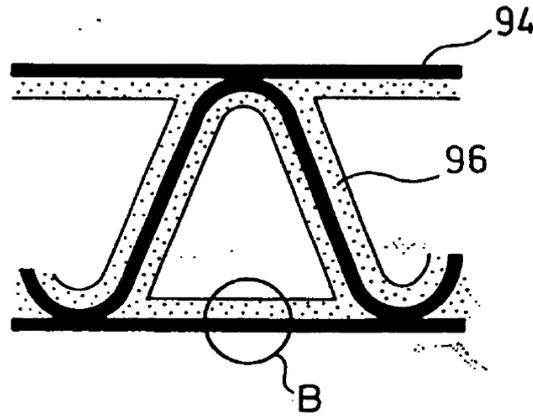


Fig. 9(B)

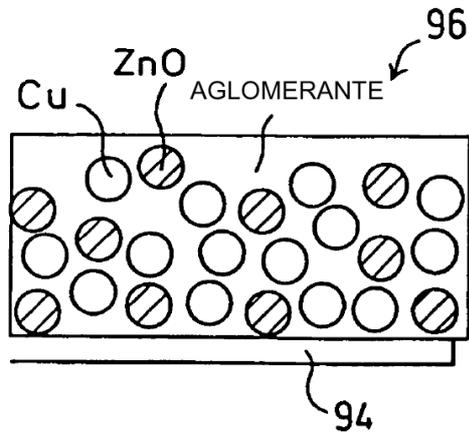


Fig. 10

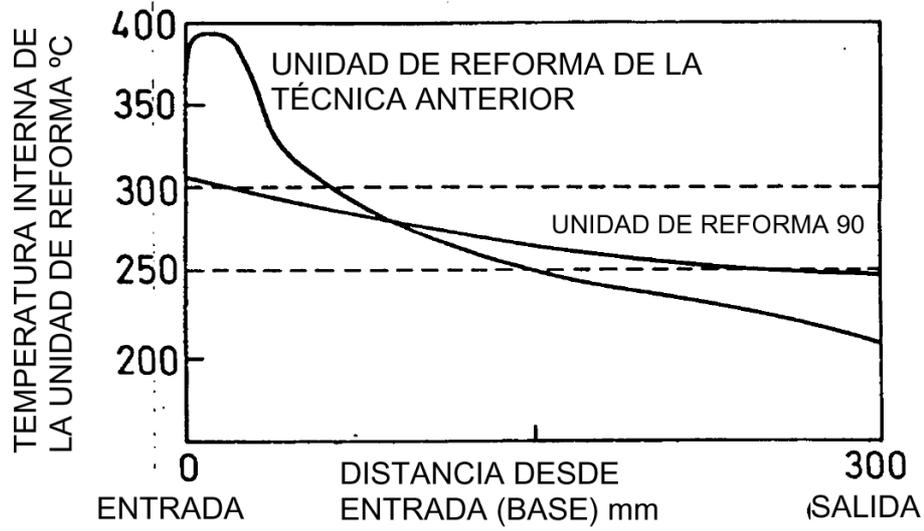


Fig. 11

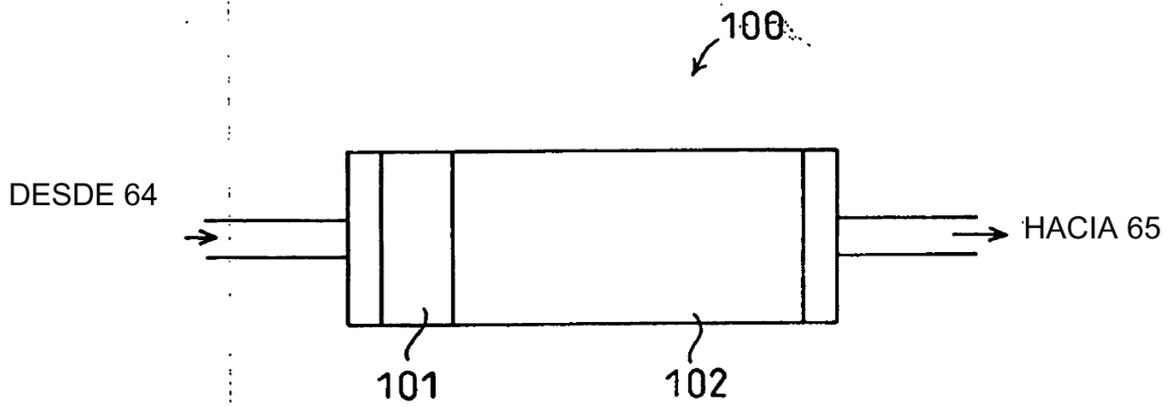


Fig. 12

