

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 940 807**

51 Int. Cl.:

C10K 1/00 (2006.01)
C10K 3/04 (2006.01)
C01B 3/56 (2006.01)
C10J 3/62 (2006.01)
C10L 3/10 (2006.01)
C01B 3/00 (2006.01)
C01B 3/50 (2006.01)
C10J 3/46 (2006.01)
C10L 5/48 (2006.01)
C10L 9/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.10.2020** **E 20204801 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.03.2023** **EP 3992268**

54 Título: **Conversión de residuos sólidos en gas de síntesis e hidrógeno**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.05.2023

73 Titular/es:

RWE GENERATION NL B.V. (100.0%)
Amerweg 1
4931 NC Geertruidenberg, NL

72 Inventor/es:

EURLINGS, JOHANNES THEODORUS
GERARDUS MARIE

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 940 807 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

Conversión de residuos sólidos en gas de síntesis e hidrógeno

El objeto de la presente invención es la conversión de residuos sólidos, como residuos sólidos urbanos y/o biomasa en forma de pastillas de combustible sólido recuperado (SRF) en una corriente de producto rica en hidrógeno, preferiblemente en hidrógeno puro.

Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) se generan en todo el mundo y deben ser tratados. En el hemisferio occidental, los residuos sólidos urbanos se depositan en vertederos o se incineran. La incineración se centra en maximizar el uso del contenido energético de los residuos sólidos urbanos en contraste con el reciclaje o la reutilización del contenido de los residuos sólidos urbanos a escala molecular como, por ejemplo, en el reciclaje químico. La incineración genera problemas en cuanto a la emisión de contaminantes a la atmósfera lo que se traduce -dependiendo de la legislación nacional o incluso local- en importantes esfuerzos tecnológicos necesarios para cumplir con las limitaciones previstas por la legislación nacional/local. Además, los productos generados por la incineración, por ejemplo, cenizas volantes, cenizas de fondo, yeso y carbón activo cargado de metales pesados y/o dioxinas crean nuevos desafíos con respecto a su uso y/o procesamiento posterior. Además, la eficiencia residuo a energía, es decir, la cantidad de valor calórico transferido a energía térmica es baja y normalmente está en un intervalo de solo 20 a 25%. Se conoce un proceso para producir hidrógeno a partir de residuos de Shahabuddin M et al.: "Advances in the thermochemical production of hydrogen from biomass and residual wastes: Summary of the recent techno-economic analyses", BIORESOURCE TECHNOLOGY, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, vol. 299 (2020).

En base a esto, el objeto de la presente invención es superar los inconvenientes conocidos de la técnica anterior.

Este objeto se soluciona mediante las características de las reivindicaciones independientes. Las respectivas reivindicaciones dependientes se refieren a otras formas de realización de la invención. Otras formas de realización pueden deducirse de la memoria descriptiva que incluye las figuras y la descripción respectiva de las figuras.

El método para el procesamiento de pastillas de combustible sólido recuperado de acuerdo con la presente invención comprende las siguientes etapas:

a) torrefactar las pastillas a una temperatura de torrefacción de 250°C a 300°C generando pastillas carbonizadas y gas de torrefacción, la etapa a) preferiblemente llevada a cabo en una unidad de torrefacción como se describe a continuación;

b) moler las pastillas carbonizadas en una primera etapa de molienda para obtener pastillas carbonizadas molidas de forma gruesa, la etapa b) preferiblemente llevada a cabo en un segundo molino como se describe a continuación;

c) eliminar los residuos metálicos de las pastillas carbonizadas molidas de forma gruesa, la etapa c) preferiblemente se lleva a cabo utilizando una tercera unidad de eliminación de metales como se describe a continuación;

d) moler pastillas carbonizadas molidas de forma gruesa a pastillas carbonizadas finamente molidas, la etapa d) se lleva a cabo preferiblemente en un tercer molino como se describe a continuación;

e) gasificar las pastillas carbonizadas finamente molidas a gas de síntesis crudo en un proceso de gasificación de flujo arrastrado, la etapa e) se lleva a cabo preferiblemente en una unidad de gasificación como se describe a continuación;

f) llevar a cabo reacciones de desplazamiento de CO a gas de síntesis bruto creando gas de síntesis desplazado, la etapa f) se lleva a cabo preferiblemente en una unidad de desplazamiento de CO como se describe a continuación;

g) eliminar el dióxido de carbono y el sulfuro de hidrógeno del gas de síntesis desplazado creando un gas de síntesis; y

h) generar una corriente de gas producto rica en hidrógeno mediante la purificación del gas de síntesis, las etapas g) y h) se llevan a cabo preferiblemente en una unidad de limpieza de gas como se describe a continuación.

Las etapas a) a h) se llevan a cabo de acuerdo con la invención en el orden mencionado, es decir, primero la etapa a), luego la etapa b), luego la etapa c), luego la etapa d), y así sucesivamente. El término torrefacción en la etapa a) se entiende como un tratamiento termoquímico de las pastillas de combustible sólido recuperado a temperaturas de 250°C a 320°C. Se lleva a cabo bajo presión atmosférica y sin añadir más oxígeno, por ejemplo, sin proporcionar aire. Durante el proceso de torrefacción, el agua contenida en las pastillas de combustible sólido recuperado se evapora al igual que los volátiles incluidos en las pastillas de combustible sólido recuperado. Los biopolímeros incluidos en las pastillas de combustible sólido recuperado se descomponen parcialmente bajo la liberación de volátiles. El producto del proceso de torrefacción son pastillas carbonizadas y gas de torrefacción.

La expresión corriente de gas rica en hidrógeno o corriente gaseosa rica en hidrógeno se entiende como un gas que contiene al menos un 90% en volumen de hidrógeno, preferentemente al menos un 95% en volumen de hidrógeno,

en particular al menos un 99,5% en volumen de hidrógeno. La cantidad restante comprende argón (Ar), nitrógeno (N₂), monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂). Preferiblemente, en las etapas g) y h), primero, mediante adsorción, se eliminan el dióxido de carbono y el sulfuro de hidrógeno; luego, en segundo lugar, mediante un proceso de adsorción por oscilación de presión (PSA), el hidrógeno se separa del resto para formar la corriente de gas producto rica en hidrógeno con un contenido de hidrógeno de, preferiblemente, al menos 99,5% vol. -% .

