

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 437 322**

51 Int. Cl.:

H01M 8/10 (2006.01)

H01M 8/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.12.2008** **E 08022191 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.10.2013** **EP 2200114**

54 Título: **Sistema de pilas de combustible de un reformador**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.01.2014

73 Titular/es:

TRUMA GERÄTETECHNIK GMBH & CO. KG
(100.0%)
WERNHER-VON-BRAUN-STRASSE 12
85640 PUTZBRUNN, DE

72 Inventor/es:

SCHIEGL, ANDREAS y
FRANK, REINHARD

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 437 322 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema de pilas de combustible de un reformador

5 La invención se refiere a un sistema de pilas de combustible de un reformador según el preámbulo de la reivindicación 1.

Las pilas de combustible requieren para la generación de energía eléctrica y térmica como reaccionantes, hidrógeno y oxígeno (del aire). Para la habilitación del hidrógeno o bien de un gas con contenido en hidrógeno se conocen diversos procedimientos de reformación tales como, p. ej., reformación con vapor, reformación autotérmica, oxidación parcial o craqueo, en los que el gas con contenido en hidrógeno puede ser generado mediante la transformación de hidrocarburos gaseosos y líquidos o bien alcoholes. Portadores de energía conocidos son, p. ej., metanol, etanol, Diesel, queroseno, JP-8, gas natural (metano), propano o butano. Los procedimientos de reformación mencionados son la mayoría de las veces muy complejos y requieren de una complejidad elevada de aparatos y de técnicas de regulación. Por norma general, presentan una pluralidad de componentes individuales tales como reactores de reformación, etapas de conversión, etapas de purificación fina del gas (oxidación selectiva, metanización), intercambiadores de calor y evaporadores.

En calidad de pilas de combustible se adecuan las así denominadas pilas de combustible de membrana de electrolito polimérico (PEM – siglas en alemán) que, en función de la temperatura de trabajo, requieren una purificación más o menos compleja del gas con contenido en hidrógeno antes de su entrada en un recinto de reacción del ánodo de la pila de combustible. Mientras que en el caso de pilas de combustible de PEM a baja temperatura habituales (temperatura de trabajo 50 a 100°C) en el gas de reformado con contenido en hidrógeno sólo se pueden tolerar porciones muy bajas de CO en el intervalo de dos cifras de ppm, las pilas de combustible de PEM a alta temperatura habituales (temperatura de trabajo 140 a 180°C) están en condiciones de elaborar gas de reformado con contenido en hidrógeno con porciones de CO en un orden de magnitud de hasta 20.000 ppm.

A partir del documento US 2002/0182458 se conoce un sistema de reformador que está acoplado con una pila de combustible de PEM a alta temperatura. El gas con contenido en hidrógeno procedente del reformador recorre subsiguientemente una o varias etapas de purificación del gas (conversión a alta temperatura y a baja temperatura) antes de penetrar con una elevada porción de CO de 10.000 a 20.000 ppm en la pila de combustible de PEM a alta temperatura. En la pila de combustible, un catalizador especial que se diferencia del catalizador del ánodo habitual de la pila de combustible, procura una reducción catalítica adicional de la porción de CO a valores menores que 5.000 ppm.

Asimismo, se conocen pilas de combustible de óxido sólido a alta temperatura (SOFC – siglas en inglés) y pilas de combustible de carbonatos fundidos (MCFC – siglas en inglés) en las que hidrocarburos gaseosos y líquidos son utilizados para producir electricidad directamente o bien bajo previa conexión de una así denominada etapa de pre-reformación a temperaturas de 600 a 1000°C y con la adición de oxígeno (del aire). El inconveniente de estos sistemas son una escasa capacidad de ciclación térmica, elevados tiempos de calentamiento y refrigeración, así como elevados requisitos establecidos a los materiales empleados (juntas y placas dipolares).

A partir del documento US 2007/0264543 A1 se conoce un sistema de pilas de combustible para reformadores, en el que un reformador genera a partir de un combustible líquido un gas con contenido en hidrógeno. El gas es conducido directamente a una pila de combustible sin ser previamente elaborado en un reactor de conversión.

