

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 981 852**

51 Int. Cl.:

C01B 3/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.06.2022** **E 22179709 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.05.2024** **EP 4292979**

54 Título: **Sistema de producción de hidrógeno**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.10.2024

73 Titular/es:

ZEG POWER AS (100.0%)
Postboks 127
1325 Lysaker, NO

72 Inventor/es:

NORHEIM, ARNSTEIN;
STENRØD WEST, MARGRETHE y
GRAFF, VIDAR

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 981 852 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 producción de hidrógeno

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un sistema para producir gas hidrógeno que comprende un reactor reformador, un reactor regenerador, un conducto de transporte del regenerador y un conducto de reciclado. El reactor regenerador incluye un sistema de fuente de energía de regenerador que tiene un quemador de gas que libera gases de escape, un intercambiador de calor y un conducto de retorno.

Antecedentes y estado de la técnica

10 Debido al rápido aumento del uso del combustible de hidrógeno como portador de energía, el suministro de hidrógeno a los usuarios industriales se ha convertido en un negocio importante en todo el mundo.

El hidrógeno puede extraerse de combustibles fósiles y biomasa, del agua o de una mezcla de ambos. El gas natural es actualmente la principal fuente de producción de hidrógeno.

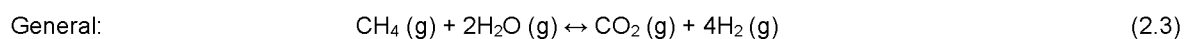
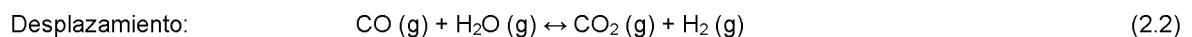
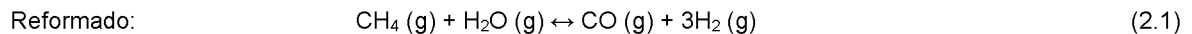
15 En la actualidad, el hidrógeno combustible se produce mediante diversos métodos. Los métodos más comunes son el reformado de gas natural/metano, la gasificación del carbón y la electrólisis. Otros métodos son la energía solar y los procesos biológicos.

Véase, por ejemplo, <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-fuel-basics>

SMR convencional

20 En el reformado convencional de metano con vapor (SMR), se crea una mezcla gaseosa compuesta de hidrógeno (H₂) y monóxido de carbono (CO) cuando el vapor reacciona con el metano en presencia de un catalizador a altas temperaturas (800 - 1000 °C) y alta presión (15 - 20 bar) (reacción 2.1 a continuación). El dióxido de carbono (CO₂) y el hidrógeno adicional se producen posteriormente en un entorno de temperatura más baja (300 - 400 °C) mediante una reacción de desplazamiento agua-gas (reacción 2.2 a continuación) que consiste en hacer reaccionar el monóxido de carbono con vapor utilizando un catalizador. A continuación, el gas hidrógeno se separa del CO₂ mediante, por ejemplo, adsorción por oscilación de presión (PSA) en varias etapas hasta alcanzar la pureza deseada del hidrógeno.

Las principales reacciones en el SMR convencional son las siguientes:



30 El SMR convencional adolece de varias desventajas, como la necesidad de grandes lechos fijos para minimizar las caídas de presión, la desactivación de los catalizadores debido a la formación de carbono y la necesidad de mantener altas temperaturas en el reactor, ya que sólo una parte del calor de combustión se utiliza directamente en el proceso.

SMR mejorada por sorción (SE-SMR)

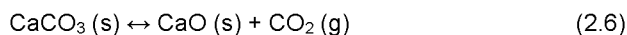
35 El proceso SE-SMR reduce las etapas de procesamiento añadiendo un adsorbente de CO₂, como óxido de calcio (CaO) o dolomita, al reactor reformador. Con el sorbente presente, el CO₂ se convierte en carbonato sólido (CaCO₃) en un proceso de calcinación exotérmica (reacción 2.4 a continuación), dando como resultado un gas producto del reformador compuesto principalmente de H₂ y H₂O, con cantidades menores de CO, CO₂ y CH₄ no convertido (gas combustible). La adición del sorbente produce un desplazamiento hacia delante de las reacciones 2.1 - 2.3 y, por tanto, mejora la conversión de metano y el rendimiento de hidrógeno. La reacción exotérmica da lugar a un proceso casi autotérmico que funciona a temperaturas comprendidas entre 550 y 40 650 °C.

La reacción principal en SE-SMR es, además de las reacciones 2.1 - 2.2, la siguiente:



En la producción continua, el sorbente carbonatado, saturado por CO₂, se transporta posteriormente a un reactor regenerador donde se expone a alta temperatura para garantizar que se produzca una reacción de calcinación endotérmica 2.6.

5 Calcinación/Regeneración:



Dependiendo de la configuración del reactor, el sorbente saturado se calienta a unos 900 °C para permitir que se produzca la reacción endotérmica, es decir, la liberación del CO₂ de la piedra caliza carbonatada, CaCO₃.

10 Por lo tanto, el calor suministrado al reactor regenerador debe elevar la temperatura del sorbente saturado que entra en el lecho y proporcionar un exceso de calor suficiente para que se lleve a cabo la reacción de calcinación. La fuente de calor puede ser, por ejemplo, el calor residual de una pila de combustible de óxido sólido (SOFC). El sorbente saturado por CO₂ suele denominarse "sorbente usado".

15 El sorbente regenerado resultante (CaO) se transporta posteriormente de vuelta al reactor reformador, y el CO₂ liberado del sorbente usado se transporta a una ubicación externa, típicamente una instalación de manipulación o almacenamiento de CO₂.

20 La SE-SMR anterior puede llevarse a cabo tanto en reactores de lecho fijo como fluidizado. Sin embargo, el uso de reactores de lecho fluidizado se considera ventajoso debido a su alta aceptación de alimentación y retirada continuas de fluidos/partículas (permitiendo así un mayor grado de funcionamiento continuo), su distribución de calor eficiente y casi isotérmica, su mezcla eficiente de reactivos químicos, su mayor idoneidad para el funcionamiento a gran escala, sus menores caídas de presión y su mayor transferencia de calor entre el lecho y los cuerpos sumergidos.

25 El medio fluidizante para el regenerador SE-SMR puede ser, en principio, cualquier gas que pueda separarse fácilmente del CO₂. El vapor se considera ideal a este respecto ya que el vapor se condensa a una temperatura significativamente más alta que el CO₂. El medio fluidizante para el regenerador SE-SMR suele ser una mezcla de vapor y gas hidrocarburo, con una relación vapor/carbono S/C de 2.5/1 a 4/1.

30 La SE-SMR es conocida en este campo. Véase, por ejemplo, la publicación de patente US 11,084,720 B2 que divulga un método para producir energía a partir de gas hidrógeno producido mediante reformado mejorado por sorción. En este sistema de la técnica anterior, el material sorbente CaO dentro del reactor reformador actúa para adsorber CO₂ para formar un sorbente usado en forma de CaCO₃. El sorbente usado se conduce además a un reactor regenerador en el que el sorbente usado puede calentarse indirectamente mediante un calentador a una temperatura de 850 - 900° C. Ejemplos de calentadores pueden ser el uso de gases residuales de absorción por cambio de presión (PSA) y/o el uso de combustible de gas natural y un oxidante, por ejemplo, aire. Durante el calentamiento, el sorbente se regenera debido a la desorción de CO₂. Las publicaciones de patentes US 8,241,374 B2, WO 2018/162675 A3, WO 2016/191678 A1 y US 2019/0112188 A1 describen otros ejemplos de SMR mejorada por sorción. También se conoce un proceso de reformado de metano con vapor mejorado por sorción en "Techno-economic analysis of low-carbon hydrogen production by sorption enhanced steam methane reforming (SE-SMR) processes", ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, OXFORD, GB, vol. 226, 30 de octubre de 2020.

40 Ninguno de los sistemas descritos en las publicaciones de patentes mencionadas proporciona información relativa a la mejora de la eficiencia del sistema de calefacción para calentar el sorbente usado dentro del reactor regenerador.

Por lo tanto, al menos un objetivo de la presente invención es mejorar la eficiencia del sistema de calentamiento para calentar el sorbente usado dentro del regenerador.

Resumen de la invención

45 La presente invención se expone y caracteriza en las reivindicaciones independientes, mientras que las reivindicaciones dependientes describen otras características de la invención.

En un primer aspecto, la invención se refiere a un sistema de producción de gas hidrógeno H₂.

El sistema comprende al menos un reactor reformador, al menos un reactor regenerador, al menos un conducto de transporte del regenerador y al menos un conducto de reciclado.