Preferiblemente, las pastillas de combustible sólido recuperado se producen a partir de residuos sólidos urbanos, posiblemente con biomasa añadida, preferiblemente como se describe a continuación en relación con la instalación de peletización, en particular con referencia a las Figs. 1 y 3. En el proceso descrito, la mayoría de los residuos metálicos se eliminan de los desechos antes de producir las pastillas de combustible sólido recuperado. Sin embargo, es posible que esto no elimine los residuos metálicos en su totalidad. Por lo tanto, después de la etapa b) en la etapa c), la cantidad de residuos metálicos en la pastilla carbonizada se reduce aún más. A medida que se aplica una tecnología de corrientes de Foucault, los residuos metálicos de hierro y distintos de hierro pueden eliminarse de las pastillas carbonizadas molidas de forma gruesa.

En la etapa b), el proceso de molienda se lleva a cabo para generar una primera distribución de partículas que tiene un primer tamaño máximo de partículas de preferiblemente 10 mm [milímetros] y menos. En la etapa d), el proceso de molienda se lleva a cabo para generar una segunda distribución de partículas que tiene un segundo tamaño máximo de partículas que es significativamente más pequeño que el primer tamaño máximo de partículas. Preferiblemente, el segundo tamaño máximo de partícula es de 350 µm [micrómetros]. El segundo tamaño máximo de partícula se elige preferiblemente para permitir una gasificación de flujo arrastrado eficiente en la etapa e). Esto permite tanto una eliminación eficiente de residuos metálicos en la etapa c) como una gasificación de flujo arrastrado eficiente en la etapa e).

La gasificación de flujo arrastrado en la etapa e) se lleva a cabo, preferiblemente, utilizando un enfriamiento rápido con agua completo en el gas de síntesis generado durante la gasificación de flujo arrastrado. El enfriamiento da como resultado que cualquier sólido incluso en estado fundido incluido en el gas de síntesis se solidifique y se recoja como escoria en el proceso. El agua de enfriamiento rápido se usa de forma cíclica, es decir, preferiblemente no se descarga agua del sistema. El agua residual del proceso es tratada y evaporada eventualmente produciendo cloruro de sodio (NaCl) como subproducto. El condensado se reutiliza en el proceso como agua de reposición del proceso.

El método según la presente invención permite un reciclaje químico de residuos sólidos urbanos generando hidrógeno que puede ser utilizado como materia prima en procesos químicos y/o para almacenar energía.

Según una forma de realización, el gas de torrefacción generado en la etapa a) se somete a craqueo térmico para generar un gas de síntesis de torrefacción, mezclándose dicho gas de síntesis de torrefacción con el gas de síntesis bruto generado en la etapa e) antes de la etapa f).

El craqueo térmico del gas de torrefacción se lleva a cabo en una unidad de procesamiento de gas de torrefacción que se describe en detalle a continuación, en particular con referencia a la Fig. 4. El craqueo térmico se lleva a cabo preferentemente mediante un proceso de oxidación subestequiométrico para el craqueo de hidrocarburos largos posiblemente presentes en el gas de torrefacción y/o el gas combustible utilizado para el craqueo térmico. Preferiblemente, en el proceso de craqueo térmico se usa una corriente de gas rica en oxígeno con 95% en volumen de oxígeno, preferiblemente oxígeno puro. Con el craqueo térmico del gas de torrefacción, el gas de síntesis de torrefacción también se puede utilizar para el reciclaje químico, en lugar de quemarlo.

De acuerdo con una forma de realización en la etapa b), las pastillas carbonizadas se muelen hasta un tamaño de partícula de 10 mm y menos. Esto permite una eliminación eficiente de los residuos metálicos en la etapa c). La etapa b) se lleva a cabo preferiblemente en un segundo molino como se describe a continuación.

De acuerdo con una forma de realización en la etapa c), los residuos metálicos se eliminan utilizando una tecnología de corrientes de Foucault. La corriente de Foucault se aplica de tal manera que se eliminan tanto los residuos metálicos de hierro como los que no lo son. La etapa c) se lleva a cabo preferiblemente usando una tercera unidad de eliminación de metal como se describe a continuación.

De acuerdo con una forma de realización en la etapa d), las pastillas carbonizadas molidas de forma gruesa se muelen hasta un tamaño de partícula de 500 µm [micrómetro] y menos. Esto permite una gasificación de flujo arrastrado eficiente de las pastillas carbonizadas finamente molidas. Es posible añadir biomasa molida a las pastillas carbonizadas finamente molidas antes de llevar a cabo la gasificación de flujo arrastrado como se describe a continuación. La etapa d) se lleva a cabo preferiblemente en un tercer molino como se describe a continuación.

Según una forma de realización en la etapa g) se eliminan del gas de síntesis por adsorción dióxido de carbono (CO₂) y sulfuro de hidrógeno (H₂S). El dióxido de carbono respectivo se purga del respectivo al menos un adsorbedor y se usa como materia prima para procesos químicos o se purga al ambiente. El sulfuro de hidrógeno se convierte en azufre elemental mediante un proceso Claus. Los gases de escape de la unidad Claus respectivas se hidrotentan y reciclan al adsorbedor respectivo.

De acuerdo con una forma de realización en la etapa g), el hidrógeno se separa del gas de síntesis usando adsorción por oscilación de presión (PSA) creando la corriente de gas producto rica en hidrógeno y un gas de purga.

De acuerdo con una forma de realización, al menos una parte del gas de purga se proporciona a la reacción de desplazamiento de CO en la etapa e). Esto permite un aumento en la eficiencia de conversión en la unidad de desplazamiento de CO y aumenta el rendimiento total de hidrógeno.

De acuerdo con una forma de realización, una parte del gas de purga se usa como gas combustible.

- 5 El gas de purga comprende al menos uno de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), nitrógeno (N₂), hidrógeno (H₂) y argón (Ar).

Según otro aspecto de la invención se propone una planta para el procesamiento de pastillas de combustibles sólidos recuperados a una corriente gaseosa producto rica en hidrógeno, que comprende

- una unidad de torrefacción para torrefactar las pastillas de combustible sólido recuperado a pastillas carbonizadas;
- 10 – un segundo molino para moler las pastillas carbonizadas a pastillas carbonizadas molidas de forma gruesa;
- una tercera unidad de eliminación de metales que comprende una corriente de Foucault para eliminar los residuos metálicos de las pastillas carbonizadas molidas de forma gruesa;
- un tercer molino para moler las pastillas carbonizadas molidas de forma gruesa a pastillas carbonizadas finamente molidas;
- 15 – una unidad de gasificación que comprende un gasificador de flujo arrastrado para gasificar las pastillas carbonizadas finamente molidas a gas de síntesis crudo;
- una unidad de desplazamiento de CO para llevar a cabo reacciones de desplazamiento de CO a gas de síntesis crudo creando gas de síntesis desplazado;
- una unidad de limpieza de gas que comprende medios de adsorción para eliminar dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno del gas de síntesis desplazado y un separador de hidrógeno para separar hidrógeno de un gas de purga generando una corriente de gas producto rica en hidrógeno.
- 20

De acuerdo con una forma de realización, la planta comprende además una unidad de procesamiento de gas de torrefacción para el gas de torrefacción de craqueo térmico que puede generarse en la unidad de torrefacción.