En el documento EP 1 523 053 A2 se describe la estructura de una membrana de electrolito polimérico para pilas de combustible. Una membrana de este tipo ha de presentar una elevada tolerancia con respecto a impurezas por parte de monóxido de carbono.

A partir del documento DE 103 60 458 A1 se conoce un sistema de pilas de combustible con una pila de combustible y un reformador. Entre el reformador y la pila de combustible están dispuestos dos intercambiadores de calor que son calentados por el gas de reformado que circula desde el reformador hacia la pila de combustible. Los intercambiadores de calor son recorridos en contracorriente por el aire, el cual es calentado por el respectivo intercambiador de calor (y en este sentido sirve como agente refrigerante para el intercambiador de calor) y subsiguientemente es aportado al reformador o a la pila de combustible como aire de reacción para el abastecimiento de los procesos de reacción en el reformador o en la pila de combustible.

La invención se propone indicar un sistema y un procedimiento con el que se pueda reducir la complejidad de

aparatos, ante todo en el caso del sistema del reformador y de la purificación del gas allí habitual.

El problema se resuelve de acuerdo con la invención mediante un sistema de pilas de combustible de un reformador con las características de la reivindicación 1, y un procedimiento según la reivindicación 6. Ejecuciones ventajosas están indicadas en las reivindicaciones dependientes.

Un sistema de pilas de combustible de un reformador presenta un reformador con un reactor de reformación para la transformación de un fluido hidrocarbonado (corriente de líquido o gas) en un gas con contenido en hidrógeno, así como al menos una pila de combustible de PEM a alta temperatura con un recinto de reacción en el ánodo para la transformación del hidrógeno contenido en el gas con contenido en hidrógeno, junto con oxígeno, en energía eléctrica, calor y agua del producto. Entre el reactor de reformación y el recinto de reacción del ánodo no está previsto, a diferencia del estado conocido de la técnica, dispositivo alguno para la purificación del gas, de modo que el gas con contenido en hidrógeno en el reactor de reformación puede ser conducido directamente, sin un dispositivo de purificación del gas intercalado, al recinto de reacción del ánodo.

De manera conocida, en este caso a partir de un depósito de reserva de combustible se puede generar con hidrocarburos gaseosos o líquidos o bien alcoholes - en función del proceso de reformación - bajo la aportación de vapor de agua y/o aire, un gas de reformado con contenido en hidrógeno que, como componentes esenciales, contiene hidrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, vapor de agua y, eventualmente, nitrógeno (en caso de una reformación autotérmica u oxidación parcial). En sistemas de pilas de combustible de reformador habituales, el gas de reformado con contenido en hidrógeno es conducido a través de una o varias etapas de purificación del gas tales como, p. ej., a través de etapas de conversión a alta temperatura o a baja temperatura, así como a través de etapas para la oxidación selectiva o metanización. La misión de esas etapas de purificación del gas es reducir el contenido en CO en el gas de reformado a un nivel adecuado para el tipo de pila de combustible respectiva, con el fin de alcanzar valores de comportamiento aceptables. En el caso de pilas de combustible de PEM a baja temperatura, la porción de CO debe reducirse a valores menores que 100 ppm. En el caso de pilas de combustible de PEM a alta temperatura, conforme al estado conocido de la técnica, los valores deben encontrarse por debajo de 20.000 ppm.

De acuerdo con la invención, ahora ya no se adapta el sistema del reformador con sus etapas de purificación del gas a la pila de combustible, sino que la pila de combustible, especialmente una pila de combustible de PEM a alta temperatura, se adapta al gas con contenido en hidrógeno generado por el reactor de reformación. Con ello se puede reducir claramente la complejidad de aparatos, de técnica del procedimiento y de técnica de regulación en el sistema del reformador. Para este fin, el gas de reformado con contenido en hidrógeno procedente del reactor de reformación es introducido directamente, es decir, sin la hasta ahora habitual purificación del gas - en todo caso sólo a través de un intercambiador de calor intercalado para reducir la temperatura del gas de reformado - en el recinto de reacción del ánodo de la pila de combustible de PEM a alta temperatura.