50 El (los) reactor(es) reformador(es) tiene(n) un volumen cerrado para contener un sorbente A captador de dióxido de carbono que forma un sorbente A* usado cuando se dan las condiciones para la captación de dióxido de carbono, tales como presión mínima y/o temperatura mínima y/o cantidad mínima por unidad de volumen. El reactor reformador está configurado para permitir el reformado de un material de alimentación B (tal como

- un combustible de hidrocarburo) y un vapor C (es decir, agua predominantemente en fase gaseosa) para producir una mezcla de gas reformado que comprende gas hidrógeno H_2 y dióxido de carbono CO_2 . El reactor reformador comprende al menos una entrada de reformado para introducir al menos uno de los materiales de alimentación B y el vapor C en el reactor reformador y al menos una salida de reformado para descargar el sorbente usado A^* y el gas hidrógeno H_2 . Más preferentemente, el reactor reformador comprende al menos dos entradas de reformador, incluyendo una entrada de material de alimentación y una entrada de vapor. El reactor o reactores reformadores pueden comprender una entrada adicional para alimentar el sorbente A captador de dióxido de carbono al reactor reformador.
- 5
- Un ejemplo específico de sorbente captador de dióxido de carbono A y de sorbente usado A^* es el óxido de calcio CaO y el carbonato de calcio $CaCO_3$, respectivamente.
- 10
- El (los) reactor(es) regenerador(es) comprende(n) un recipiente regenerador, al menos una entrada de regenerador para recibir al menos una porción del sorbente A^* usado, al menos un sistema de fuente de energía de regenerador configurado para proporcionar energía al sorbente A^* usado recibido para permitir la liberación de dióxido de carbono CO_2 , regenerando así el sorbente A, y al menos una salida de regenerador para descargar el sorbente A regenerado.
- 15
- El sistema o sistemas de fuente de energía de regenerador pueden comprender uno o más quemadores de gas que expulsan un gas de escape G, en los que el quemador o quemadores de gas comprenden al menos una primera entrada de quemador para alimentar un primer gas de quemador E en el quemador de gas, al menos una salida de quemador para expulsar un gas de escape G producido dentro del quemador de gas.
- 20
- Si el/los quemador/es de gas está/n dispuesto/s fuera del recipiente regenerador, el/los quemador/es de gas también comprende/n al menos un conducto de transporte del quemador para transportar el gas de escape G desde la/s salida/s del quemador hasta un volumen interno del recipiente reactor regenerador.
- El sistema o sistemas de fuente de energía de regenerador también pueden comprender al menos un conducto de retorno para transportar al menos una parte del gas de escape enfriado G desde el volumen interno del recipiente del reactor regenerador hasta el quemador o quemadores de gas y/o el conducto o conductos de transporte del quemador.
- 25
- El primer gas de quemador E es preferiblemente una mezcla de gas/gas que contiene oxígeno, como el gas oxígeno O_2 y/o aire.
- En una configuración ejemplar, el sistema regenerador de fuente de energía comprende además un intercambiador de calor configurado para transferir calor del gas de escape G al volumen interno del recipiente regenerador, y en el que el conducto de retorno está configurada para transportar la porción del gas de escape G enfriado que ha pasado por el intercambiador de calor y fluye hacia abajo.
- 30
- En otra configuración ejemplar, el quemador de gas comprende al menos una segunda entrada de quemador para alimentar/dejar entrar en el quemador un segundo gas de quemador F diferente del primer gas E, por ejemplo gas natural y/o gas hidrógeno.
- 35
- Al menos uno de los gases del primer quemador E y del segundo quemador F es combustible.
- El gas de escape G producido en el interior del quemador de gas puede ser el resultado de reacciones entre los gases primero y segundo E,F.
- La temperatura del gas de escape G suele ser muy superior a la temperatura del primer gas E y (si está presente) del segundo gas F. Por ejemplo, el primer y el segundo gas E,F pueden tener una temperatura comprendida entre 5 y 25 °C, mientras que el gas de escape G puede tener una temperatura comprendida entre 1000 y 1200 °C.
- 40
- El transporte de al menos una parte del sorbente regenerado A desde la salida o salidas del regenerador hasta el reactor o reactores del reformador puede realizarse a través de una o más entradas del reformador o a través de una o más entradas de reciclado dedicadas.
- 45
- En otra configuración ejemplar, el sistema comprende además un controlador automático en comunicación de señal con la fuente de energía del regenerador a través de un conducto de comunicación de la fuente de energía.
- El controlador puede estar configurado para controlar automáticamente el funcionamiento del sistema de alimentación del regenerador basándose en uno o más de los siguientes parámetros:
- 50
- un caudal del primer gas de quemador E hacia el quemador,
 - si procede, un caudal del segundo gas de quemador F hacia el quemador,
 - un caudal del material de alimentación B que fluye hacia el reactor reformador,

ES 2 981 852 T3

- un caudal de vapor C que fluye hacia el reactor reformador,
 - un caudal de una mezcla de material de alimentación B y vapor C que fluye hacia el reactor reformador,
 - un caudal de fluido compuesto por sorbente A* usado y CO₂ que fluye hacia el recipiente regenerador,
 - si procede, un caudal de gas hidrógeno que sale del separador,
- 5
- una temperatura dentro del recipiente regenerador,
 - una temperatura de los gases de escape G que entran y/o salen del recipiente regenerador, por ejemplo antes y/o después de un intercambiador de calor, y
 - un caudal del gas de escape G que entra o sale del recipiente regenerador, por ejemplo antes o después de un intercambiador de calor.
- 10
- En otra configuración ejemplar, el conducto de retorno comprende una válvula de control del gas de escape configurada para regular un caudal R_G del gas de escape G que fluye por el conducto de retorno. La válvula de control de gases de escape puede comprender un controlador de válvula de control configurado para controlar el caudal R_G de los gases de escape G.
- 15
- En otra configuración ejemplar, el conducto de retorno comprende un sensor de flujo configurado para medir el caudal R_G del gas de escape G que circula por el conducto de retorno.
- 20
- En otra configuración ejemplar, el sistema comprende además un controlador automático en comunicación de señales con el sensor de flujo a través de un conducto de comunicación del controlador de caudal. El controlador puede estar configurado para controlar automáticamente la válvula de control de gases de escape basándose en el caudal R_G medido por el sensor de flujo a través de un conducto de comunicación de la válvula de control.
- 25
- En otra configuración ejemplar, cualquier intercambiador de calor está configurado de tal manera que una temperatura de salida del intercambiador de calor T_{he} del gas de escape G que sale del intercambiador de calor es inferior al 90 % de una temperatura de entrada del intercambiador de calor T_{hi} que entra en el intercambiador de calor, más preferiblemente inferior al 85 %, por ejemplo el 82 %.
- 30
- En otra configuración ejemplar, el sistema comprende además un segundo conducto de retorno para transportar una parte de los gases de escape enfriados G desde el volumen interno del recipiente del reactor regenerador, por ejemplo desde un intercambiador de calor, a un sistema de tratamiento de gases de escape situado fuera del recipiente del regenerador. El sistema de tratamiento de gases de escape suele ser un sistema de tratamiento de CO₂.
- 35
- En otra configuración ejemplar, el sistema comprende además un segundo conducto de material combustible para transportar una parte del material de alimentación B, como gas natural o biogás, que entra en el reformador también al quemador de gas. Este segundo conducto de material combustible puede estar en comunicación fluida con la segunda entrada del quemador.
- 40
- Por lo tanto, el gas que entra en el quemador (además del gas combustible como el oxígeno/aire) puede ser una mezcla del material de alimentación B y otro gas F o sólo material de alimentación B.
- 45
- En otra configuración ejemplar, el sistema comprende además un purificador de hidrógeno configurado para producir H₂ puro, por ejemplo un purificador de hidrógeno por adsorción por cambio de presión (PSA), y un conducto de transporte de hidrógeno para transportar el gas que contiene hidrógeno producido en el reactor reformador al purificador de hidrógeno, típicamente a través de un separador configurado para separar el sorbente A* usado y el hidrógeno H₂.
- 50
- En otra configuración ejemplar, el sistema comprende además un conducto de transporte del purificador de hidrógeno para transportar los gases de escape producidos en el purificador de hidrógeno al quemador de gas, por ejemplo a través de la(s) segunda(s) entrada(s) del quemador. El gas que entra en el quemador (además del gas combustible, como oxígeno/aire) puede ser una mezcla de los gases de escape, el material de alimentación B y otro gas F.
- En otra configuración ejemplar más, el quemador de gas está configurado de tal manera que, cuando el gas que entra en el quemador de gas tiene una temperatura inferior a 100 °C, preferiblemente inferior a 50 °C, aún más preferiblemente inferior a 25 °C, por ejemplo 10 °C, la temperatura del gas de escape G expulsado por la salida del quemador es superior a 900 °C, preferiblemente superior a 1000 °C, aún más preferiblemente superior a 1050 °C, por ejemplo 1 100 °C.
- En otra configuración ejemplar, el reactor reformador y/o el reactor regenerador incluyen un lecho fluidizado.
- En otra configuración ejemplar, el reactor reformador se selecciona del grupo formado por:
- i) un reactor reformador (100) configurado para soportar el reformado de metano con vapor mejorado por sorción,

ii) un reactor reformador (100) configurado para soportar el desplazamiento de gas - agua mejorado por sorción, o

iii) una combinación de i) y ii).