Según una forma de realización, el separador de hidrógeno comprende un sistema de adsorción por oscilación de presión.

- 25 Cabe señalar que las características individuales especificadas en las reivindicaciones pueden combinarse entre sí de cualquier manera tecnológicamente razonable deseada y formar otras formas de realización de la invención. La memoria descriptiva, en particular junto con las figuras, explica la invención más detalladamente y especifica formas de realización particularmente preferidas de la invención. Las variantes especialmente preferidas de la invención y el campo técnico se explicarán ahora con más detalle con referencia a las figuras adjuntas. Cabe señalar que el ejemplo de forma de realización mostrado en las figuras no pretende restringir la invención. Las figuras son esquemáticas y pueden no estar a escala. Las figuras muestran:
- 30

Fig. 1 un ejemplo de una planta para convertir residuos sólidos en una corriente de gas producto que comprende hidrógeno;

Fig. 2 una visualización de una instalación de peletización;

- 35 Fig. 3 un ejemplo de un secador utilizado en la instalación de peletización;

Fig. 4 una unidad de torrefacción y una unidad de gasificación;

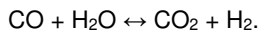
Fig. 5 una unidad de procesamiento de gas de torrefacción;

Fig. 6 una unidad de desplazamiento de monóxido de carbono (CO); y

Fig. 7 una unidad de limpieza de gases.

- 40 La Fig. 1 muestra esquemáticamente una instalación de peletización 100 en la que las pastillas de combustible sólido recuperado 117 fabricadas en la instalación de peletización 100 se suministran a una planta 1 para convertir residuos sólidos en un gas que comprende hidrógeno, en particular en gas de síntesis que comprende hidrógeno. Después de preparar pastillas a partir de residuos sólidos como residuos sólidos urbanos 103 y/o biomasa en la instalación de peletización 100, las pastillas respectivas 117 se transportan a la planta 1 y se suministran a una unidad de torrefacción 200 en la que las pastillas se oxidan subestequiométricamente a temperaturas de 250°C a 300°C. La torrefacción de las pastillas da como resultado pastillas carbonizadas 201, que se gasifican en una unidad de gasificación 300. Otro producto de la torrefacción es el gas de torrefacción 202 que se suministra a una unidad de procesamiento de gas de torrefacción 400 que se analiza en detalle con referencia a la Fig. 5 abajo. El producto de la unidad de procesamiento
- 45

de gas de torrefacción 400 es un gas de síntesis de torrefacción 401 y el de la unidad de gasificación 300 es un gas de síntesis crudo 301. El gas de síntesis de torrefacción 401 y el gas de síntesis crudo 301 comprenden vapor de agua, monóxido de carbono e hidrógeno. Tanto el gas de síntesis crudo 301 como el gas de síntesis de torrefacción 401 se introducen en una unidad de desplazamiento de CO 500 en la que el monóxido de carbono (CO) reacciona con el vapor de agua (H₂O) a dióxido de carbono (CO₂) e hidrógeno (H₂):



El gas de síntesis desplazado 501 con mayor contenido de hidrógeno en comparación con los gases de síntesis 301, 401 que se genera en la unidad de desplazamiento de CO 500 y se transfiere a una unidad de limpieza de gas 600 que separa el hidrógeno de un gas de purga 602 creando una corriente de gas producto rica en hidrógeno 601. El contenido de hidrógeno de la corriente de gas producto rica en hidrógeno 601 es de al menos 99,5% en volumen. En la unidad de limpieza de gas 600, el dióxido de carbono y el sulfuro de hidrógeno se separan de la corriente de gas restante, creando una corriente de hidrógeno crudo que se alimenta a un sistema de adsorción por oscilación de presión que permite el paso del hidrógeno y absorber todas las demás moléculas. Por despresurización cíclica mientras se usan absorbentes múltiples y se purga con hidrógeno se genera gas de purga. Simultáneamente, la corriente de producto rica en hidrógeno se produce con un contenido de hidrógeno de 99,5% en volumen y más. La instalación de peletización 100 está preferiblemente fuera del emplazamiento, es decir, no está situada en el mismo lugar que la planta 1 para convertir los residuos sólidos en un gas que comprende hidrógeno. Es ventajoso que la instalación de peletización 100 esté fuera del emplazamiento, ya que reduce la masa de los residuos sólidos urbanos, ya que normalmente se evapora aproximadamente del 30 al 35% en peso del contenido de agua de los residuos urbanos. Esto reduce significativamente la masa a transportar. Además, la huella de las plantas químicas como la planta 1 puede reducirse ya que la instalación de peletización 100 permite una producción central de pastillas de combustible sólido recuperado y el posterior transporte de estas pastillas a la planta química donde se necesiten.

De acuerdo con la Fig. 2, una instalación de peletización 100 incluye una trituradora 102. Los residuos sólidos 103, por ejemplo, los residuos sólidos urbanos (RSU) con una posible adición de biomasa, se suministran a la trituradora 102, generando residuos sólidos triturados 104 que son transportados por una primera unidad de eliminación de metales 105 que incluye un imán para eliminar los residuos de hierro 106 de los residuos sólidos triturados 104. A continuación, los residuos sólidos triturados 104 se envían a una secadora 107 en la que se elimina el agua 108 de los residuos sólidos triturados 104. Los residuos sólidos triturados 104 se transportan luego a una segunda unidad de eliminación de metales 109 para eliminar los residuos metálicos 110 de los residuos sólidos triturados 104, comprendiendo la segunda unidad de eliminación de metales 109 un segundo imán 139 para eliminar más metales de hierro y una corriente de Foucault para eliminar metales que no son de hierro.

A partir de entonces, los minerales y el acero inoxidable se eliminan como residuos adicionales 111 en un clasificador de densidad 112. En el clasificador de densidad 112, los residuos de alta densidad, como las partículas de acero inoxidable, que no se pueden eliminar con un imán ni con una corriente de Foucault, se eliminan en base a las diferencias de densidad entre los residuos adicionales 111 y el resto de los residuos sólidos triturados 104. Lo mismo se aplica a los minerales como el vidrio o la piedra que se eliminan del resto de los residuos sólidos triturados 104 en virtud de su diferencia de densidad. Ejemplos preferidos para clasificadores de densidad 112 son, por ejemplo, clasificadores de aire.