La porción de CO en el gas de reformado se encuentra, en función del procedimiento de reformación, después de abandonar el reactor de reformación, entre 3 y 25% en vol. Con el fin de alcanzar un funcionamiento reglamentario de la pila de combustible con valores de rendimiento aceptables, existen diferentes posibilidades de adaptar la pila de combustible de PEM a alta temperatura a elevadas concentraciones de CO. Estas posibilidades se indican en algunas de las reivindicaciones dependientes y se explicarán posteriormente.

Sectores de aplicación preferidos del sistema con una magnitud de potencia de unos pocos vatios hasta varios kilovatios es un empleo como sistema APU (siglas en inglés de Unidad de Energía Auxiliar) para el suministro de energía a bordo en vehículos recreativos, vehículos industriales, automóviles de turismo así como barcas o yates. Asimismo, es posible el empleo como generador de energía eléctrica para aplicaciones no dependientes de la red o bien en sistemas de acoplamiento de energía-calor para el abastecimiento descentralizado de energía.

El modo de acción de los tipos de reformación arriba mencionados es en sí conocido, y se describe de diversas maneras en el estado conocido de la técnica. Los sistemas de reformador pueden estar realizados como reactores de placas o en forma de cilindro con panales de catalizador y/o cargas de catalizador monolíticos.

La pila de combustible puede consistir en una pila de combustible individual o bien en una pluralidad de pilas de combustible individuales que están dispuestas en forma de un apilamiento ("stack").

La estructura básica de una pila de combustible con recintos de reacción en el lado del ánodo y del cátodo es conocida y, por lo tanto, ya no necesita ser descrita con detalle en este punto.

5 En las pilas de combustible de PEM a alta temperatura encuentran aplicación prioritariamente membranas de polibencimidazol dotadas con ácido fosfórico. Sin embargo, también son posibles otros materiales sintéticos que en el intervalo de temperaturas de 100 hasta como máximo 300°C, preferiblemente en el intervalo de 150 a 250°C, en particular entre 190 y 250°C son conductores de protones o bien pueden ser hechos conductores de protones mediante correspondientes adiciones/dotaciones.

10 En calidad de catalizadores, en particular para el catalizador del ánodo en el recinto de reacción del ánodo pueden servir todos los tipos de metales nobles y no nobles. Se prefieren catalizadores con contenido en platino, siendo posibles como otros materiales, entre otros, Pd, Ru, Fe, Ni, Au, Ag, Rh, Ir, Co, W, Mo, Ce, Cu, Zn, Al, Zr o bien aleaciones de los mismos con o sin Pt - también en forma de catalizadores nanoestructurados - .

15 La pila de combustible puede hacerse funcionar bajo presión o bien bajo condiciones casi atmosféricas, reduciendo estas últimas la demanda de energía de los sistemas periféricos (bombas de aire y de gas). El montaje tiene lugar con materiales que satisfacen los requisitos de temperatura y son conocidos en el estado de la técnica tales como, p. ej., placas bipolares de metal o materiales compuestos de carbono-carbono.

20 Aguas arriba del recinto de reacción del ánodo de la pila de combustible de PEM a alta temperatura, es decir, entre el reactor de reformación y el recinto de reacción del ánodo, puede estar previsto un dispositivo de refrigeración a través del cual puede ponerse en funcionamiento la pila de combustible en un intervalo de temperaturas entre 150 y 250°C, en particular entre 190 y 250°C. El dispositivo de refrigeración sirve para refrigerar el gas de reformado con contenido en hidrógeno con el fin de ajustar la pila de combustible situada aguas abajo al intervalo de temperaturas pretendido. En el caso de que la temperatura del gas de reformado sea demasiado elevada antes de su entrada en el recinto de reacción del ánodo de la pila de combustible, puede integrarse en la tubería de alimentación, entre el reactor de reformación y la pila de combustible, p. ej. un intercambiador de calor con el fin de disminuir la temperatura del gas de reformado.

30 En este caso, se ha manifestado que puede ser conveniente un aumento de la temperatura de trabajo de la pila de combustible de PEM a alta temperatura a valores mayores que 180°C, con el fin de desplazar el equilibrio entre la adsorción y la desorción de moléculas de CO en el catalizador del lado del ánodo en dirección a la desorción. Con ello, se reduce el riesgo de un envenenamiento del catalizador del ánodo en la pila de combustible por parte de una porción elevada de CO en el gas de reformado aportado, lo cual posibilita el no tener que someter al gas de reformado a una purificación del gas para disminuir la porción de CO.