5 En otra configuración ejemplar, el sistema comprende un separador configurado para separar el sorbente usado A* del gas hidrógeno H₂ expulsado del reactor reformador. El separador comprende una entrada de separador para alimentar el gas hidrógeno H₂ y el sorbente usado A* en el separador y una salida de separador para expulsar el sorbente usado A* separado. En esta configuración ejemplar, el sistema puede comprender además un conducto de transporte del separador para transportar el sorbente A* usado y el gas hidrógeno H₂ desde la salida del reformador hasta la entrada del separador, un conducto de transporte del regenerador para transportar el flujo del sorbente A* usado desde la salida del separador hasta la entrada del regenerador y un conducto de transporte del hidrógeno para transportar el hidrógeno separado hasta el purificador de hidrógeno.

10 En un segundo aspecto, la invención se refiere a un método para producir gas hidrógeno H₂ utilizando el sistema descrito anteriormente.

El método comprende las etapas de:

15 A. introducir el material de alimentación B (como combustible de hidrocarburo) y el vapor C en el reactor reformador a través de una o más entradas del reformador, en el que el reactor reformador contiene sorbente A de captura de dióxido de carbono (como óxido de calcio CaO) y preferiblemente también un catalizador para catalizar las reacciones de reformado,

20 B. reformar el material de alimentación B y el vapor C dentro del reactor reformador para producir la mezcla de gas reformado y el sorbente usado A* (como el carbonato cálcico CaCO₃),

C. transportar al menos una parte del sorbente A* usado y al menos una parte de la mezcla de gas reformado desde el reactor reformador al reactor regenerador a través de conductos de transporte,

25 D. introducir el primer gas de quemador E, y preferiblemente también un segundo gas de quemador F, en el quemador o quemadores de gas a una temperatura de entrada del quemador T_{bi}, en la que el quemador de gas está configurado para permitir que el primer gas de quemador E, con cualquier segundo gas de quemador F, produzca un gas de escape G a una temperatura de salida del quemador T_{bo} superior a la temperatura de entrada del quemador T_{bj},

30 E. Transportar el gas de escape G desde el quemador o quemadores de gas al volumen interno del recipiente del reactor regenerador (201), por ejemplo al intercambiador de calor dispuesto dentro del volumen interno para la transferencia de calor desde el gas de escape G, en el que el quemador o quemadores de gas están configurados de tal manera que el calor hace que el sorbente A* utilizado dentro del recipiente regenerador libere al menos una parte del dióxido de carbono CO₂ para regenerar al menos parcialmente el sorbente A de captura de dióxido de carbono de la etapa A,

35 G. transportar al menos una parte R_G del flujo de los gases de escape G que salen del volumen interno del recipiente del reactor regenerador, por ejemplo desde la salida de un intercambiador de calor, al quemador o quemadores de gas para enfriar los gases de escape G desde la temperatura de salida del quemador T_{bo} hasta una temperatura de entrada del regenerador T_{hi} y

H. transportar el sorbente A capturador de dióxido de carbono regenerado en la etapa F desde el reactor regenerador al reactor reformador a través de cualquier conducto de reciclado.

40 La temperatura de entrada del regenerador T_{hi} debe ser suficiente para calentar el sorbente usado A* de forma que se libere dióxido de carbono CO₂.

La temperatura de salida del quemador T_{bo} es preferentemente al menos 50 veces superior a la temperatura de entrada del quemador T_{bj}.

El método puede comprender además al menos una de las siguientes etapas:

- 45
- introducir el material de alimentación B que se alimenta en el reactor reformador también en el quemador de gas a través de un segundo conducto de material combustible,
 - transportar el gas que contiene hidrógeno producido en el reactor reformador al menos a un purificador de hidrógeno, como un purificador de hidrógeno por adsorción por cambio de presión (PSA), a través de uno o más conductos de transporte de hidrógeno,
- 50
- introducir los gases de escape producidos en el interior del al menos un purificador de hidrógeno en el quemador de gas a través de un conducto de transporte del purificador de hidrógeno,

- transportar el sorbente usado A* y la mezcla de gas reformado desde el reactor reformador hasta al menos un separador configurado para separar el sorbente usado A* del gas hidrógeno H₂ a través de un conducto de transporte del separador,
- separar el sorbente A* usado del gas hidrógeno H₂ mediante el uso del al menos un separador,
- 5 - transportar el gas hidrógeno separado H₂ a al menos un purificador de hidrógeno a través de un conducto de transporte de hidrógeno,
- introducir en el quemador de gas de los gases de escape producidos en el interior del al menos un purificador de hidrógeno a través de uno o varios conductos de transporte del purificador de hidrógeno,
- en la etapa C, transportar el sorbente usado A* separado desde el separador hasta el reactor regenerador a través de al menos un conducto de transporte del regenerador que comprende un dispositivo de regulación configurado para permitir el ajuste accionado por el usuario de un caudal R_{A*} del sorbente usado A* y
- 10 - monitorizar un caudal R_{A*} del sorbente usado A* que fluye hacia la entrada del regenerador y, si la variación del caudal R_{A*} supera un umbral de caudal predeterminado, regular un caudal del gas de escape G que antes y después del intercambiador de calor mediante un controlador automático en comunicación de señales con la fuente de energía del regenerador para garantizar que la temperatura de salida del quemador T_{bo} se mantiene dentro de un umbral de temperatura predeterminado durante el funcionamiento.

El transporte del gas que contiene hidrógeno al purificador o purificadores de hidrógeno se realiza normalmente después de separar el sorbente A* usado en el separador.

- 20 El gas que entra en el (los) quemador(es) puede ser, además del gas combustible como el oxígeno/aire, una mezcla de los gases de escape, el material de alimentación B y otro gas F.

Breve descripción de los dibujos

Se adjuntan los siguientes dibujos para facilitar la comprensión de la invención. Los dibujos muestran realizaciones de la invención, que ahora se describirán sólo a modo de ejemplo, donde:

- 25 la Fig. 1 muestra un sistema para producir gas hidrógeno utilizando un sistema de fuente de energía de regenerador y un controlador automático de acuerdo con una primera realización de la invención,
- la Fig. 2 muestra más detalles del sistema de alimentación del regenerador y del controlador automático del sistema de la Fig. 1,
- la Fig. 3 muestra un sistema para producir gas hidrógeno utilizando un sistema de fuente de energía de regenerador y un controlador automático de acuerdo con una segunda realización de la invención,
- 30 la Fig. 4 muestra un sistema para producir gas hidrógeno utilizando un sistema de fuente de energía de regenerador y un controlador automático de acuerdo con una tercera realización de la invención y
- la Fig. 5 muestra el sistema de la Fig. 4 donde se indican las reacciones químicas típicas, los flujos y las temperaturas.

- 35 Descripción detallada de la invención

En lo que sigue, las realizaciones de la invención se discutirán en más detalle con referencia a los dibujos adjuntos. Debe entenderse, sin embargo, que los dibujos no pretenden limitar la invención a la materia representada en los dibujos.

- 40 Con referencia a las figuras 1-5, un sistema ejemplar 1 para producir gas hidrógeno comprende los siguientes componentes principales:

- un reactor reformador 100 que contiene óxido de calcio (CaO) como sorbente A captador de CO₂, en el que el gas de alimentación del sorbente A (por ejemplo, un gas natural y/o un biogás) B y el vapor C se reforman en un proceso de calcinación exotérmica para obtener una mezcla de gas reformado que contiene gas hidrógeno H₂ y un sorbente A* usado en forma de carbonato de calcio sólido (CaCO₃),
- 45 - un reactor regenerador 200 que tiene un recipiente regenerador 201 y un sistema de quemador 220,
- un conducto de transporte regenerador 150, 320 para transportar el carbonato cálcico (CaCO₃) de la mezcla de gas reformado al recipiente regenerador 201 y
- un conducto de reciclado 210 para transportar el óxido de calcio regenerado (CaO) al reactor reformador 100.
- 50 Inicialmente, el vapor C y el gas de alimentación B se transportan al reactor reformador 100 a través de un conducto dedicado de entrada de vapor 2 y un conducto dedicado de entrada de material combustible 3, respectivamente. Antes de ser introducidos en el volumen interior del reactor reformador 100 a través de una entrada de reformador 130, el vapor C y el gas de alimentación B se introducen en un conducto de alimentación

común 4, creando así una mezcla de alimentación D. Sin embargo, también puede contemplarse la introducción de los dos fluidos B,C en el reactor reformador 100 a través de entradas separadas.