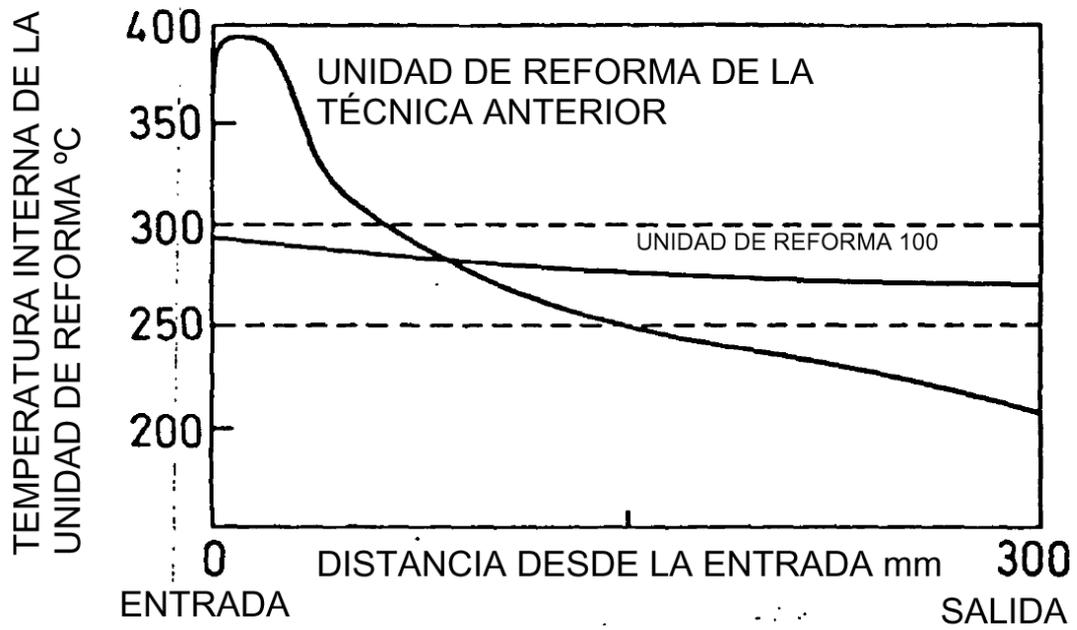


Fig. 13

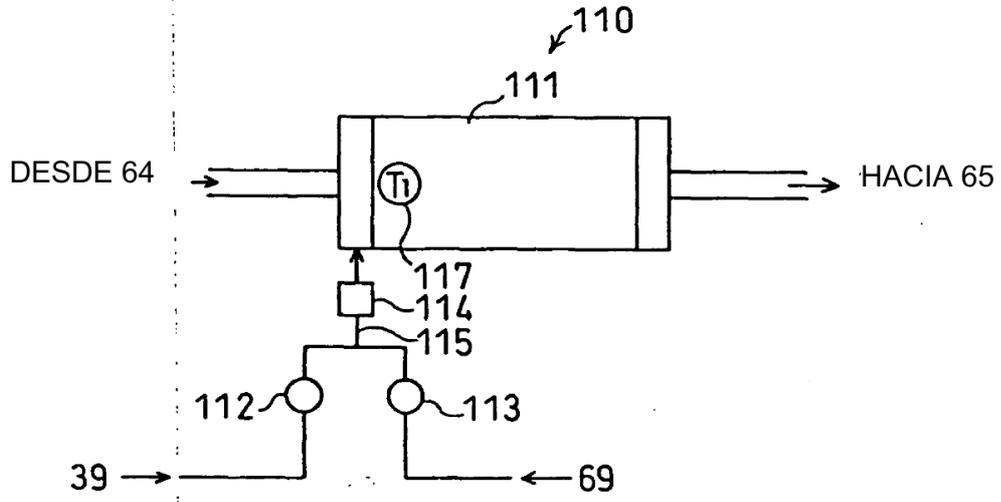


Fig. 15

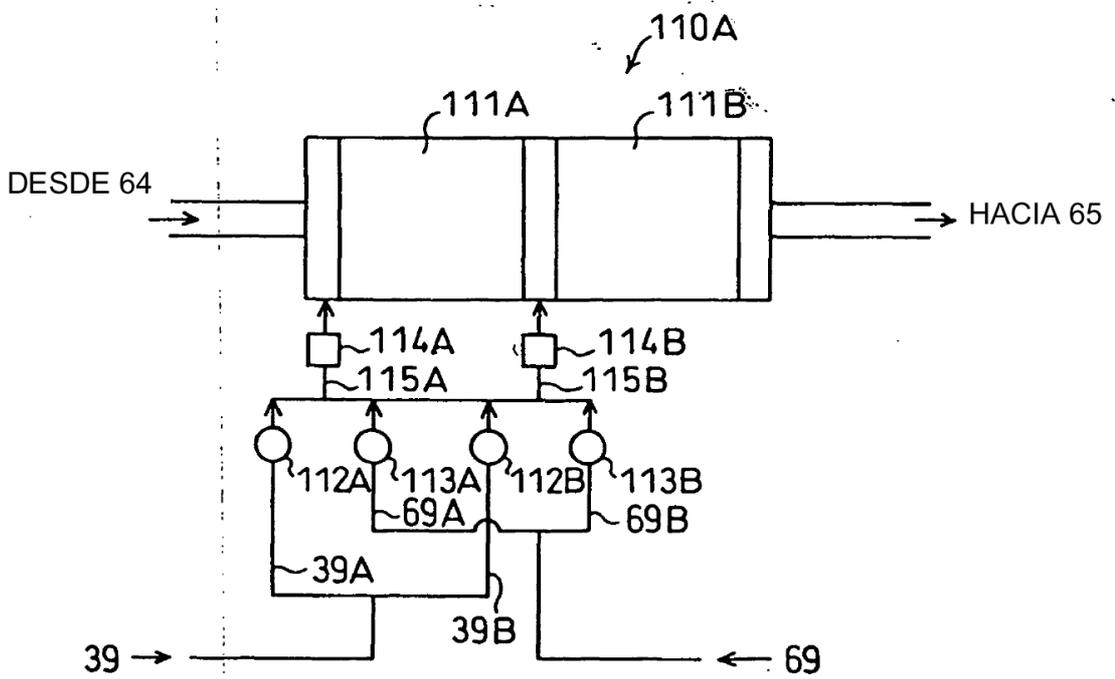


Fig. 14

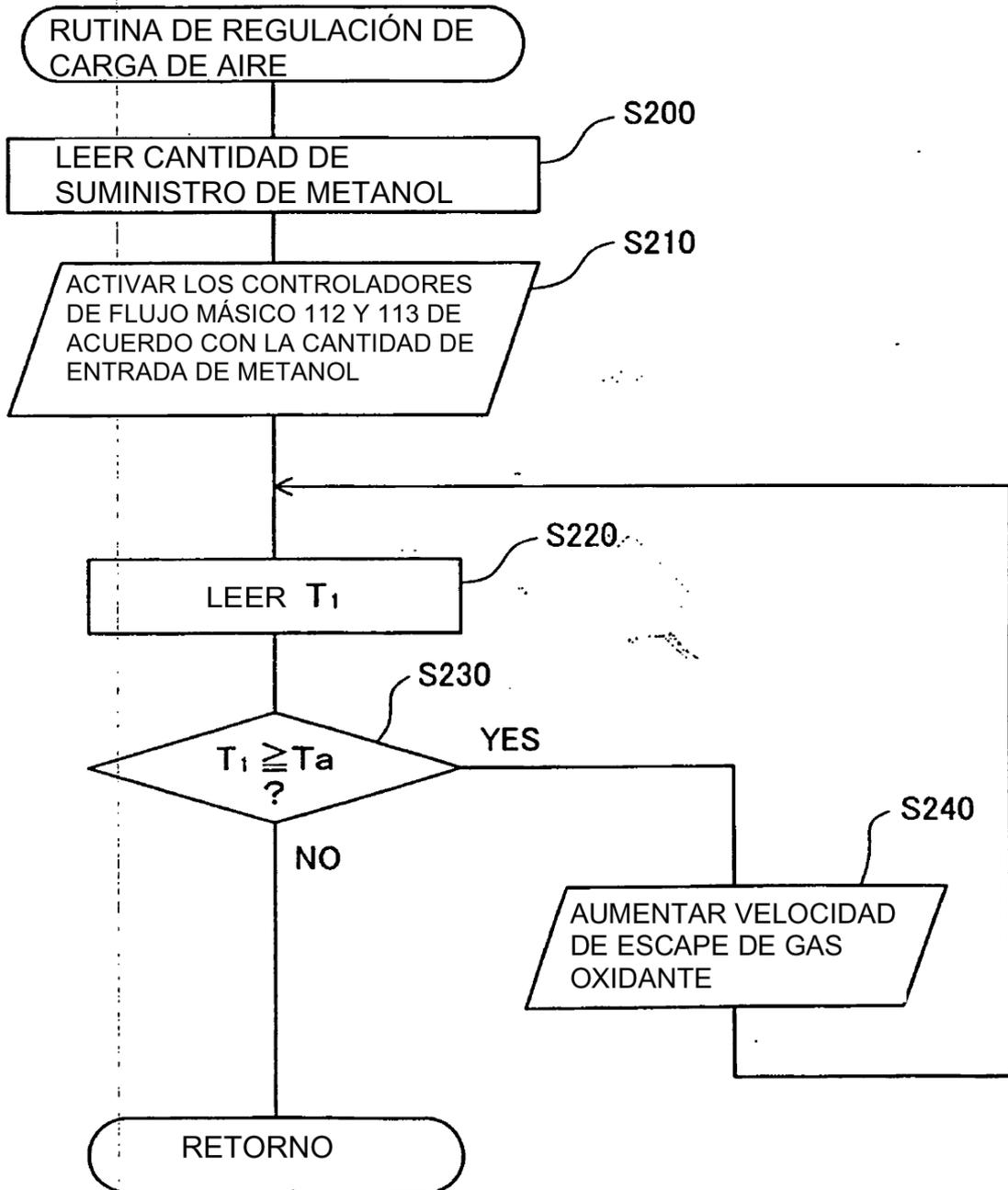


Fig. 16