Después de eliminar los demás residuos 111, los residuos sólidos triturados 104 se han despojado de los metales de hierro (como residuos de hierro 106 y residuos metálicos 110), los metales no ferrosos, acero inoxidable y minerales como otros residuos 111, así como la humedad en forma de agua 108. El resto de los residuos sólidos triturados 104 es básicamente idéntico a los residuos sólidos 103 que se han introducido en la instalación de peletización 100. En particular, en la presente instalación de peletización 100 no es necesario separar, por ejemplo, fracciones finas de los residuos sólidos 103 o materiales que contienen cloro como, por ejemplo, poli(cloruro de vinilo) (PVC) o similares. Esto significa la relación de masa de la corriente de material previamente limpiado 113 que está presente aguas abajo de la primera unidad de eliminación de metal 105, la segunda unidad de eliminación de metal 109 y el clasificador de densidad 112 a la masa de los residuos sólidos 103 introducidos en la instalación de peletización 1 es mayor que para los enfoques conocidos.

A continuación, la corriente de material previamente limpiado 113 se muele en un primer molino 114, en particular para tamaños de partículas de menos de 25 mm para generar una corriente de material molido 115. Posteriormente, la corriente de material molido 115 se introduce en una prensa de pastillas 116 para generar pastillas de combustible sólido recuperado 117.

La Fig. 3 muestra un ejemplo de un secador 107 utilizado en una instalación de peletización 100 como en la Fig. 1. El secador 107 para secar los residuos sólidos triturados 104 comprende un horno 118 para acomodar los residuos sólidos triturados 104, una columna de lavado 119 que también se puede denominar depurador, una bomba de calor 120 y un radiador 121. El aire es aspirado al secador 107 a través de una entrada de aire del secador 122 que normalmente está conectada de forma fluida con la atmósfera. El aire aspirado puede ser transportado al radiador 121 a través de un respiradero que no se muestra en la Fig. 3. La entrada de aire del secador 122 está conectada de forma fluida con una entrada de aire 123 del radiador del radiador 121 a través de un conducto. El aire transportado al radiador 121 se calienta en el radiador 121 y sale del radiador 121 a través de una salida de aire 124 del radiador. El

- aire calentado se transporta hacia el horno 118, donde una entrada de aire del horno 125 está conectada de forma fluida con la salida de aire 124 del radiador a través de un conducto. Los residuos sólidos triturados 104 se disponen dentro del horno 118 y el aire transportado al horno 118 fluye a través de los residuos sólidos triturados 104 y sale del horno 118 a través de una salida de aire del horno 126. La temperatura del aire que se introduce en el horno 118 en un proceso de secado es de aproximadamente 80°C, donde el aire que sale del horno 118 presenta una temperatura de aproximadamente 45°C. La humedad relativa del aire que sale del horno 118 es aproximadamente del 100%.
- El horno 118 está en comunicación de fluido con la columna de lavado 119, donde la salida de aire del horno 126 está conectada de forma fluida con una entrada de aire de la columna de lavado 127. Dentro de la columna de lavado 119 el aire se pone en estrecho contacto con agua fría. De este modo, el aire húmedo y caliente se enfrían de modo que la humedad del aire se condensa y el calor latente se transfiere al calor sensible del agua. Esto da como resultado un calentamiento del agua de aproximadamente 18°C a aproximadamente 25°C a 28°C y un enfriamiento del aire de aproximadamente 28°C a 32°C a aproximadamente 22°C a 24°C. El aire enfriado sale de la columna de lavado 119 a través de una salida de aire de la columna de lavado 128 que está en comunicación de fluido con una salida de aire del secador 129.
- El aire que sale de la columna de lavado 119 también se puede conducir a la entrada de aire del secador 122 a través de una línea de recirculación 130, de modo que la salida de aire de la columna de lavado 128 se conecta de forma fluida con la entrada de aire del secador 122. Una disposición correspondiente da como resultado un menor consumo de energía del dispositivo 100. La línea de recirculación 130 no está necesariamente incluida en el dispositivo 100 y puede omitirse.
- Con respecto al flujo de aire, el radiador 121 está ubicado aguas abajo de la entrada de aire del secador 122, el horno 118 está ubicado aguas abajo del radiador 121, la columna de lavado 119 está ubicada aguas abajo del horno 118 y la salida de aire del secador 129 está ubicada aguas abajo de la columna de lavado 119.
- La columna de lavado 119 también comprende una salida de agua de la columna de lavado 131 que está conectada de forma fluida con una primera entrada de agua de la bomba de calor 132. Una primera salida de agua de la bomba de calor 133 está conectada de forma fluida con una entrada de agua de la columna de lavado 134. Por tanto, el agua circula entre la columna de lavado 119 y la bomba de calor 120. El agua se puede transportar a través de una bomba que no se muestra en la Fig. 3.
- El agua se calienta en la columna de lavado 119 a través del aire que es introducido en la columna de lavado 119 a través de la entrada de aire de la columna de lavado 127 y el agua calentada sale de la columna de lavado 119 a través de la salida de agua de la columna de lavado 131 y entra a la bomba de calor 120 a través de la primera entrada de la bomba de calor 132. La energía térmica del agua que entra en la bomba de calor 120 se transfiere seguidamente a otro ciclo de calor que se lleva a cabo entre la bomba de calor 120 y el radiador 121. El agua que entra en la bomba de calor 120 exhibe una temperatura de aproximadamente 26°C a 28°C y el agua que sale de la bomba de calor 120 a través de la primera salida de la bomba de calor 133 exhibe una temperatura de aproximadamente 18°C.
- La primera salida de la bomba de calor 133 está conectada de forma fluida con una entrada de agua de la columna de lavado 134. Por tanto, el agua enfriada dentro de la bomba de calor 120 entra en la columna de lavado 119 a través de la entrada de agua de la columna de lavado 134. Por tanto, se lleva a cabo un ciclo de calor entre la columna de lavado 119 y la bomba de calor 120, donde la energía térmica del agua que sale de la columna de lavado 119 se transfiere a través de la bomba de calor 120 a un segundo ciclo de calor entre la bomba de calor 120 y el radiador 121.
- Una segunda salida de bomba de calor 135 está conectada de forma fluida y, por tanto, térmicamente con una entrada de agua del radiador 136 y una salida de agua del radiador 137 está conectada de forma fluida y, por tanto, térmicamente con una segunda entrada de bomba de calor 138. El agua se transporta por tanto a través de bombas que no se muestran en la Fig. 3 entre la bomba de calor 120 y el radiador 121. Por consiguiente, se lleva a cabo un segundo ciclo de calor entre la bomba de calor 120 y el radiador 121.
- La energía térmica del agua que sale de la columna de lavado 119 se transfiere a través de la bomba de calor 120 al radiador 121 y al aire que fluye a través del radiador 121 desde la entrada de aire del radiador 123 hasta la salida de aire del radiador 124.
- La instalación de peletización 100 según la presente invención permite la fabricación de pastillas de combustible sólido recuperado a partir de residuos sólidos urbanos sin separar partes de los residuos sólidos urbanos antes de iniciar el proceso de peletización. Por tanto, se puede utilizar una mayor cantidad de residuos sólidos urbanos para fabricar pastillas de combustible sólido recuperado. La instalación de peletización 100, así como el método según la invención, se pueden utilizar en particular para fabricar pastillas de combustible sólido recuperado que se pueden utilizar en la producción de gas de síntesis enriquecido con hidrógeno y/o dióxido de carbono mediante una torrefacción de las pastillas de combustible sólido recuperado con un posterior tratamiento de gas.
- La Fig. 4 muestra un ejemplo de una unidad de torrefacción 200 y una unidad de gasificación 300. En la unidad de torrefacción 200, se suministran pastillas de combustible sólido recuperado 117 a un horno 203 que, en esta forma de realización, es un horno de solera múltiple. En este horno 203 tiene lugar la torrefacción de las pastillas de combustible sólido recuperado 117. El término torrefacción se entiende como un tratamiento termoquímico de las pastillas de