35 El dispositivo de refrigeración puede presentar un intercambiador de calor. Los intercambiadores de calor hacen posible, de manera particularmente elegante, conseguir un efecto de refrigeración y, en este caso, aprovechar en el sistema el calor obtenido convenientemente de otra manera.

40 El intercambiador de calor puede presentar un canal de guía de flujo para el gas con contenido en hidrógeno que fluye del reformador, así como en isocorriente o en contracorriente con el anterior, un canal de guía de flujo para un agente refrigerante.

45 En el caso de este agente refrigerante se puede tratar de aire de reacción que puede ser aportado aguas abajo del intercambiador de calor a un lado del cátodo de la pila de combustible y/o al reactor de reformación. El aire de reacción aportado, p. ej. del entorno, es calentado de este modo en el intercambiador de calor mediante el gas con contenido en hidrógeno que fluye del reformador y puede ser aportado a la pila de combustible o al reactor de reformación en forma de aire de reacción pre-calentado. Esto conduce a una mejora de los procesos subsiguientes.

50 La pila de combustible puede ser atemperada mediante un medio de atemperación, es decir puede ser refrigerada o calentada, pudiendo utilizarse este medio de atemperación también como agente refrigerante para el intercambiador de calor. Así, es posible que el medio de atemperación recorra primeramente el intercambiador de calor y sirva allí para la refrigeración del gas de reformado con contenido en hidrógeno. Después, es decir, aguas abajo del intercambiador de calor, el medio de atemperación es conducido a la pila de combustible con el fin de atemperar (enfriar o calentar) de manera conocida la pila de combustible.

55 La pila de combustible de PEM a alta temperatura puede presentar un dispositivo de aislamiento, de modo que se pueda alcanzar un funcionamiento casi isotérmico de la pila de combustible. Un funcionamiento en la medida de lo posible isotérmico de la pila de combustible con ningún gradiente de temperatura o bien con gradientes de

temperatura sólo muy bajas (p. ej. entre 0 y 10 K) en el apilamiento sirve para evitar un reducción del comportamiento en virtud de temperaturas parcialmente bajas, ante todo en la zona de las pilas del borde del apilamiento de pilas de combustible o en la zona de aportación y distribución de los reaccionantes a los recintos de reacción. El funcionamiento isotérmico asegura, por consiguiente, que no puedan "envenenarse", es decir, reducirse en su eficacia zonas individuales de la pila de combustible, en particular el catalizador del ánodo, mediante, p. ej., una temperatura demasiado baja en el caso de una porción de CO elevada, proporcionada de acuerdo con la invención.

El recinto de la reacción en el ánodo puede presentar un catalizador que también en el caso de una proporción de CO en la corriente de gas total de más de 3% en vol. presenta una actividad suficiente para la disociación del hidrógeno en la pila de combustible. La finalidad de esta medida es una adaptación de la electroquímica en el interior de la pila de combustible. Esto puede tener lugar mediante un aumento general de la porción de catalizador en la capa de catalizador del ánodo y/o mediante el uso de materiales de catalizador altamente selectivos especiales con una elevada tolerancia al CO. P. ej., la porción de catalizador (por ejemplo la porción de Pt) en la capa de catalizador puede duplicarse con respecto al estado conocido de la técnica, es decir, p. ej. puede aumentarse de 2 mg/cm² habituales a 4 mg/cm², o más.

El reformador puede ser hecho funcionar con una mezcla a base de vapor de agua y el fluido hidrocarbonado. En este caso, puede ser conveniente que el vapor de agua y el fluido hidrocarbonado puedan ser introducidos en el reformador con una relación (relación S/C, relación de vapor de agua a carbono) mayor que 3. Mediante este aumento de la relación S/C puede alcanzarse una reducción de la concentración de CO en el gas de reformado, con lo que se puede compensar la carencia de etapas de purificación del gas intermedias. El gas de reformado contiene, por consiguiente, relativamente gran cantidad de vapor de agua, lo cual reduce obligatoriamente la proporción en ppm de CO.