5 Con especial referencia a la Fig. 5, las temperaturas típicas de la mezcla de alimentación D durante el funcionamiento es de 250 °C, mientras que las temperaturas típicas dentro del reactor reformador 100 está entre 550 °C y 650 °C.

10 La Fig. 2 muestra el sistema de quemador 220 con más detalle. El sistema de quemador 220 incluye en esta configuración ejemplar un quemador de gas 221 en el que un gas oxidante E, como el gas oxígeno O₂ o el aire, fluye a través de un conducto de oxígeno 5 y una primera entrada de quemador 222 y un gas de combustión F fluye a través de un conducto de alimentación de quemador 6 y una segunda entrada de quemador 222'. Los gases de entrada E,F se someten a una combustión en el quemador de gas 221 y un gas de escape caliente G de típicamente CO₂ y vapor de agua H₂O a una temperatura elevada T_{bo} se expulsa a un conducto de transporte del quemador 225 a través de una salida del quemador de gas 223.

Las temperaturas de los gases de entrada E,F están típicamente en el rango 5-25 °C (por ejemplo 10 °C) y la temperatura del gas de escape G está típicamente en el rango 1000-1200 °C (por ejemplo 1100 °C).

15 El gas de escape G se conduce además a través de un intercambiador de calor 224 dispuesto dentro del recipiente regenerador 201 a través de una entrada de intercambiador de calor 224' y una salida de intercambiador de calor 224". Para regenerar el sorbente A (CaO), el sorbente A* usado (CaCO₃) y cualquier material del lecho dentro del recipiente regenerador 201 deben alcanzar una temperatura de entre 800 °C y 900 °C, preferiblemente alrededor de 850 °C. Además, una presión parcial de CO₂ en fase gaseosa superior a 0 bar, por ejemplo aproximadamente 0.2 bar, puede garantizar una liberación adecuada del CO₂.

20 No es deseable calentar el sorbente usado A* (CaCO₃) significativamente por encima de la temperatura requerida, ya que esto podría acelerar la degradación del sorbente por sinterización, aglomeración y/o cierre de poros.

25 El sorbente regenerador A se transporta a través de una salida de sorbente 215 y el conducto de reciclado 210 a una entrada de sorbente 120 del reactor reformador 100, con lo que se consigue la reposición de sorbente (véase, por ejemplo, la Fig. 1).

30 Como se ilustra en la Fig. 2, el gas de escape enfriado G que sale del intercambiador de calor 224 a través de la salida del intercambiador de calor 224" es conducido fuera del recipiente regenerador 201 a través de un conducto de retorno 226. El gas de escape enfriado G suele tener una temperatura de aproximadamente 900 °C. El gas de escape enfriado G suele tener una temperatura de aproximadamente 900 °C.

35 Fuera del recipiente regenerador 201, el conducto de retorno 226 se divide en dos conductos 226', 226"; un conducto de retorno del quemador 226' y un conducto de retorno del depósito 226". El conducto guía del quemador 226' conduce el gas de escape enfriado G a un caudal R_G a la parte posterior del quemador de gas 221, por ejemplo, a la salida del quemador de gas 223 o inmediatamente antes, y/o directamente al conducto de transporte del quemador 225, con lo que se refrigera el gas de escape caliente G que sale del quemador de gas 221. El gas de escape enfriado G que entra en el conducto de retorno del depósito 226" se conduce a un depósito 600 que normalmente es un sistema de tratamiento de CO₂ que también recibe gas como CO₂ directamente del recipiente regenerador 201 a través de una salida de CO₂ 235 y un conducto de CO₂ 240.

40 Siguiendo con referencia a la Fig. 2, el caudal R_G puede regularse al disponer una válvula de control de gases de escape 227 en el conducto de retorno del quemador 226'. La válvula 227 puede ser regulada por un controlador de flujo de gas de escape 227' que recibe señales de instrucción de un sistema de control 500 a través de un conducto de comunicación de regulación térmica 504. Obsérvese que el caudal R_G también puede regularse instalando una o más válvulas 227 en el conducto de retorno 226 aguas arriba de la división y/o en el conducto de retorno del depósito 226".

45 Puede instalarse un sensor de flujo 227" para medir en tiempo real el caudal R_G de los gases de escape enfriados G. En la Fig. 2, dicho sensor de flujo 227" está instalado en comunicación de señales y/o fluidos con el conducto de retorno del quemador 226' para mediciones directas del caudal. Además, el conducto de comunicación de regulación térmica 504 puede dividirse en un conducto de regulación de la válvula de caudal 504' para el control del sensor de flujo 227" y un conducto de medición del sensor de flujo 504" para la recepción de los datos de caudal procedentes del sensor de flujo 227. El conducto de regulación del sensor de flujo 504' y el conducto de medición del sensor de flujo 504" pueden también, o además, configurarse como conductos separados del sistema de control 500.

55 Por último, el conducto de comunicación de regulación del calor 504 puede dividirse en un conducto de regulación del quemador 504" para transmitir datos relacionados con el calor al quemador de gas 221, que de nuevo puede utilizarse para, por ejemplo, regular el flujo del primer gas E (como oxígeno o aire) y/o el segundo gas F (como gas natural), controlando así la producción de gas de escape caliente G.

ES 2 981 852 T3

La regulación de los gases E,F puede alternativamente, o además, ser el resultado del caudal medido R_G desde el sensor de flujo 227".

El mismo conducto de regulación del quemador 504" puede utilizarse para transmitir señales al sistema de control 500 con información relativa al estado del sistema de quemador 220.

- 5 El sistema de control 500 también puede recibir señales relacionadas con la temperatura de un sensor de temperatura 250 a través de un conducto de medición de la temperatura del regenerador 511. El sensor de temperatura 250 está configurado para medir las condiciones de temperatura dentro del recipiente regenerador 201, por ejemplo la temperatura del sorbente y/o cualquier temperatura del lecho. Tales mediciones de temperatura, y típicamente en conjunción con las mediciones de caudal por el sensor de flujo 227", pueden (a través del sistema de control 500 y los respectivos conductos 504, 504", 504") dictar nuevos ajustes de la válvula de control de gases de escape 227 y/o del sistema de quemador 220.

- 15 Las propiedades como el caudal, la temperatura y la composición de los gases (típicamente CO_2) enviados desde el recipiente regenerador 201 al depósito 600 pueden medirse mediante herramientas de medición adecuadas y los datos de medición pueden enviarse a través de un conducto de medición de CO_2 505 al sistema de control 500 para su posterior procesamiento. Los datos pueden dictar el ajuste de los parámetros de otras partes del sistema de producción de hidrógeno 1, por ejemplo, la regulación de la temperatura del sistema de quemadores 220, como se ha descrito anteriormente, y/o el caudal/la composición de la mezcla de alimentación D en el reactor reformador 100.

- 20 La mezcla de gas reformado expulsada del reactor reformador 100 a través de una salida de reformador 155 es guiada a un separador 300 por un conducto de transporte de separador 150. El separador 300 puede ser un ciclón y está configurado para separar al menos el sorbente usado A* del gas hidrógeno (H_2). La mezcla de gas reformado puede comprender otros fluidos distintos del gas hidrógeno y los sorbentes usados A*, por ejemplo monóxido de carbono (CO) y material de alimentación B.

- 25 El separador 300 comprende una entrada de separador 304 para alimentar la mezcla de gas reformado en el separador 300, una salida de carbonato 305 para expulsar, entre otros, el sorbente usado A* separado y una salida de hidrógeno 315 para expulsar, entre otros, el gas de hidrógeno separado.

El sorbente usado A* separado se transporta además a través de un conducto de transporte de regenerador 320 a una entrada de regenerador 205 del recipiente regenerador 201.

- 30 Asimismo, el gas hidrógeno separado (y cualquier otro gas como CO , CO_2 y material de alimentación B) se transporta a través de un conducto de hidrógeno 310 a una unidad de absorción por cambio de presión (PSA) 700 para una mayor purificación del gas.

- 35 Las propiedades tales como caudales, presiones, temperaturas y composiciones tanto del sorbente usado A* como del H_2 separado pueden medirse mediante herramientas de medición adecuadas, y los datos de medición pueden transmitirse al sistema de control 500 a través de un conducto de medición de sorbente usado 502 y un conducto de medición de gas 509, respectivamente. La información relativa a dichas propiedades puede utilizarse para regular otras partes del sistema de producción de hidrógeno 1, por ejemplo, la regulación de la temperatura del sistema de quemador 220, como se ha descrito anteriormente, y/o el caudal/la composición de la mezcla de alimentación D en el reactor reformador 100.