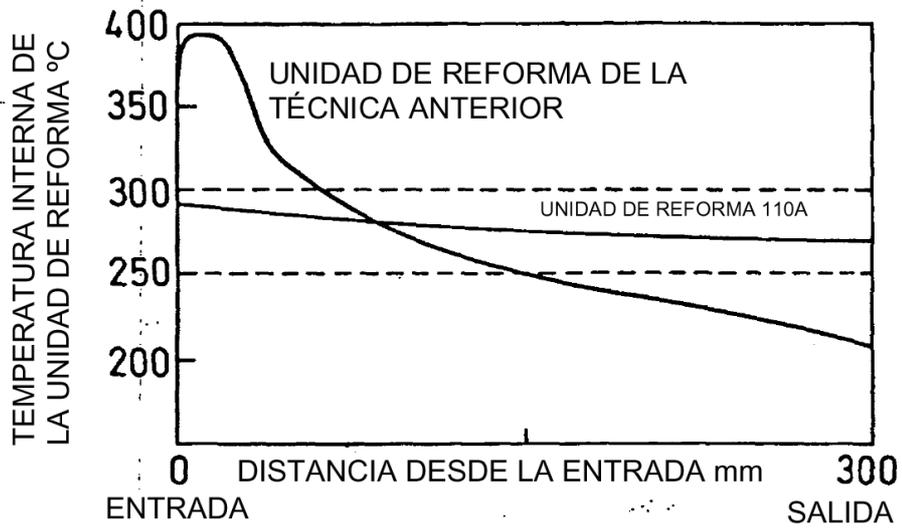


Fig. 17

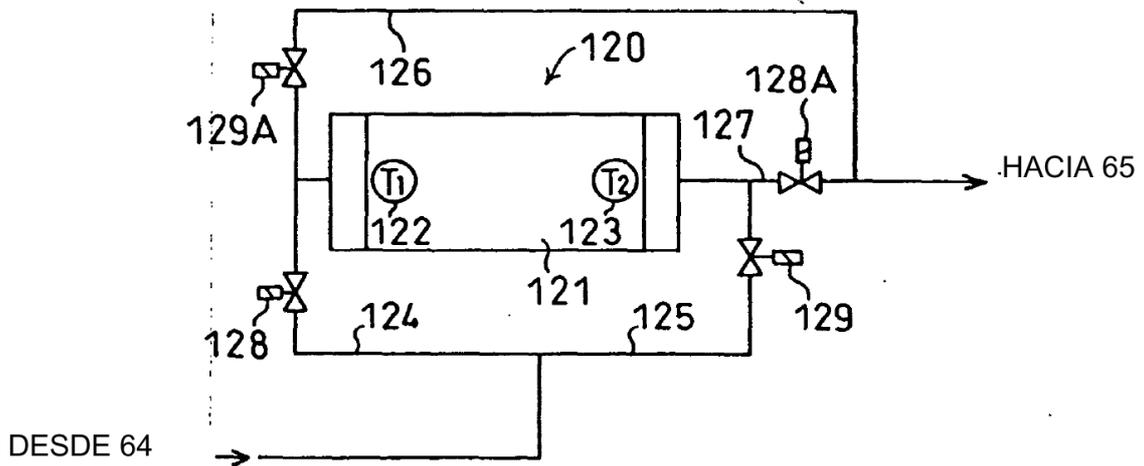


Fig. 18

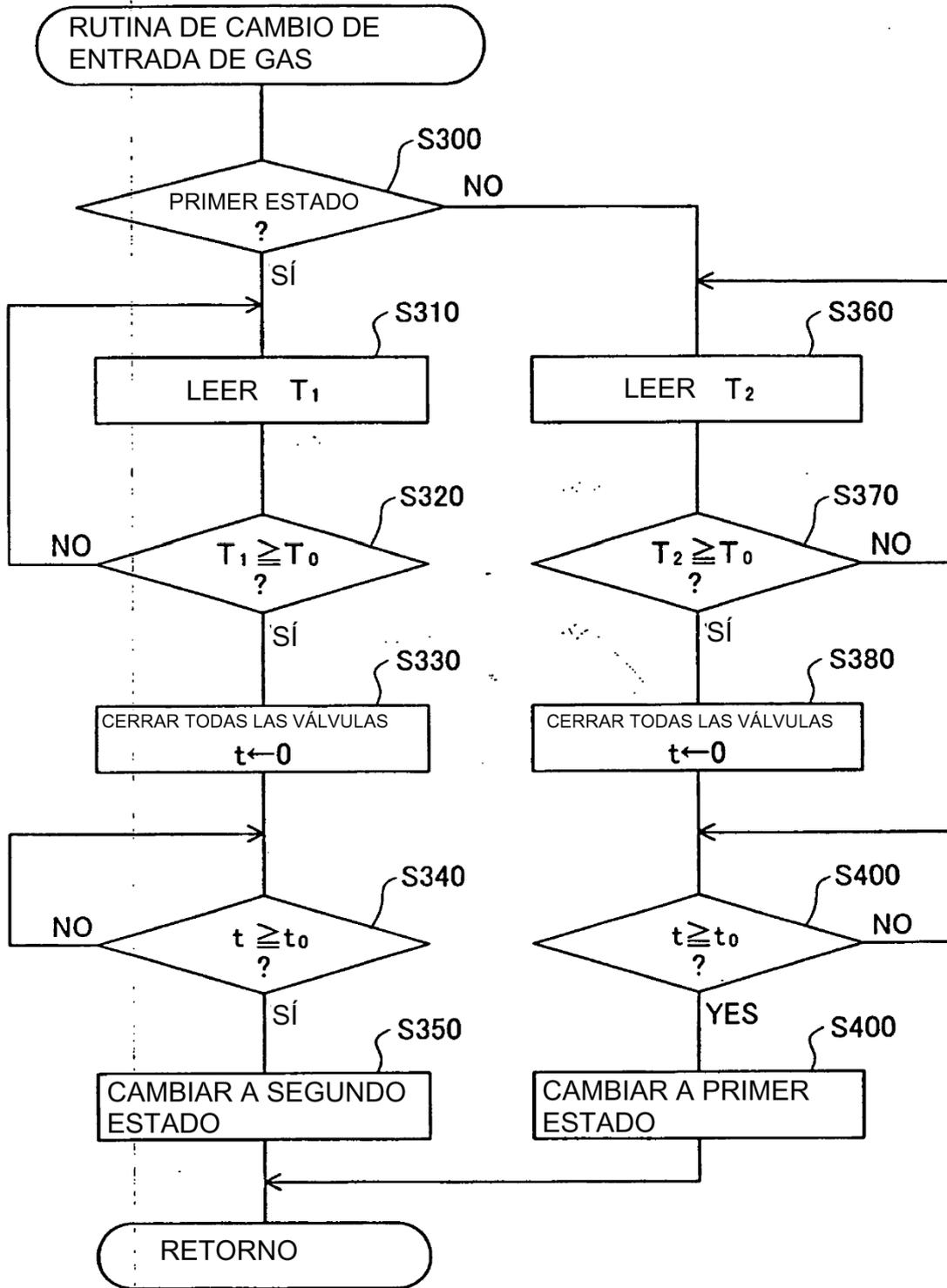


Fig. 19

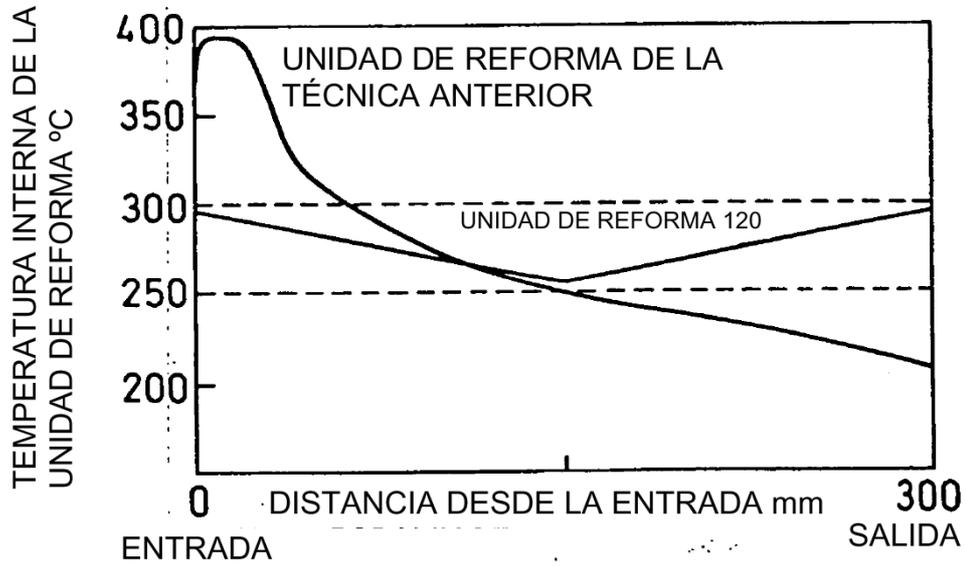


Fig. 20