En el funcionamiento del sistema de pilas de combustible del reformador, una gran parte del hidrógeno es convertido, después de la introducción del gas de reformado en el recinto de reacción del ánodo de la pila de combustible de PEM a alta temperatura junto con el oxígeno (del aire) aportado al lado del cátodo, en energía eléctrica, calor y agua de producto. La reacción electroquímica en la que se fundamenta, la cual tiene lugar en el interior de una pila de combustible, se presupone como conocida.

El así denominado gas de escape del ánodo, el cual es evacuado del recinto de reacción del ánodo después de la reacción, se compone de hidrógeno residual no transformado así como de los restantes componentes del gas de reformado (monóxido de carbono, dióxido de carbono, vapor de agua así, como, eventualmente, nitrógeno). El gas de escape del ánodo puede ser devuelto al sistema del reformador después de abandonar el recinto de reacción del ánodo en virtud del elevado poder calorífico (CO, hidrógeno residual) para un aprovechamiento térmico ulterior.

Estas y otras ventajas y características se explican seguidamente con mayor detalle con ayuda de un ejemplo. La **única Figura** muestra la constitución principal de un sistema de pilas de combustible de un reformador de acuerdo con la invención.

En un depósito de reserva 1 de combustible se almacena un combustible, en particular un hidrocarburo gaseoso o líquido, o bien un alcohol. El combustible es conducido del depósito de reserva 1 de combustible a un reactor de reformación 2, el cual es, por su parte, componente de un sistema de reformador aquí no explicado con mayor detalle, en sí conocido.

En el reactor de reformación 2, el combustible se transforma en un gas con contenido en hidrógeno, el cual es conducido a través de un canal de guía 3 a una pila de combustible 4. El gas de reformado que abandona el reactor de reformado 2 puede presentar, junto con hidrógeno, también otros componentes gaseosos tales como, p. ej., monóxido de carbono, dióxido de carbono, vapor de agua, así como, eventualmente, nitrógeno.

El gas de reformado es conducido desde el reactor de reformación 2 a través del canal de guía 3, directamente a un recinto 5 de reacción del ánodo que pertenece a la pila de combustible 4. A diferencia de los sistemas de pilas de combustible de un reformador conocidos, en este caso no está prevista ninguna etapa de purificación del gas entre el reactor de reformador 2 y el recinto 5 de reacción del ánodo.

En el caso de la pila de combustible 4 se trata de una pila de combustible de PEM a alta temperatura, cuya estructura y modo de funcionamiento son en sí conocidos.

5 A través de un recinto 6 de reacción del cátodo, que limita con el recinto 5 de reacción del ánodo, se conduce aire del entorno. El oxígeno del aire contenido en el aire del entorno reacciona de manera conocida en el recinto 6 de reacción del cátodo. En este punto sobra una explicación más detallada, dado que el principio en el que se fundamenta una pila de combustible ya ha sido descrito de múltiples modos en el estado conocido de la técnica.

Después de recorrer el recinto 6 de reacción del cátodo, el aire es evacuado como aire de escape.

10 La corriente gaseosa que abandona el recinto 5 de reacción del ánodo se designa a menudo como gas de escape del ánodo. Puede conducirse a través de un canal de retorno 7 al reactor de reformación 2. Es conocido que el gas de escape del ánodo comprende, junto a hidrógeno residual no transformado, otros componentes del gas de reformado restantes tales como monóxido de carbono, dióxido de carbono, vapor de agua, así como eventualmente, nitrógeno. Por lo tanto, después de abandonar el recinto 5 de reacción del ánodo puede ser devuelto al sistema del reformador en virtud de su elevado poder calorífico (CO, hidrógeno residual) para su aprovechamiento térmico ulterior.

En el caso de una variante, en el canal de guía entre el reactor de reformación 2 y el recinto 5 de reacción del ánodo está dispuesto un intercambiador de calor 8 que sirve como dispositivo de refrigeración.

20 El intercambiador de calor 8 presenta un primer canal de guía de flujo 8a que pertenece al canal de guía 3, así como en el otro lado, un segundo canal de guía de flujo 8b para conducir un agente refrigerante en isocorriente o contracorriente.