- 40 Los datos de medición relativos a propiedades tales como temperaturas, presiones y composiciones procedentes del interior del recipiente regenerador 201 también pueden enviarse directamente al sistema de control 500 a través de un conducto de medición de calor 506.

El sistema de control 500 también puede recibir dichas propiedades del conducto de reciclado 210 a través de un conducto de medición de sorbente regenerado 507.

- 45 Con especial referencia a las figuras 3 y 4, el gas de combustión F que fluye a través del conducto de alimentación del quemador 6 puede proceder total o parcialmente del material de alimentación B que fluye hacia el reactor reformador 100 disponiendo un segundo conducto de material combustible 228 en comunicación fluida entre el conducto de entrada de material combustible 3 y el conducto de alimentación del quemador 6. Para controlar este flujo de material de alimentación B hacia el quemador de gas 221, puede instalarse una válvula de control del material combustible 229 en el segundo conducto de material combustible 228. Además, el control automático de la válvula de control de material combustible 229 puede lograrse mediante la instalación de un conducto de control de combustible 512 entre el sistema de control 500 y la válvula 229, asegurando así la comunicación de señales a través de la misma.

- 55 Como se muestra en la Fig. 4, se puede proporcionar otra fuente de gas de combustión F colocando uno o más purificadores de hidrógeno en el conducto de gas de salida 701 entre la unidad PSA 700 y el conducto de alimentación del quemador 6. En cuanto al material de alimentación B, el flujo de gas de salida/gas de cola de la unidad PSA 700 puede controlarse mediante una válvula de control específica (no mostrada).

De forma similar a el segundo conducto de material combustible 228, puede instalarse un conducto regeneradora de vapor 231 en comunicación fluida entre el conducto de entrada de vapor 2 y una entrada de vapor 230 en el recipiente regenerador 201 para permitir la entrada de vapor a este último.

- 5 El sistema de control 500 también puede recibir datos de medición que proporcionen información sobre las propiedades de cualquier otra parte del sistema 1 de producción de hidrógeno. Como se muestra en las figuras 3 y 4, el sistema 1 puede comprender además
- un conducto de medición de entrada de alimentación 501a que garantiza la comunicación de señales entre el conducto de entrada de material combustible 3 y el sistema de control 500,
 - 10 – un conducto de medición del material combustible 501b que garantiza la comunicación de señales entre el conducto de alimentación 4 y el sistema de control 500,
 - un conducto de medición de vapor 501c que garantiza la comunicación de señales entre el conducto de entrada de vapor 2 y el sistema de control 500,
 - otro conducto de medición de vapor 501d que garantiza la comunicación de señales entre el conducto regenerador de vapor 231 y el sistema de control 500,
 - 15 – un conducto de medición del reformador 501e que garantiza la comunicación de señales entre el reactor reformador 100 y el sistema de control 500.

El conducto de medición del reformador 501e puede, por ejemplo, transmitir señales al sistema de control 500 que contengan información relativa a al menos una de las siguientes magnitudes: presión, temperatura y composición.

- 20 También pueden preverse conductos de comunicación de señales desde el conducto de transporte del separador 150 y/o el conducto de gas de salida del purificador de hidrógeno 701 hasta el sistema de control 500.

A continuación, se describirá un ejemplo específico de funcionamiento para garantizar un transporte de energía suficiente desde el sistema de quemador 220 antes mencionado hasta el intercambiador de calor 224 para alcanzar una temperatura dentro del recipiente regenerador 201 que permita una liberación eficiente de CO₂ desde el CaCO₃ (sorbente usado, A*) para regenerar el CaO (sorbente A).

El intercambiador de calor 224 puede ser un intercambiador de calor de haz de tubos en lecho y el regenerador 200 puede incluir un lecho fluidizado.

- 30 A partir de estudios de modelización y basándose en lo aprendido en una planta prototipo, la temperatura ideal del gas a la entrada del haz intercambiador de calor 224' es de unos 1100 °C, descendiendo a unos 900 °C a la salida del haz 224".

A una velocidad de circulación de sólidos de diseño, la entrada de calor deseada puede ser de unos 10 kW/kg H₂/h de capacidad de producción (~350 kW para una capacidad de producción de 30 kg H₂/h). Cuando el índice de circulación de sólidos aumenta o disminuye, el aporte de calor del gas de escape G que circula por el conducto de transporte del quemador 225 hacia el regenerador 200 puede ajustarse automáticamente de acuerdo con lo anterior mediante el sistema descrito anteriormente.

Un parámetro de entrada eficaz para dicha regulación automática es la temperatura del lecho regenerador. Debido a la intensa mezcla en el lecho fluidizado, la temperatura del lecho responde rápidamente a las variaciones en la tasa de circulación de sólidos R_A*.

- 40 De este modo, un cambio en la temperatura del lecho da lugar a una respuesta rápida en el suministro de calor del sistema de quemador 220, manteniendo al mismo tiempo la temperatura correcta del gas en la entrada del haz intercambiador de calor 224'. El suministro de calor desde el sistema de quemador 220 es una función directa de la velocidad de combustión del combustible en el volumen interior del quemador de gas 221, y se regula mediante la adición de combustible desde el conducto de oxígeno 5 y el conducto de alimentación del quemador 6, que a su vez se controla mediante la regulación del caudal de combustible, por ejemplo, mediante el ajuste automático del caudal a través de la válvula de control de material combustible 229.

El quemador de gas 221 puede configurarse para dar prioridad al gas de cola PSA que sale de la unidad PSA 700 a través del conducto de gas de cola PSA 701, y añadir gas natural fresco a través del conducto de alimentación del quemador 6 cuando no sea suficiente. Por lo tanto, la regulación del flujo de combustible principal se consigue al controlar el flujo de gas natural mediante válvulas de control en uno o más de los conductos de alimentación del quemador 6, el segundo conducto de material combustible 228 y el conducto de gas de cola del PSA 701.

55 Cuando se detectan variaciones en, por ejemplo, la tasa de circulación de sólidos R_A* en el conducto de transporte del regenerador 320 y/o la temperatura del lecho en el recipiente del regenerador 201, el sistema de control 500 regula el flujo de gas natural fresco hacia el quemador 221, controlando así la entrada de calor al regenerador 220.

El oxidante para el sistema de quemador 220 es típicamente rico en oxígeno/desprovisto de nitrógeno, producido por un segundo PSA, un VPSA o separación criogénica. El flujo de oxidante está regulado por el flujo total de combustible, lo que permite un exceso de oxígeno en la cámara de combustión para la oxidación completa de todos los compuestos de gas combustible.

- 5 La temperatura de combustión en un quemador de oxicomcombustible es generalmente muy elevada en comparación con los quemadores alimentados por aire (2000-2500 °C) y, por tanto, muy superior al límite del material de construcción del haz intercambiador de calor. Por lo tanto, y para mejorar la eficiencia del sistema global del quemador, se ha desarrollado un sistema de recirculación de los gases de combustión. El sistema de recirculación transporta la mayor parte (~90 % v) de los gases de combustión que salen del intercambiador de calor de lecho del regenerador 200 de vuelta a la cámara de combustión del quemador, con lo que 1) se aumenta el caudal de gas que llega al intercambiador de calor y 2) se reduce la temperatura del caudal de gas hasta el nivel deseado. Para superar la pérdida de presión, pueden instalarse ventiladores de alta temperatura en el conducto de gases de combustión entre la salida del intercambiador de calor 224" y el conducto de retorno del quemador 226', 226".
- 10
- 15 La división del flujo entre el reciclado hacia el quemador y el flujo hacia el sistema aguas abajo puede ser controlada por la contrapresión en el sistema aguas abajo.

En la descripción precedente, se han descrito varios aspectos del sistema de acuerdo con la invención con referencia a la realización ilustrativa. A efectos de explicación, se han establecido números, sistemas y configuraciones específicos con el fin de proporcionar una comprensión completa del sistema y su funcionamiento. Sin embargo, esta descripción no pretende interpretarse en un sentido limitativo.