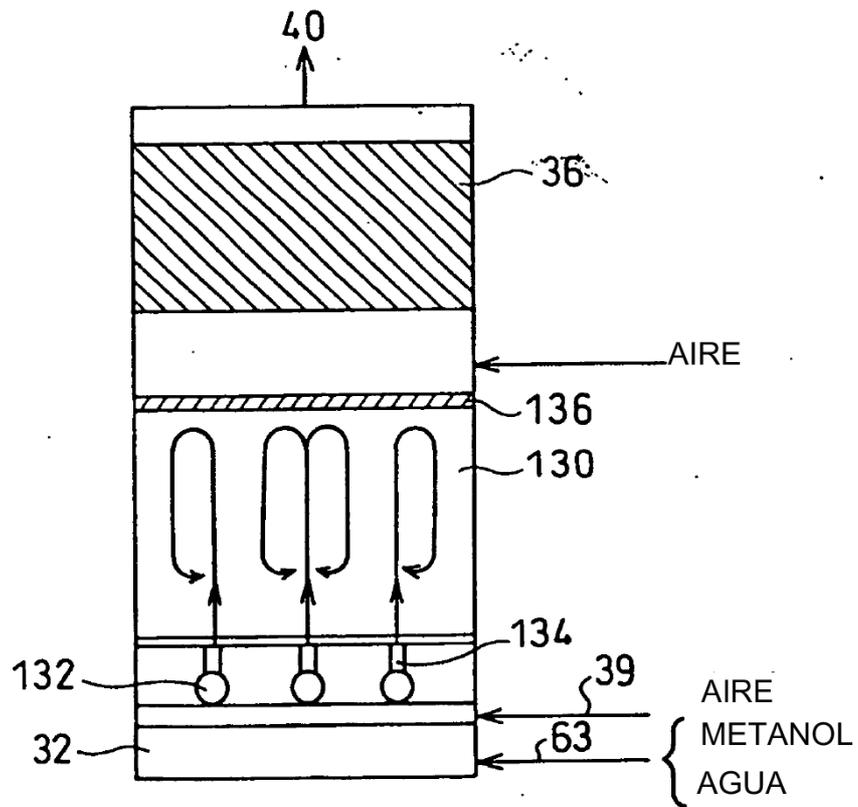


Fig.21

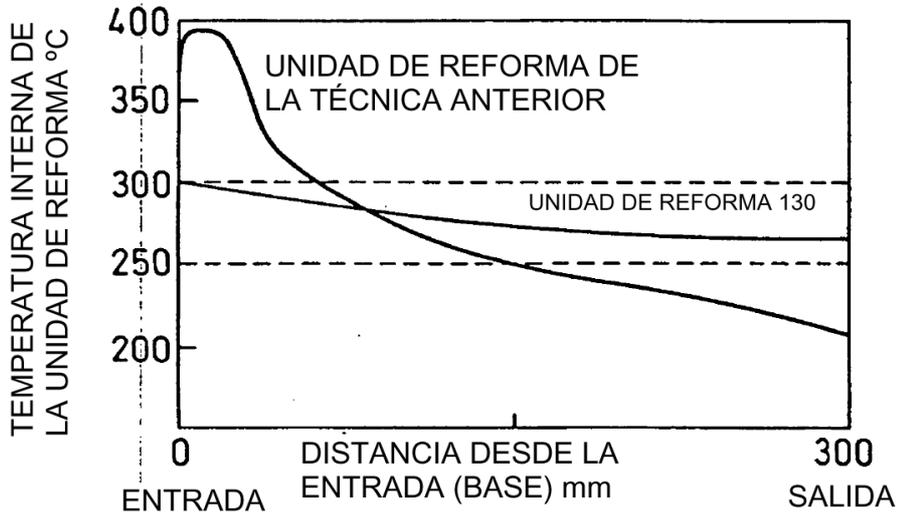


Fig.22

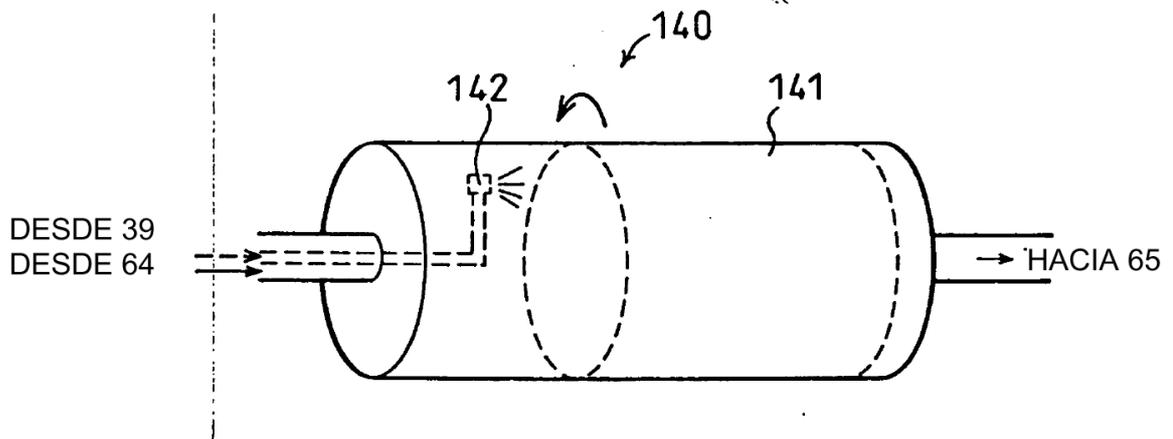


Fig. 23

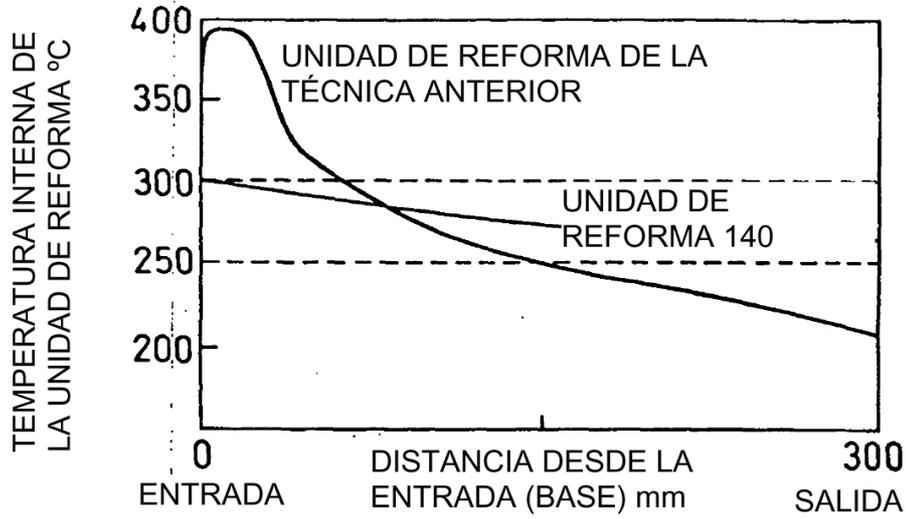


Fig. 24