25 La previsión del intercambiador de calor 8 puede ser conveniente en el caso de que la temperatura del gas de reformado sea demasiado elevada antes de su entrada en el recinto 5 de reacción del ánodo de la pila de combustible 4. En este caso, como agente refrigerante puede utilizarse el aire de la reacción aportado a la pila de combustible 4 y/o al reactor de reformación 2, con el fin de precalentar a éstos. Alternativamente, también puede aprovecharse el agente refrigerante de la pila de combustible 4 (aire o materiales portadores de calor líquidos).

REIVINDICACIONES

- 1.- Sistema de pilas de combustible de un reformador, con
- un reformador con un reactor de reformación (2) para transformar un fluido hidrocarbonado en un gas con contenido en hidrógeno; y con
 - al menos una pila de combustible (4) de PEM a alta temperatura con un recinto (5) de reacción del ánodo para transformar el hidrógeno contenido en el gas con contenido en hidrógeno, junto con oxígeno, en energía eléctrica, calor y agua de producto, y con un recinto (6) de reacción del cátodo; en donde
 - al recinto (6) de reacción del cátodo se puede aportar aire del entorno como aire de reacción;
 - aguas arriba del recinto (5) de reacción del ánodo de la pila de combustible (4) de PEM a alta temperatura está previsto un dispositivo de refrigeración;
 - el dispositivo de refrigeración presenta un intercambiador de calor (8); y en donde
 - el gas con contenido en hidrógeno que sale del reactor de reformación (2) puede ser conducido al recinto (5) de reacción del ánodo a través del intercambiador de calor (8), y en donde
 - el fluido hidrocarbonado presenta propano y/o butano, caracterizado por que
 - la pila de combustible (4) puede ser atemperada mediante un medio de atemperación;
 - el medio de atemperación de la pila de combustible (4) puede ser aprovechado también como agente refrigerante para el intercambiador de calor (8), en donde el agente refrigerante aguas abajo del intercambiador de calor (8) puede ser aportado a la pila de combustible (4) como medio de atemperación, con el fin de atemperar la pila de combustible (4); y por que
 - el medio de atemperación es un material portador de calor líquido o aire de refrigeración.
- 2.- Sistema de pilas de combustible de un reformador según la reivindicación 1, caracterizado por que mediante el dispositivo de refrigeración (8) la pila de combustible (4) puede ser hecha funcionar en un intervalo de temperaturas entre 150 y 250°C, en particular entre 190 y 250°C.
- 3.- Sistema de pilas de combustible de un reformador según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el intercambiador de calor (8) presenta un canal de guía de flujo para el gas con contenido en hidrógeno que fluye del reformador y, en isocorriente o en contracorriente con el anterior, un canal de guía de flujo para un agente refrigerante.
- 4.- Sistema de pilas de combustible de un reformador según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que la pila de combustible (4) de PEM a alta temperatura presenta un dispositivo de aislamiento de modo que se puede alcanzar un funcionamiento casi isotérmico de la pila de combustible (4) con un gradiente de temperaturas de a lo sumo 10 K dentro de un apilamiento.
- 5.- Sistema de pilas de combustible de un reformador según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que
- el reformador puede ser hecho funcionar con una mezcla a base de vapor de agua y propano y/o butano; y por que
 - el vapor de agua y propano y/o butano se pueden introducir en el reformador con una relación (relación S/C) mayor que 3.
- 6.- Procedimiento para hacer funcionar un sistema de pilas de combustible de un reformador según una de las reivindicaciones precedentes, con las etapas:
- transformar propano y/o butano en un gas con contenido en hidrógeno en un reactor de reformación (2) de un reformador;
 - guiado directo del gas con contenido en hidrógeno a un recinto (5) de reacción del ánodo de una pila de combustible (4) de PEM a alta temperatura sin someter al gas con contenido en hidrógeno a una purificación del gas;
 - producción de electricidad del gas con contenido en hidrógeno en la pila de combustible (4) junto con oxígeno aportado adicionalmente a la pila de combustible (4) que está contenido en un aire de reacción aportado a la pila de combustible;
 - refrigeración de un intercambiador de calor dispuesto aguas arriba del recinto (5) de reacción del ánodo con ayuda de un medio de atemperación que sirve para regular atemperar la pila de combustible (4), siendo el medio de atemperación aire de refrigeración.