20

Lista de números de referencia

- | | |
|-----|---|
| 1 | Sistema de producción de hidrógeno |
| 2 | Conducto de entrada de vapor |
| 3 | Conducto de entrada de material combustible |
| 25 | 4 Conducto de alimentación |
| | 5 Primer conducto de entrada del quemador/conducto de oxígeno |
| | 6 Segundo conducto de entrada del quemador/conducto de alimentación del quemador |
| 100 | Reactor reformador |
| 120 | Entrada de sorbente |
| 30 | 130 Entrada del reformador para la mezcla D de material de alimentación B y vapor C |
| | 150 Conducto de transporte de separadores |
| | 155 Salida de reformador |
| | 200 Reactor regenerador |
| | 201 Recipiente regenerador |
| 35 | 205 Entrada del regenerador |
| | 210 Conducto de reciclaje |
| | 215 Salida del regenerador/salida del sorbente |
| | 220 Sistema de energía del regenerador/sistema de calor del regenerador/sistema de quemadores |
| | 221 Quemador de gas |
| 40 | 222 Primera entrada del quemador de gas/primera entrada del quemador |
| | 222' Segunda entrada del quemador de gas/segunda entrada del quemador |
| | 223 Salida del quemador de gas |
| | 224 Intercambiador de calor |
| 45 | 224' Entrada del intercambiador de calor |
| | 224" Salida del intercambiador de calor |
| | 225 Conducto de transporte del quemador |
| | 226 Conducto de retorno |
| | 226' Conducto de retorno del quemador |
| | 226" Conducto de retorno de CO ₂ |
| 50 | 227 Válvula de control de los gases de escape |
| | 227' Controlador del flujo de gas de escape |
| | 227" Sensor de flujo |
| | 228 Segundo conducto de material combustible |
| | 229 Válvula de control del material combustible |
| 55 | 230 Entrada de vapor |
| | 231 Conducto de regeneración de vapor |
| | 235 Salida de CO ₂ |
| | 240 Conducto CO ₂ |
| | 250 Sensor de temperatura para medir la temperatura del lecho |
| 60 | 300 Separador |
| | 304 Entrada del separador |
| | 305 Salida de sorbente usado/salida de carbonato |

ES 2 981 852 T3

	310	Conducto de hidrógeno
	315	Salida de hidrógeno
	320	Conducto de transporte de regeneradores
	400	Sistema de dosificación
5	405	Entrada del depósito
	410	Depósito
	411	Dispositivo de medición de depósitos
	415	Salida del depósito
	430	Segundo conducto de transporte del regenerador (antes de 440)
10	430	Segundo conducto de transporte del regenerador (después de 440)
	440	Dispositivo regulador de flujo
	450	Transportador sinfín
	460	Motor/motor eléctrico
	470	Variador de velocidad/regulador de frecuencia
15	500	Sistema de control/controlador automático
	501a	Conducto de medición de la entrada de alimentación
	501b	Conducto de medición del material combustible
	501c	Conducto de medición de vapor (reactor reformador)
	501d	Conducto de medición de vapor (reactor regenerador)
20	SOle	Conducto de medición del reformador
	502	Conducto de medición de sorbentes usados
	503	Conducto de medición de regulación de flujo
	504	Conducto de comunicación de regulación térmica
	504'	Conducto de regulación del caudalímetro
25	504"	Conducto de medición del sensor de flujo
	504'''	Conducto de regulación del quemador
	505	Conducto de medición de CO ₂
	506	Conducto de medición del calor
	507	Conducto de medición de sorbente regenerado
30	508	Conducto de medición del depósito
	509	Conducto de medición de gas
	510	Sistema de refrigeración
	511	Conducto de medición de la temperatura del regenerador
	512	Conducto de control de combustible
35	600	Almacenamiento de CO ₂ /Depósito/Sistema de tratamiento de CO ₂
	700	Purificador de hidrógeno/Unidad de absorción por oscilación de presión (PSA)
	701	Conducto de gas de salida del purificador de hidrógeno/conducto de gas de cola del PSA
	A	Sorbente, CaO
	A*	Sorbente usado, CaCO ₃
40	B	Materia prima/gas natural
	C	Vapor
	D	Mezcla de alimentos
	E	Primer gas/oxígeno
	F	Segundo gas/gas natural/gases de escape de PSA/gas natural y gases de escape de PSA
45	G	Gas de escape del quemador de gas
	H	Gases residuales del purificador de hidrógeno
	R _A *	Caudal del sorbente utilizado
	R _A *,H	Mayor caudal de sorbente usado
	R _A *,L	Menor caudal de sorbente usado
50	R _G	Caudal de gases de escape
	v _r	Velocidad de rotación del transportador sinfín
	v _{r,H}	Mayor velocidad de rotación del transportador sinfín
	v _{r,L}	Menor velocidad de rotación del transportador sinfín
	Q	Calor
55	T _{bi}	Temperatura de los gases de entrada E,F
	T _{bo}	Temperatura de salida del quemador de los gases de escape G/temperatura máxima de los gases de escape G
	T _{hi}	Temperatura de entrada del regenerador/temperatura de entrada del intercambiador de calor

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (1) de producción de gas hidrógeno, el sistema (1) comprende:
- un reactor reformador (100) para contener un sorbente captador de dióxido de carbono (A),
 - 5 ◦ en el que el reactor reformador (100) está configurado para permitir el reformado de un material de alimentación (B) y un vapor (C) para producir una mezcla de gas reformado que comprende un gas hidrógeno (H₂) y un gas dióxido de carbono (CO₂),
 - 10 ◦ en el que el reactor reformador (100) comprende una entrada de reformador (130) para alimentar al menos uno de los materiales de alimentación (B) y el vapor (C) al reactor reformador (100) y una salida de reformador (155) para expulsar el gas hidrógeno (H₂) y un sorbente usado (A*) producido dentro del reactor reformador (100), definiéndose el sorbente usado (A*) como un producto resultante de la reacción entre el sorbente (A) y el dióxido de carbono (CO₂),
 - un reactor regenerador (200) que comprende
 - un recipiente regenerador (201),
 - una entrada del regenerador (205) para recibir al menos una parte del sorbente usado (A*),
 - 15 ◦ un sistema de fuente de energía de regenerador (220) configurado para proporcionar calor suficiente al sorbente usado (A*) recibido para permitir la liberación de dióxido de carbono (CO₂) del sorbente usado (A*) y regenerar el sorbente captador de dióxido de carbono (A), y
 - una salida del regenerador (215) para expulsar el sorbente regenerado (A),
 - un conducto de transporte del regenerador (150, 320) para transportar el sorbente usado (A*) desde la salida del reformador (155) hasta la entrada del regenerador (205) y
 - 20 - un conducto de reciclado (210) para transportar al menos una parte del sorbente regenerado (A) desde la salida del regenerador (215) hasta el reactor reformador (100), en el que el sistema de fuente de energía del regenerador (220) comprende
 - un quemador de gas (221) que comprende
 - 25 ◦ una primera entrada de quemador (222) para alimentar un primer gas de quemador (E) al quemador (221),
 - una salida del quemador (223) para expulsar un gas de escape (G) producido en el interior del quemador de gas (221) y
 - un conducto de transporte del quemador (225) para transportar el gas de escape (G) desde la salida del quemador (223) hasta un volumen interno del recipiente del reactor regenerador (201), y
 - 30 - un conducto de retorno (226, 226') para transportar al menos una parte del gas de escape enfriado (G) desde el volumen interno del recipiente del reactor regenerador (201) hasta al menos uno de los quemadores de gas (221) y el conducto de transporte del quemador (225).
2. El sistema (1) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el sistema de fuente de energía de regenerador (220) comprende además
- 35 - un intercambiador de calor (224) configurado para transferir calor de los gases de escape (G) al volumen interno del recipiente regenerador (201) y
 - en el que el conducto de retorno (226, 226') está configurado para transportar la parte del gas de escape enfriado (G) desde el intercambiador de calor (224).
3. El sistema (1) de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en el que el quemador de gas (221) comprende además
- 40 - una segunda entrada de quemador (222') para alimentar el quemador (221) con un segundo gas de quemador (F).
4. El sistema (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el sistema (1) comprende además un controlador automático (500) en comunicación por señales con la fuente de energía de regenerador (220), el controlador (500) está configurado para controlar automáticamente el funcionamiento del sistema de energía de regenerador (220) basándose en al menos uno de
- 45 - un caudal del primer gas de combustión (E) en el quemador (221),