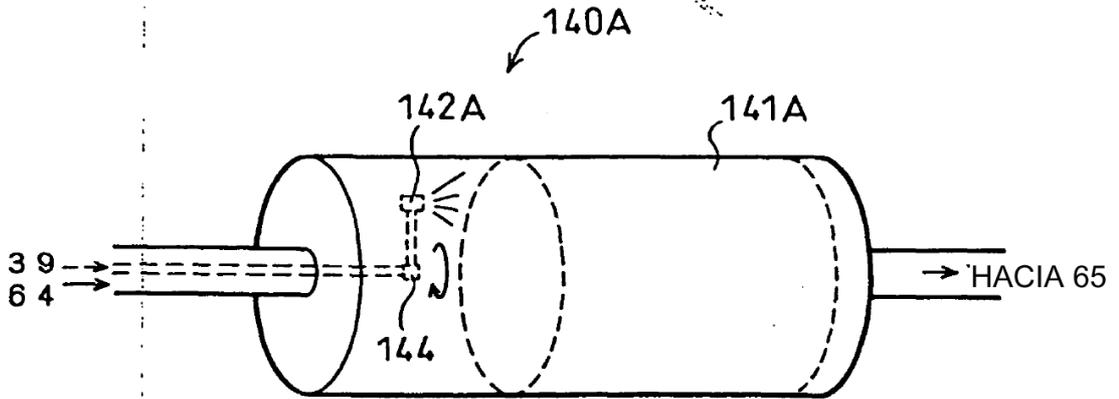


Fig. 25

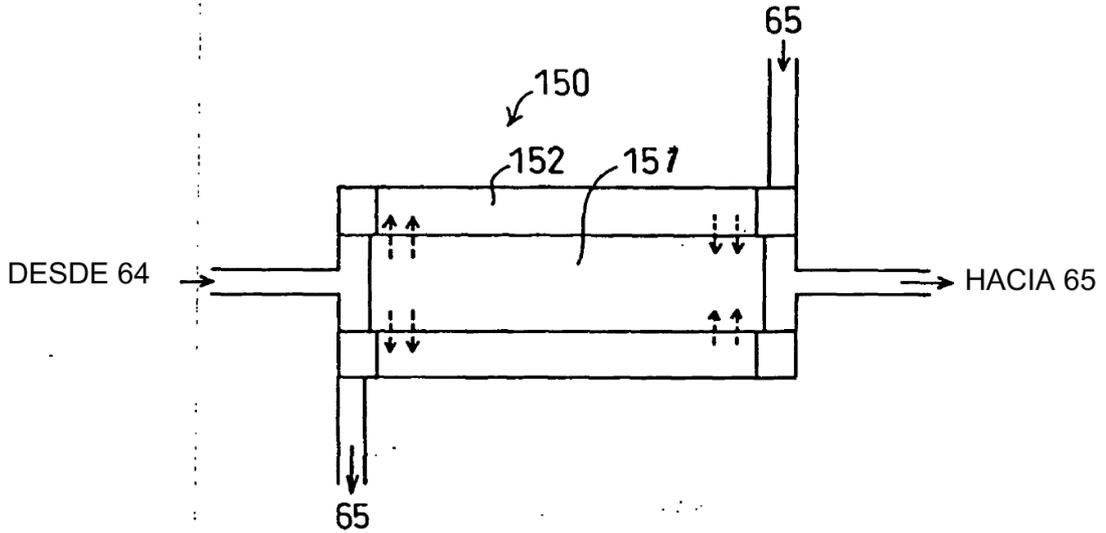


Fig. 26

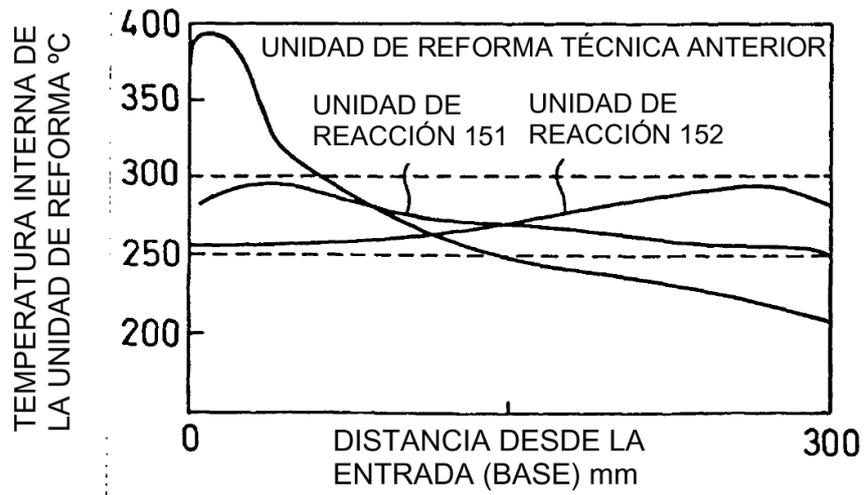


Fig. 27

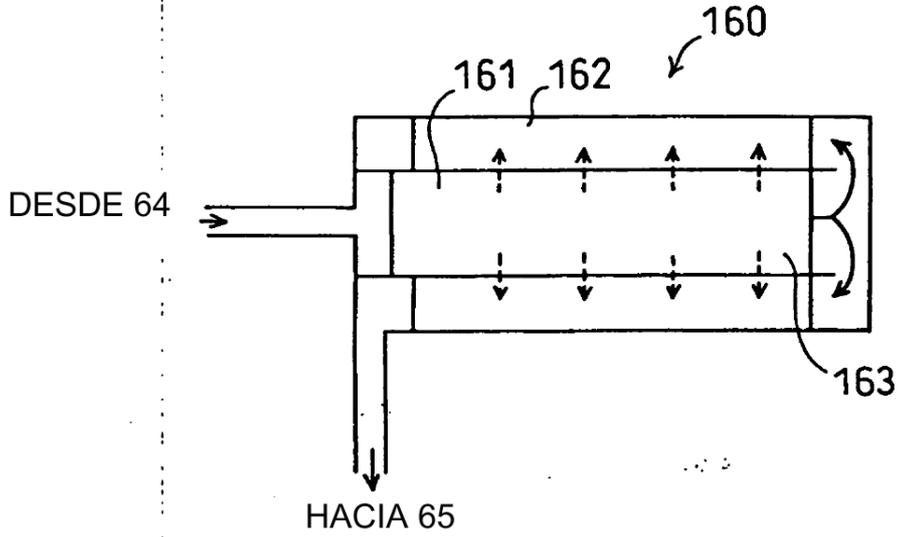


Fig. 28