combustible sólido recuperado 117 a temperaturas de 250°C a 320°C. Se lleva a cabo bajo presión atmosférica y sin añadir más oxígeno, por ejemplo, sin proporcionar aire. Durante el proceso de torrefacción, el agua contenida en las pastillas de combustible sólido recuperado se evapora al igual que los volátiles incluidos en las pastillas de combustible sólido recuperado 117. Los biopolímeros incluidos en las pastillas de combustible sólido recuperado 117 se descomponen parcialmente bajo la liberación de volátiles. El producto del proceso de torrefacción son pastillas carbonizadas 201 y gas de torrefacción 202.

El gas de torrefacción 202 se suministra a la unidad de procesamiento de gas de torrefacción 400 que se describe a continuación con referencia a la Fig. 5. Las pastillas carbonizadas 201 comprenden partes plásticas u orgánicas carbonizadas y, posiblemente, las inclusiones metálicas como partes metálicas de las pastillas de combustible sólido recuperado 117 no se carbonizan en el proceso de torrefacción. Las pastillas carbonizadas 201 se suministran a un segundo molino 204 para la molienda gruesa con tamaños de partícula de 10 mm y menos. A continuación, en una tercera unidad de eliminación de metales 205 que se basa en un proceso de eliminación de corrientes de Foucault, se eliminan los residuos metálicos 206 que no se han eliminado durante la producción de las pastillas de combustible sólido recuperado 117. Tanto los residuos ferrosos como los no ferrosos son eliminados por la tercera unidad de eliminación de metal 205. Las pastillas carbonizadas molidas de forma gruesa restantes 207 se mueven a un tercer molino 208 en el que se tiene lugar un proceso de molienda fina de las pastillas carbonizadas molidas de forma gruesa 207 a pastillas carbonizadas finamente molidas 209 con un tamaño de partícula de 500 µm [micrómetros] y menos.

Las pastillas carbonizadas finamente molidas 209 se suministran como materia prima 303 a la unidad de gasificación 300 que comprende un gasificador de flujo arrastrado 302. La biomasa 304, como lodo seco, se puede añadir a las pastillas carbonizadas finamente molidas 209 después de haber sido finamente molidas hasta obtener un tamaño de partícula en el mismo orden de magnitud que el tamaño de partícula de las pastillas carbonizadas finamente molidas 209. La biomasa 304 se muele en un cuarto molino respectivo 305. La biomasa finamente molida 306 se añade luego a la materia prima 303 aguas arriba del gasificador de flujo arrastrado 302. De forma alternativa, pero no mostrada en la Fig. 4, la biomasa 304 se muele junto con las pastillas carbonizadas 201 y, por tanto, se introduce junto con las pastillas carbonizadas 201 en el segundo molino 204.

La materia prima 303 se suministra al gasificador de flujo arrastrado 302 junto con un gas rico en oxígeno 307 que tiene un contenido de oxígeno de al menos 95% en volumen, preferiblemente al menos 98% en volumen, en particular 99,5% en volumen y más. Las reacciones de gasificación tienen lugar en una densa nube de partículas muy finas en flujo a favor de la corriente. La gasificación tiene lugar a temperaturas de 2000°C y presiones de 4000 kPa (40 bar).

El gas producto intermedio 308 resultante se suministra a una zona de enfriamiento rápido 309 en la que el gas producto intermedio 308 resultante se enfría con agua de enfriamiento rápido 310 a una temperatura preferiblemente de 180°C a 220°C. Los sólidos o los sólidos fundidos solidifican debido al proceso de enfriamiento rápido y forman escoria 311 que se puede retirar para su utilización en la construcción civil. La corriente de gas de síntesis sin procesar 312 generada se suministra a una columna de enfriamiento de lavado con agua 313 en la que la humedad incluida en el gas de síntesis sin procesar 312 se condensa debido al contacto con el agua 314 que tiene una temperatura más baja de 180°C a 200°C que el gas de síntesis sin procesar 312 que tiene una temperatura de aproximadamente 214°C. El gas de síntesis crudo enfriado y lavado 301 se suministra a la unidad de desplazamiento de CO 500. El exceso de agua de purga 315 se suministra a un separador de lodos (no mostrado) para eliminar los gases del exceso de agua de purga 315. El agua de compensación 316 se suministra desde la unidad de recuperación de calor de baja temperatura 524 de la unidad de desplazamiento de CO 500 descrita a continuación.