- un caudal del material de alimentación (B) que fluye hacia el reactor reformador (100),
 - un caudal de vapor (C) que fluye hacia el reactor reformador (100),
 - un caudal de una mezcla de material de alimentación (B) y vapor (C) que fluye hacia el reactor reformador (100),
- 5
- un caudal del sorbente usado (A*) que fluye hacia el recipiente regenerador (201),
 - una temperatura dentro del recipiente regenerador (201),
 - una temperatura de los gases de escape (G) que entran en el recipiente regenerador (201) y/o salen del recipiente regenerador (201) y
- 10
- un caudal del gas de escape (G) que entra en el recipiente regenerador (201) y/o sale del recipiente regenerador (201).
5. El sistema (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el conducto de retorno (226') comprende
- una válvula de control del gas de escape (227) configurada para regular un caudal (R_G) del gas de escape (G) que fluye por el conducto de retorno (226').
- 15
6. El sistema (1) de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la válvula de control de gases de escape (227) comprende
- un controlador de la válvula de control (227') configurado para controlar el caudal (R_G) del gas de escape (G).
7. El sistema (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el conducto de retorno (226') comprende
- 20
- un sensor de flujo (227'') configurado para medir un caudal (R_G) del gas de escape (G) que fluye por el conducto de retorno (226')
8. El sistema (1) de acuerdo con la reivindicación 7, cuando dependa de las reivindicaciones 5 o 6, en el que el sistema (1) comprende además
- 25
- un controlador automático (500) en comunicación de señales con el sensor de flujo (227''), el controlador (500) está configurado para controlar automáticamente la válvula de control de gases de escape (227) basándose en el caudal (R_G) medido por el sensor de flujo (227'').
9. El sistema (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que
- el sistema de fuente de energía de regenerador (220) comprende además
- 30
- un intercambiador de calor (224) configurado para transferir calor de los gases de escape (G) al volumen interno del recipiente regenerador (201),
 - en el que el conducto de retorno (226, 226') está configurado para transportar la parte del gas de escape enfriado (G) desde el intercambiador de calor (224) y
 - en el que el intercambiador de calor (224) está configurado de tal manera que una temperatura de salida del intercambiador de calor (T_{he}) del gas de escape (G) que sale del intercambiador de calor (224) es inferior al 90 % de una temperatura de entrada del intercambiador de calor (T_{hi}) que entra en el intercambiador de calor (224).
- 35
10. El sistema (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el sistema (1) comprende además
- 40
- un segundo conducto de retorno (226, 226'') para transportar una parte de los gases de escape (G) desde el volumen interno del recipiente del reactor regenerador (201) hasta un sistema de tratamiento de gases de escape (600).
11. El sistema (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el sistema (1) comprende además
- 45
- un segundo conducto de material combustible (228) para transportar una parte del material de alimentación (B) al quemador de gas (221).

12. El sistema (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el quemador de gas (221) está configurado de tal manera que, cuando el gas que entra en el quemador de gas (221) tiene una temperatura inferior a 100 °C, la temperatura del gas de escape (G) expulsado por la salida del quemador (223) es superior a 900 °C.
- 5 13. El sistema (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el sistema (1) comprende además:
- un separador (300) configurado para separar el sorbente usado (A*) del gas hidrógeno (H₂) expulsado del reactor reformador (100), el separador (300) comprende
 - 10 ◦ una entrada al separador (304) para alimentar el gas hidrógeno (H₂) y el sorbente usado (A*) al separador (300) y
 - una salida del separador (305) para expulsar el sorbente usado separado (A*),
 - un conducto de transporte del separador (150) para transportar el sorbente usado (A*) y el gas hidrógeno (H₂) desde la salida del reformador (155) hasta la entrada del separador (304) y
 - 15 - un conducto de transporte del regenerador (320) para transportar el flujo del sorbente usado (A*) desde la salida del separador (305) hasta la entrada del regenerador (205).
14. Un método para producir gas hidrógeno (H₂) utilizando el sistema de acuerdo con las reivindicaciones 1-13, el método comprende las etapas de:
- A. introducir el material de alimentación (B) y el vapor (C) en el reactor reformador (100), en el que el reactor reformador (100) contiene sorbente de captura de dióxido de carbono (A),
 - 20 B. reformar el material de alimentación (B) y el vapor (C) dentro del reactor reformador (100) para producir la mezcla de gas reformado y el sorbente usado (A*),
 - C. transportar al menos una porción del sorbente usado (A*) y al menos una porción de la mezcla de gas reformado desde el reactor reformador (100) al reactor regenerador (200),
 - 25 D. introducir el primer gas de quemador (E) en el quemador de gas (221) a una temperatura de entrada del quemador (T_{bi}), en la que el quemador de gas (221) está configurado para permitir que el primer gas de quemador (E) produzca un gas de escape (G) a una temperatura de salida del quemador (T_{bo}) superior a la temperatura de entrada del quemador (T_{bi}),
 - E. transportar el gas de escape (G) desde el quemador de gas (221) hasta el volumen interno del recipiente del reactor regenerador (201), en el que el quemador de gas (221) está configurado de tal manera que el calor hace que el sorbente usado (A*) dentro del recipiente regenerador (201) libere al menos una porción del dióxido de carbono (CO₂) para regenerar al menos parcialmente el sorbente captador de dióxido de carbono (A) de la etapa A,
 - 30 F. transportar al menos una porción (R_G) del flujo de gas de escape (G) que sale del volumen interno del recipiente del reactor regenerador (201) al quemador de gas (221) para enfriar el gas de escape (G) desde la temperatura de salida del quemador (T_{bo}) hasta una temperatura de entrada del regenerador (T_{hi}) y
 - 35 G. transportar al menos una porción (R_G) del flujo de gas de escape (G) que sale del volumen interno del recipiente del reactor regenerador (201) al quemador de gas (221) para enfriar el gas de escape (G) desde la temperatura de salida del quemador (T_{bo}) hasta una temperatura de entrada del regenerador (T_{hi}) y
 - H. transportar el sorbente captador de dióxido de carbono (A) regenerado en la etapa F desde el reactor regenerador (200) al reactor reformador (100).
15. El método de acuerdo con la reivindicación 14, en el que el método comprende además las etapas de
- monitorizar un caudal (R_{A*}) del sorbente usado (A*) que fluye hacia la entrada del regenerador (205) y,
 - 40 - si la variación del caudal (R_{A*}) supera un umbral de caudal predeterminado, regular un caudal del gas de escape (G) que fluye hacia y/o desde el volumen interno del recipiente del reactor regenerador (201) mediante el uso de un controlador automático (500) en comunicación de señales con la fuente de energía del regenerador (220) para garantizar que la temperatura de salida del quemador (T_{bo}) se mantiene dentro de un umbral de temperatura predeterminado durante el funcionamiento.