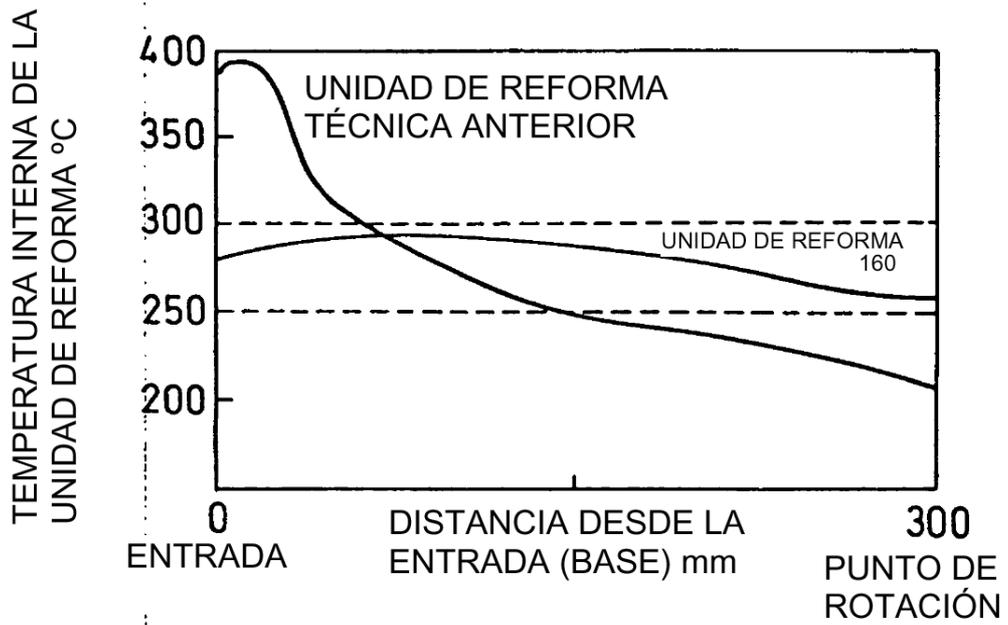


Fig. 29

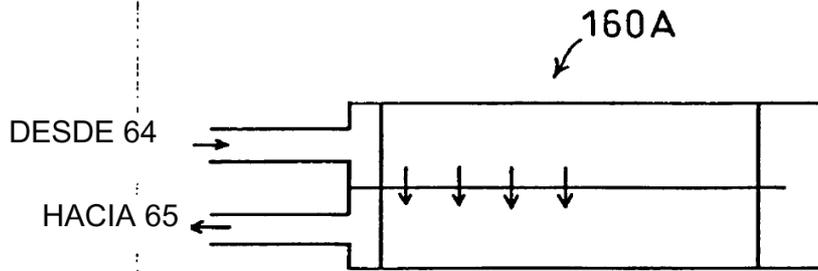


Fig. 30

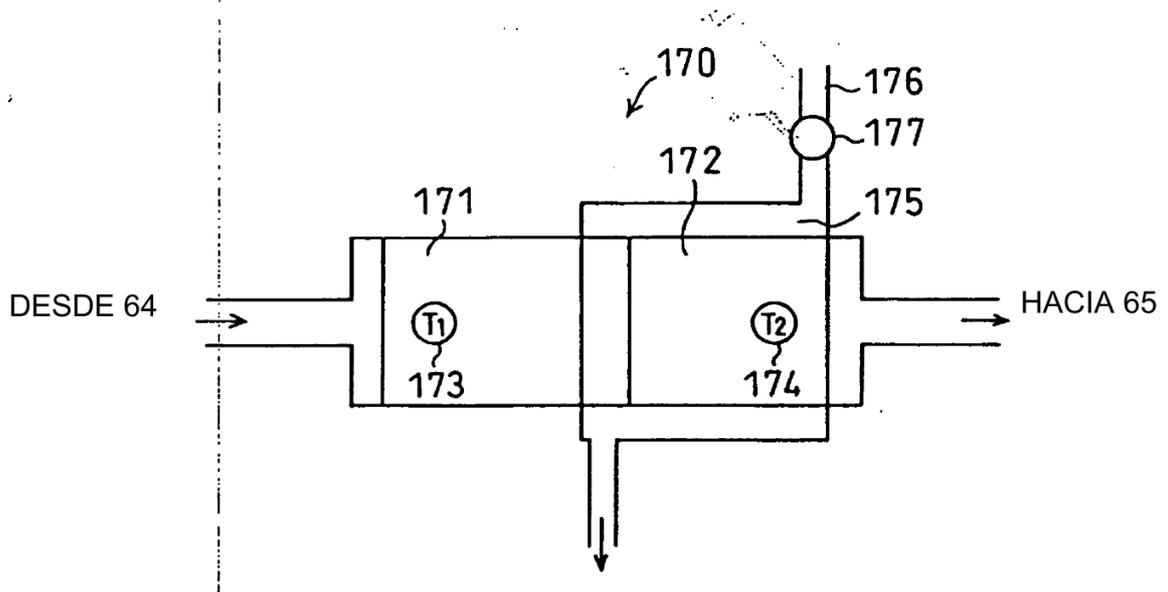


Fig. 31

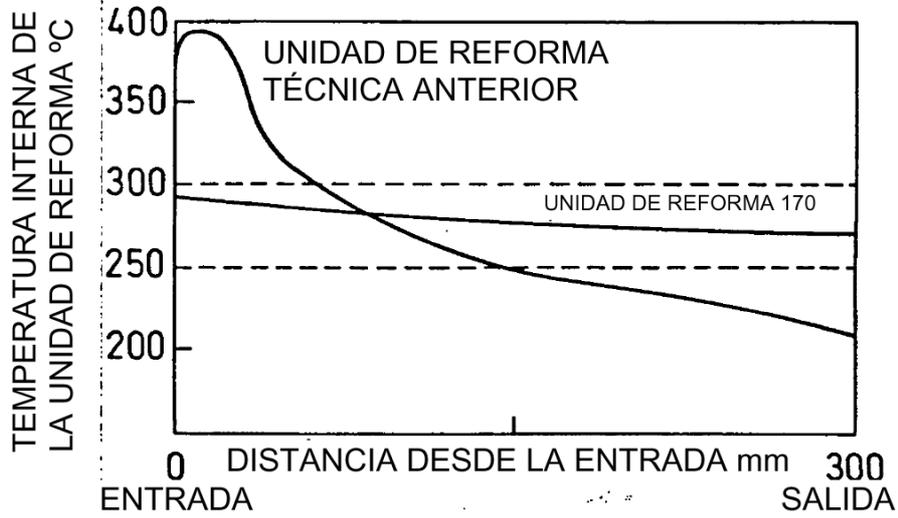


Fig. 32