La Fig. 5 muestra la unidad de procesamiento de gas de torrefacción 400. El gas de torrefacción 202 producido en la unidad de torrefacción 200 se introduce en una cámara de combustión 402. Además, un gas combustible 403 y una corriente de gas rica en oxígeno 404 se introducen en la cámara de combustión 402. Como el gas combustible 403 se usa gas natural y/o gas combustible del sitio. Un gas combustible comprende al menos uno de metano, etano, nitrógeno e hidrógeno. El llamado gas combustible in situ es, por ejemplo, generado en las unidades de craqueo de vapor. La corriente de gas rica en oxígeno 404 comprende al menos 95% en volumen [% en volumen] de oxígeno, preferiblemente al menos 98% en volumen, en particular 99,5% en volumen y más. En particular, si la unidad de gasificación 300 está utilizando una gasificación de flujo arrastrado paralelo, el oxígeno puro está fácilmente disponible, es decir, la corriente de gas rica en oxígeno 307 utilizada en la unidad de gasificación 300 puede obtenerse de la misma fuente que la corriente de gas rica en oxígeno 404. La cámara de combustión 402 tiene una primera entrada 436 para introducir la corriente de gas rica en oxígeno 404, una segunda entrada 437 para introducir el gas combustible y una tercera entrada 438 para introducir el gas de torrefacción 202. El gas de síntesis bruto 301 resultante se proporciona a la unidad de desplazamiento de CO 500.

En la cámara de combustión 402 tiene lugar una oxidación subestequiométrica mediante la cual las moléculas de hidrocarburo más grandes que se originan en los gases de torrefacción 202 y/o el gas combustible 403 se craquean térmicamente y se transforman en un gas de síntesis 407 que comprende monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrógeno (H₂) y agua (H₂O). Debido al alto contenido de humedad de típicamente al menos el 50% en volumen de los gases de torrefacción 202, se suprime la generación de carbono elemental y, por lo tanto, de hollín.

La temperatura en la cámara de combustión 402 está en el intervalo de 1000°C a 1200°C. Después de pasar por una salida 405 de la cámara de combustión, el gas de síntesis 407 se enfría con el gas de síntesis reciclado 406 que actúa

como gas de enfriamiento a una temperatura de 730°C a 770°C, preferiblemente a una temperatura de 740°C a 760°C, en particular de aproximadamente 750°C. El gas de síntesis 407 se introduce en una cámara de mezcla 408 en la que tiene lugar el proceso de enfriamiento y la consiguiente mezcla con el gas de síntesis 406 reciclado, lo que da como resultado un gas de síntesis 409 enfriado que se está enfriando en la cámara de mezcla 408. El enfriamiento se lleva a cabo en una zona de enfriamiento 439 que tiene entradas 440 para el gas de síntesis 406 reciclado. El efecto del proceso de enfriamiento, es decir, de la reducción abrupta de la temperatura debido a la introducción del gas de síntesis reciclado 406 más frío, es que cualquier sólido o sólido fundido que esté presente en el gas de síntesis 407 se solidifique. Estos sólidos se pueden introducir junto con el gas de torrefacción 202. Tanto la cámara de combustión 202 como la cámara de mezcla 408 están internamente aisladas y sin refrigeración.

Aguas abajo de la cámara de mezcla 408, el gas de síntesis enfriado 409 se introduce en un sistema de recuperación de calor 410 en el que la energía térmica o la energía térmica del gas de síntesis enfriado 409 se transfiere a un portador térmico 411, preferiblemente un aceite térmico, en un primer intercambiador de calor 441. Aguas abajo de la transferencia de energía al portador térmico 411, se transfiere más energía térmica al agua de alimentación de la caldera 412 en un segundo intercambiador de calor 442 que produce vapor a alta presión 413, al menos una parte del cual se transfiere a través de un cuarto intercambiador de calor 414 para calentar el gas de síntesis reciclado 406, preferiblemente a una temperatura de más de 200°C, en particular a aproximadamente 225°C. En el sistema de recuperación de calor 410 en un sobrecalentador 443 aguas abajo del segundo intercambiador de calor 441 con el agua de alimentación de la caldera 412, se transfiere más energía térmica del gas de síntesis apagado 409 a un vapor de baja presión 415 para sobrecalentar el mismo generando vapor de baja presión sobrecalentado 416. El portador térmico se calienta, por ejemplo, desde una temperatura de 300°C hasta una temperatura de 400°C y se puede utilizar, por ejemplo, para un calentamiento indirecto de la unidad de torrefacción 200. El vapor de alta presión 413 tiene, por ejemplo, una presión de 14000 kPa (140 bar) y una temperatura de 350°C al salir del sistema de recuperación de calor 410. El vapor de baja presión sobrecalentado tiene una temperatura de unos 275°C al salir del sistema de recuperación de calor 410 y se utiliza preferentemente en el proceso de torrefacción en la unidad de torrefacción 200. El gas de síntesis enfriado 409 sale del sistema de recuperación de calor 410 con una temperatura de aproximadamente 170°C y más para evitar la formación de cloruro de amonio (NH_4Cl) que provoca corrosión y/o ensuciamiento. Para asegurar que no se alcanza la temperatura de aproximadamente 170°C, el agua de alimentación de la caldera 412 se introduce en el sistema de recuperación de calor 410 de 140°C y más.

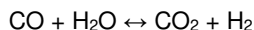
Aguas abajo del sistema de recuperación de calor 410, el gas de síntesis enfriado 409 se introduce en un sistema de lavado húmedo 417 para eliminar sólidos y halógenos (principalmente cloruros). El sistema de lavado húmedo 417 es una columna de lavado húmedo común. El agua de lavado usada 418 se purga de un sumidero 419 del sistema de lavado húmedo 417. El agua de lavado usada 418 se transfiere a una instalación de tratamiento de aguas residuales (no mostrada) para ser reciclada. Un gas de síntesis limpio 420 está saliendo del sistema de lavado húmedo 417 por la cabeza 421 del sistema de lavado húmedo 417. Una primera parte del gas de síntesis limpio 420 se usa como gas de síntesis reciclado 406 y, como se describió anteriormente, se recalienta y se usa para enfriar el gas de síntesis 407. El uso del gas de síntesis limpio 420 como gas de síntesis 406 reciclado reduce las concentraciones de contaminantes (como, por ejemplo, sólidos, halógenos, en particular cloruros) en el gas de síntesis enfriado 409 y evita daños, en particular la corrosión, de las superficies de intercambio de calor en el sistema de recuperación de calor, en particular, se evita la corrosión de las superficies utilizadas para sobrecalentar el vapor de baja presión 415 al vapor de baja presión sobrecalentado 416. Simultáneamente, el alto contenido de humedad de 60% vol y más aumenta la capacidad calorífica del gas de síntesis 406 reciclado y, por consiguiente, la eficiencia de enfriamiento durante el proceso de enfriamiento. El gas de síntesis reciclado 406 es comprimido por un compresor 423.