45

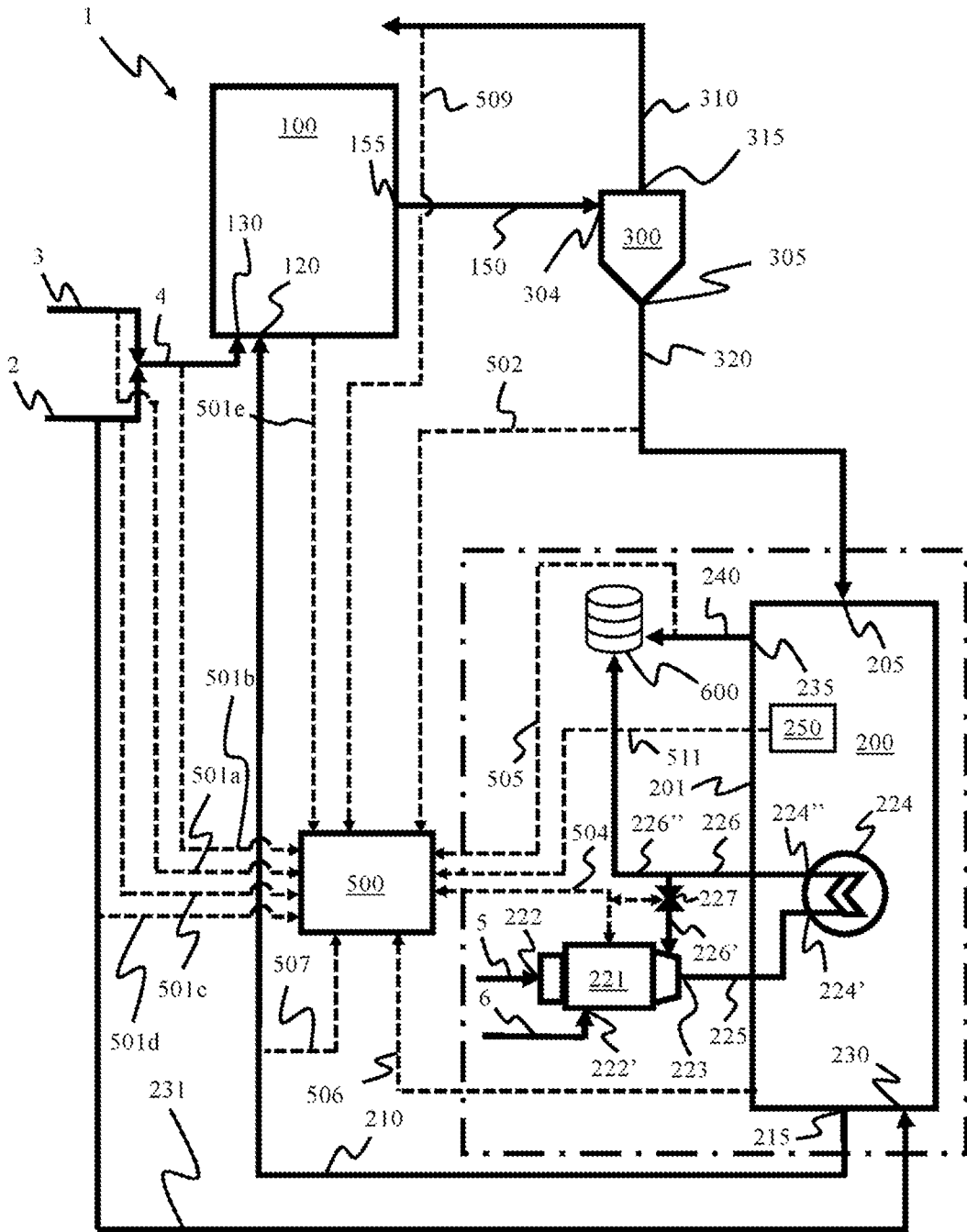


FIG. 1

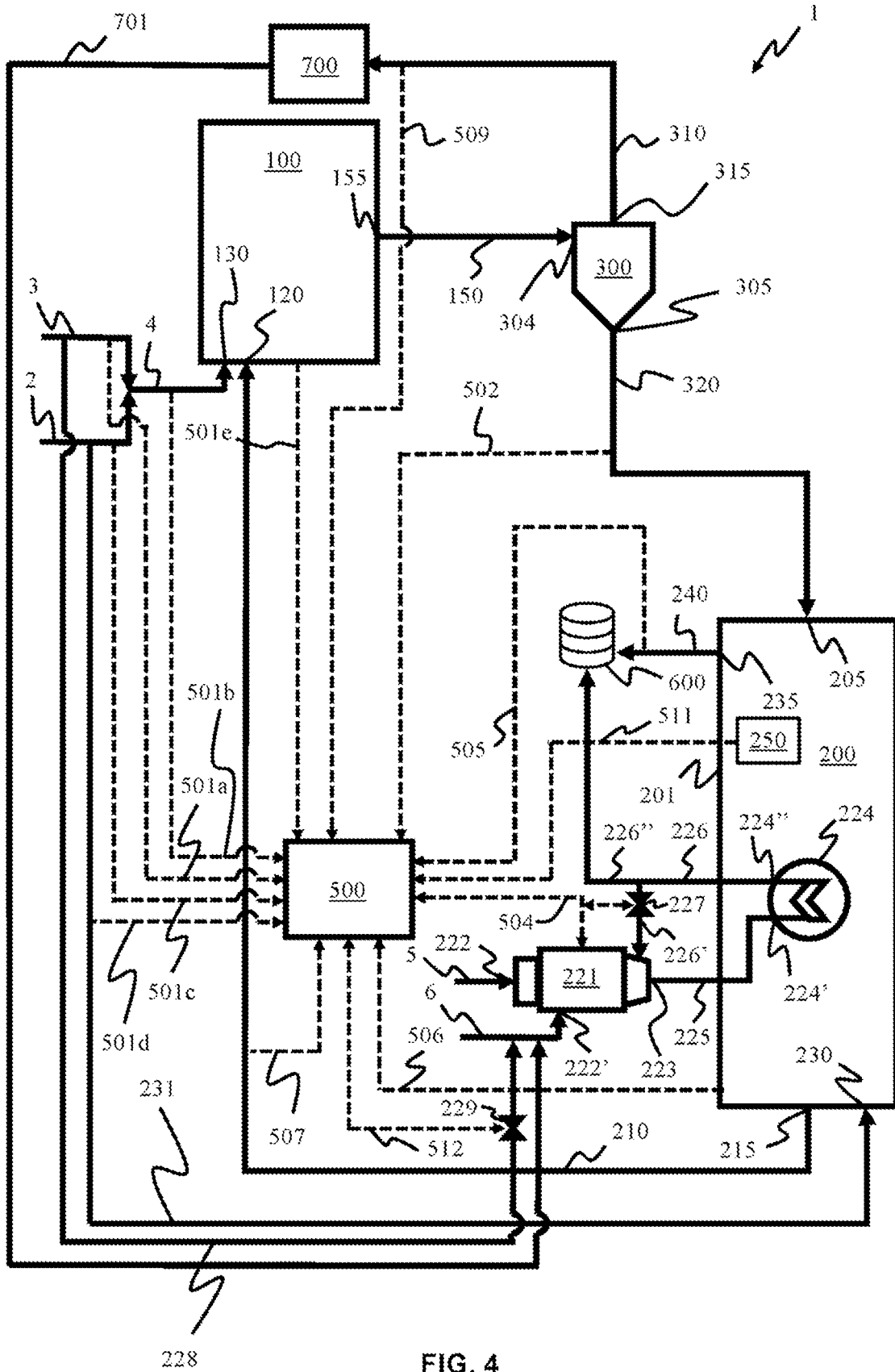


FIG. 4

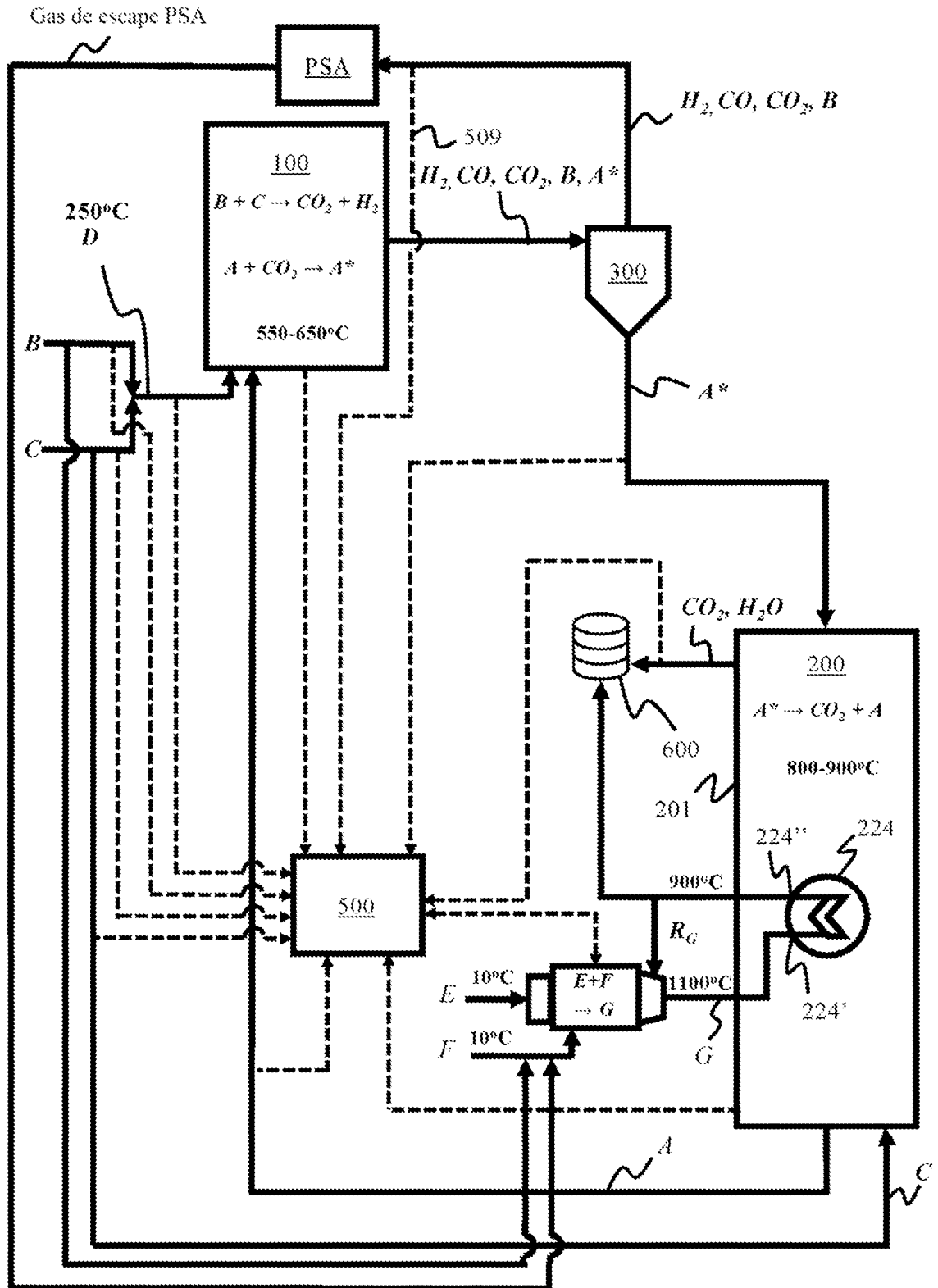


FIG. 5