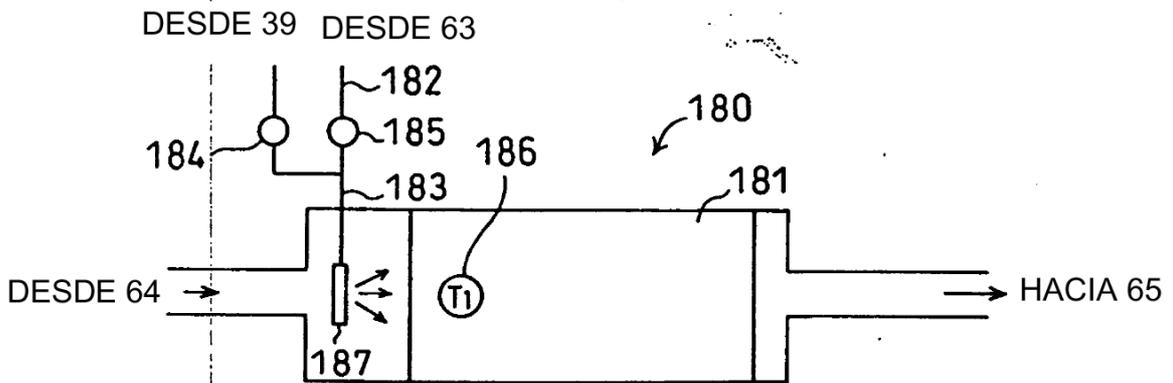


Fig. 33

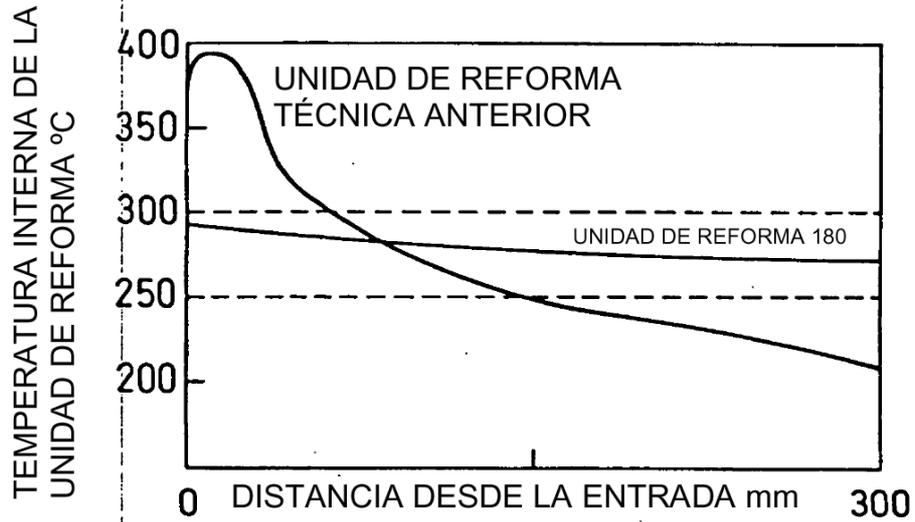


Fig. 34

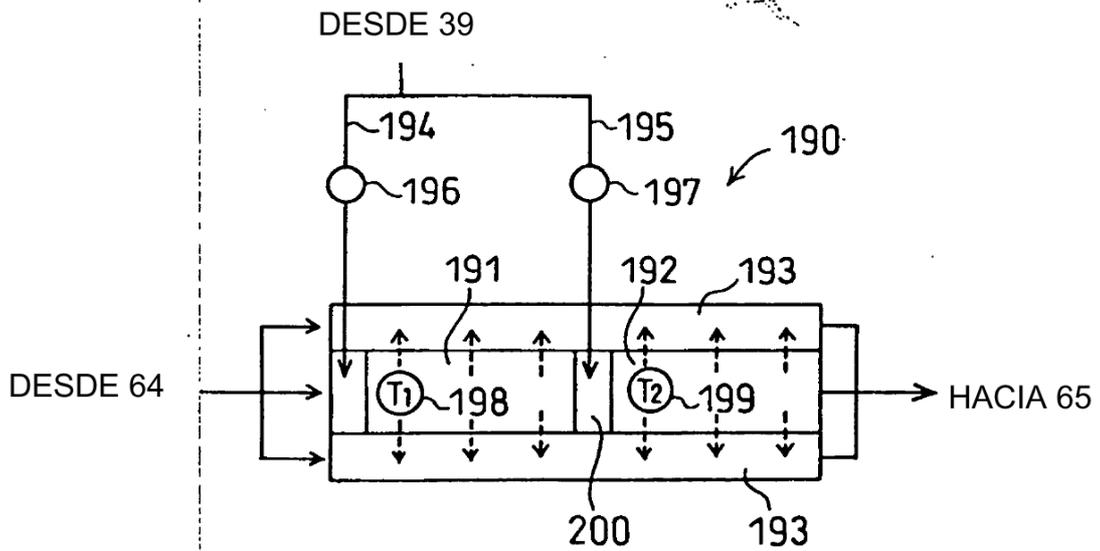


Fig. 35

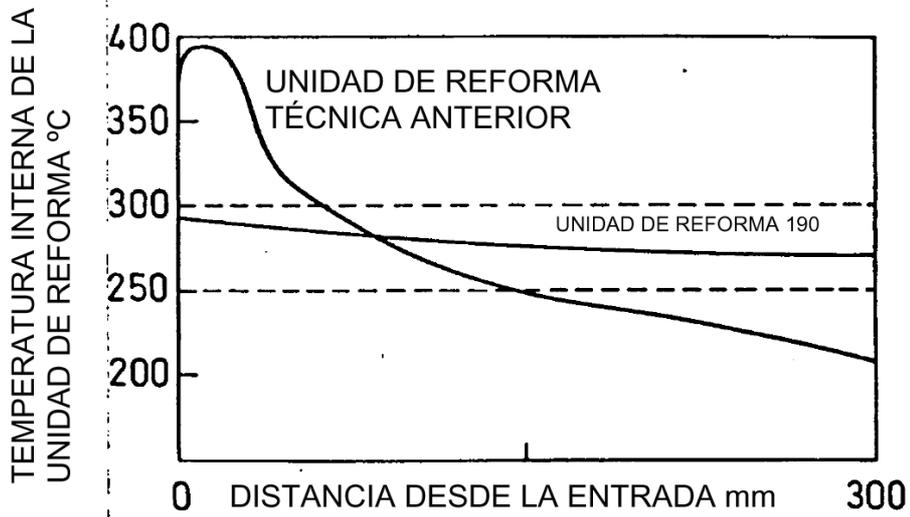


Fig. 36

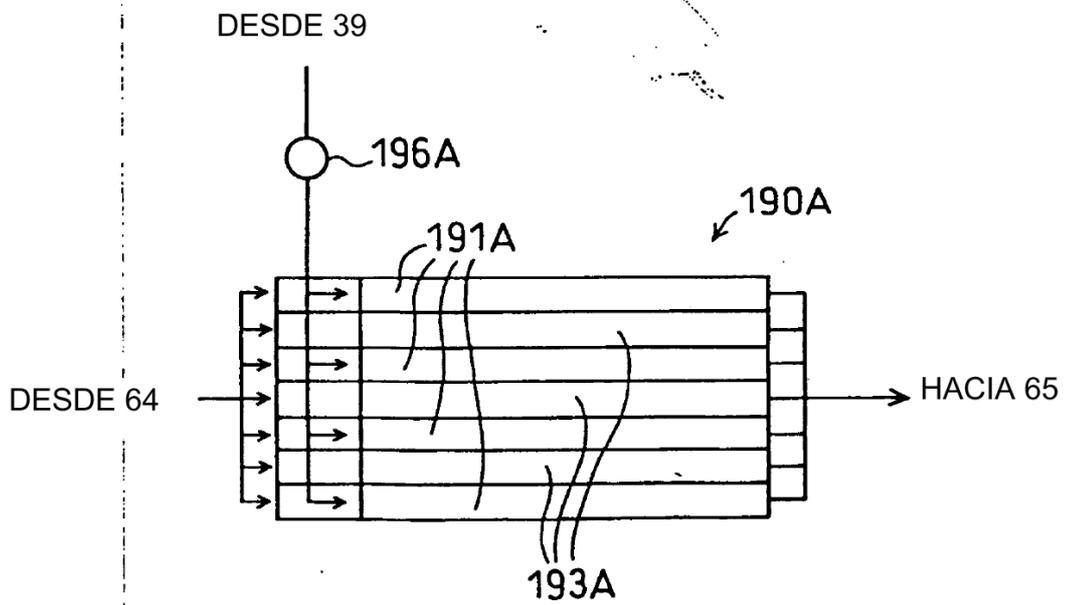