Una segunda - es decir, la restante - parte 424 del gas de síntesis limpio 420 se introduce en una columna de enfriamiento de lavado con agua de dos etapas 422. Debido al estrecho contacto con el agua más fría en la columna 422, la humedad en el gas de síntesis 424 se está condensando. El calor de condensación respectivo calienta el agua de lavado en la columna 422. El agua de lavado 426 desde un sumidero 425 se proporciona a una bomba de calor 427 para su enfriamiento, por ejemplo, desde una temperatura de aproximadamente 85°C hasta una temperatura de 75°C. En la bomba de calor 427 se produce vapor a baja presión que se utiliza preferentemente en la unidad de torrefacción 200 para el control del proceso. La mayor parte del agua de lavado 426 se introduce centralmente en la columna 422 y se distribuye tanto en una primera etapa 428 como en una segunda etapa 429 de la columna 422. Una parte más pequeña del agua de lavado 426 se enfría adicionalmente mediante un enfriador de aire 430, preferiblemente hasta temperaturas de aproximadamente 25°C que dan como resultado una temperatura del gas de síntesis 424 a una temperatura de aproximadamente 30°C cuando sale de la columna 422. El enfriamiento del gas de síntesis 422 elimina aproximadamente el 60% de la masa como agua. El exceso de agua de lavado 431 se utiliza parcialmente como agua de aportación 432 para el sistema de lavado en húmedo 417. El exceso de agua de lavado 431 puede conducirse como agua de purga 433 a un sistema de separación (no mostrado) en el que se eliminan los gases del agua de purga 433, en particular amoníaco (NH_3), dióxido de carbono (CO_2) y sulfuro de hidrógeno (H_2S) se extraen del agua de purga 433.

Se utiliza un medio de transporte de gas de síntesis 434, preferiblemente un ventilador o un soplador, para transportar el gas de síntesis de torrefacción 401 que sale de la columna 422 a la unidad de desplazamiento de CO 500 (véase la Fig. 1) y/o a una antorcha 435. El medio de transporte de gas de síntesis 434 crea una presión negativa que atrae el gas de síntesis enfriado 406 a través del sistema de recuperación de calor 410.

La unidad de procesamiento de gas de torrefacción 400 permite el reciclaje químico del gas de torrefacción 202 producido por la torrefacción, por ejemplo, a partir de pastillas de combustible sólido recuperado (combustible sólido recuperado) 117 sin necesidad de quemar el gas de torrefacción 202.

5 La Fig. 6 muestra esquemáticamente una unidad de desplazamiento de monóxido de carbono (CO) 500 incluida en la planta 1. En una unidad de desplazamiento de CO 500, tiene lugar una reacción de desplazamiento de monóxido de carbono (CO) en la que el monóxido de carbono (CO) reacciona con agua (H₂O) para formar dióxido de carbono (CO₂) e hidrógeno (H₂):



10 La reacción está en equilibrio químico que puede verse influenciado en la dirección de los eductos o de los productos de la manera habitual, por ejemplo, mediante el uso de la temperatura respectiva y el uso y concentración de un catalizador específico. Como la reacción es endotérmica, el agua se suele proporcionar como vapor de agua. Para desplazar el equilibrio químico hacia el lado del producto para aumentar la producción de hidrógeno, se ha encontrado que es ventajosa una proporción molar de vapor a monóxido de carbono de aproximadamente 2,3 a 2,7, en particular aproximadamente 2,5. El vapor se suministra preferentemente a una presión que está por encima de la presión a la que tiene lugar la reacción de desplazamiento, que es preferentemente de unos 4000 kPa (40 bar). Si se utiliza la relación molar de vapor a monóxido de carbono de 2,5, queda en el reactor un excedente de 1,5 moles de vapor por cada mol de dióxido de carbono. Esto da como resultado grandes cantidades de agua en el gas producto de la reacción de desplazamiento de CO. Cuando este gas producto se enfría, se produce una cantidad considerable de condensación y, por lo tanto, grandes cantidades de calor de bajo nivel en el tren de enfriamiento, mientras que el gas producto se enfría a temperatura ambiente. La mayor parte de esta energía suele desecharse, lo que se traduce en una baja eficiencia energética.

25 El gas de síntesis bruto 301 generado por la unidad de gasificación 300 se introduce en una unidad depuradora de alta presión 502. La unidad depuradora de alta presión 502 es una unidad depuradora húmeda convencional en la que, por ejemplo, los hidrocarburos superiores se eliminan del gas de síntesis crudo 301. La unidad depuradora de alta presión 502 se alimenta con agua de alimentación 503 que es el agua condensada 508 de una recuperación de calor a baja temperatura que se describirá más adelante. El agua 505 que se recoge en un sumidero 504 de la unidad de lavado a alta presión 502 se transporta mediante medios de transporte 506 a un conducto de agua de purga 507. El exceso de agua condensada 508 que no se necesita como agua de alimentación 503 se transporta también al conducto de agua de purga 507. El gas de síntesis limpio 509 generado en la unidad de lavado de alta presión 502 se suministra aguas abajo de la unidad de lavado de alta presión 502 a un primer intercambiador de calor 518. El término medio de transporte dentro de este documento se entiende como una bomba y/o un compresor. Simultáneamente a la limpieza del gas de síntesis crudo 301 en la unidad de lavado a alta presión 502, se puede controlar la humedad del gas de síntesis limpio 509.

35 El gas de síntesis de torrefacción 401 que se genera en la unidad de procesamiento de gas de torrefacción 400 se transporta a una columna de saturación 510 a través de un medio de transporte 511. Mediante el medio de transporte 511, el gas de síntesis de torrefacción 401 se comprime, preferiblemente a una presión de 4000 kPa (40 bar). Los medios de transporte 511 pueden comprender varios compresores con enfriadores intermedios que proporcionan una compresión interenfriada multietapa del gas de síntesis de torrefacción 401. Asimismo, el gas de purga 602 de la unidad de limpieza de gas 600 se transporta también a través de un medio de transporte 512 a la columna de saturación 510. Mediante los medios de transporte 512 se comprime el gas de purga 602, preferentemente a una presión de 4000 kPa (40 bar). Los medios de transporte 512 pueden comprender varios compresores con interenfriadores que proporcionan una compresión interenfriada multietapa del gas de purga 602. La columna de saturación 510 es un depurador húmedo convencional que recibe agua de proceso 513 de una unidad de recuperación de calor a baja temperatura 524 que se describe más adelante en los medios de transporte 514. El agua 515 recogida en un sumidero 516 de la columna de saturación 510 se utiliza como agua de proceso en una unidad de recuperación de calor a baja temperatura 524 descrita a continuación. Mediante la columna de saturación 510, el gas de síntesis de torrefacción 401 y el gas de purga 602 se mezclan y, simultáneamente, se añade humedad al gas producto de la columna de saturación 517 resultante. Dependiendo de los parámetros de operación de la columna de saturación, es decir, en particular, el flujo de agua y la temperatura del agua, puede controlarse la humedad del gas producto de la columna de saturación 517.