Fig. 37(A)

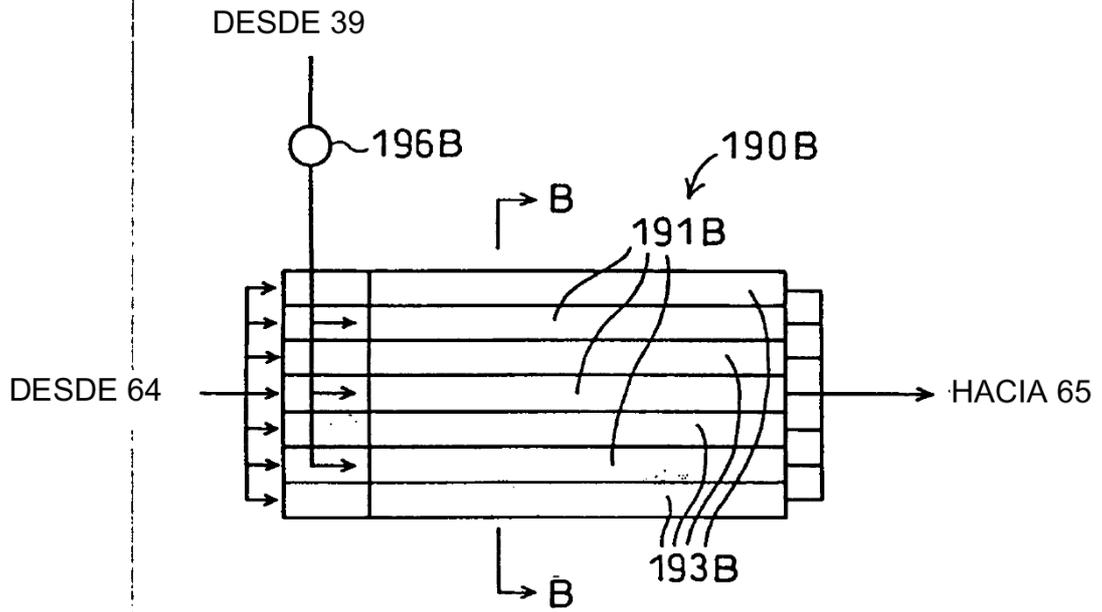
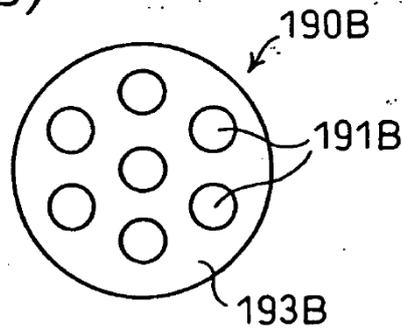


Fig. 37(B)



**Fig. 38**

TEMPERATURA INTERNA DEL DISPOSITIVO  
DE REFORMA DE COMBUSTIBLE °C