50 El gas producto de la columna de saturación 517 se suministra junto con el gas de síntesis limpio 509 a un primer intercambiador de calor 518. En el primer intercambiador de calor 518, la energía se transfiere desde un gas de escape 519 del reactor de desplazamiento de CO de alta temperatura al gas de síntesis limpio 509 y el gas producto de la columna de saturación 517 que se combinan aguas abajo del primer intercambiador de calor 519 en una corriente de gas de síntesis combinada 520. Mediante el intercambio de calor en el primer intercambiador de calor 518, el respectivo gas de escape 519 del reactor de desplazamiento de CO de alta temperatura se enfría mientras que se calientan el gas de síntesis limpio 509 y la corriente de gas purificado 517. Preferiblemente, la columna de saturación 510 es impulsada de tal manera que la corriente de gas de síntesis combinada 520 tenga una relación molar de vapor de agua a monóxido de carbono de entre 2,0 y 3,0, preferiblemente entre 2,4 y 2,6, en particular de aproximadamente 2,5.

60 La corriente de gas de síntesis combinada 520 se suministra corriente abajo del primer intercambiador de calor 518 a

un reactor de desplazamiento de CO de alta temperatura 521 en el que tiene lugar la reacción de desplazamiento descrita anteriormente. El gas de escape del reactor de desplazamiento de CO de alta temperatura 519 tiene un contenido reducido de agua/vapor y monóxido de carbono y un mayor hidrógeno (H₂) contenido en comparación con la corriente de gas de síntesis combinada 520. El gas de escape del reactor de desplazamiento de CO de alta temperatura 519 es, como se describirá a continuación, guiado a través de varios intercambiadores de calor para reducir su temperatura, incluido el primer intercambiador de calor 518 a un reactor de desplazamiento de CO de baja temperatura. 522 en el que tiene lugar la reacción de desplazamiento de CO descrita anteriormente. El gas de escape 523 de un reactor de desplazamiento de CO de baja temperatura aumenta su contenido en hidrógeno (H₂) en comparación con el gas de escape 519 del reactor de desplazamiento de CO de alta temperatura que está entrando en el reactor de desplazamiento de CO de baja temperatura 522.

El gas de escape del reactor de desplazamiento de CO de baja temperatura 523 se guía aguas abajo del reactor de desplazamiento de CO de baja temperatura 522 a través de una unidad de recuperación de calor de baja temperatura 524. En esta unidad de recuperación de calor de baja temperatura 524 se utiliza el contenido de calor del gas de escape del reactor de desplazamiento de CO de baja temperatura 523 para aumentar la temperatura de varias corrientes de agua. Después de entrar en la unidad de recuperación de calor a baja temperatura 524, el gas de escape del reactor de desplazamiento de CO a baja temperatura 523 se guía posteriormente a través de un segundo intercambiador de calor 525, un tercer intercambiador de calor 526, un cuarto intercambiador de calor 527, un quinto intercambiador de calor 528 y un sexto intercambiador de calor 529. Mientras pasa por estos intercambiadores de calor 524, 525, 526, 527, 528, 529, la temperatura del gas de escape del reactor de desplazamiento de CO de baja temperatura 523 se reduce constantemente antes de salir de la unidad de recuperación de calor de baja temperatura 524 como una corriente de gas de síntesis 530 y pasa, opcionalmente y si es necesario, a través de un enfriador de aire 531. Posteriormente, la corriente de gas de síntesis 530 se suministra a la unidad de limpieza de gas 600 como se explicó anteriormente.

Primero, en el segundo intercambiador de calor 525, el contenido de calor de la corriente de gas de síntesis 530 se usa para calentar el agua de alimentación 508 que se usará en la unidad de gasificación 300. Por ejemplo, así es posible calentar esta agua 508 de 158°C a 205°C. En segundo lugar, en el tercer intercambiador de calor 526 se calienta agua que puede, por ejemplo, utilizarse para generar vapor a alta presión. El agua es, por ejemplo, calentado típicamente de 155 a 200°C. En tercer lugar, en el cuarto intercambiador de calor 527 se calienta el agua de proceso 513, típicamente de 135 a 158°C, que se usa en la columna de saturación 510. Es posible un uso posterior de esta agua como agua de alimentación 508, en particular después de pasar el segundo intercambiador de calor 525. En el cuarto intercambiador de calor 527, el gas de escape del reactor de desplazamiento de CO de baja temperatura 523 se enfría por debajo de su punto de rocío, por lo que se liberan grandes cantidades de calor de condensación y se utilizan para la respectiva transferencia de calor. En cuarto lugar, en la quinta caldera del intercambiador de calor 528 se calienta el agua de alimentación 536, normalmente de 35°C a 155°C, que se usa preferentemente para preparar vapor a alta presión. En quinto lugar, en el sexto intercambiador de calor 529, el agua se calienta típicamente de 25°C a 135°C para su uso en la gasificación de las pastillas carbonizadas 201 en la unidad de gasificación 300.

El agua de alimentación 508 para la unidad de gasificación 300 es al menos una parte del agua 515 recogida en el sumidero 519 de la columna de saturación 510 como se ha descrito anteriormente. El agua 515 recogida en el sumidero 516 de la columna de saturación 510 está entrando en el cuarto intercambiador de calor 527. El agua 521 procedente de una unidad de tratamiento de aguas residuales (no mostrada) puede mezclarse con el agua 515 después de haber pasado por el sexto intercambiador de calor 529. Aguas abajo del segundo intercambiador de calor 527, el agua calentada del cuarto intercambiador de calor aguas abajo 533 se usa en parte como agua de proceso de la recuperación de calor a baja temperatura 513 en la columna de saturación 510 y en parte se guía a través del segundo intercambiador de calor 525 para usarse aguas abajo del segundo intercambiador de calor 525 en parte como agua condensada 508 para ser utilizada en parte como agua de alimentación 503 en la unidad de lavado a alta presión 502 y en parte como agua de proceso en la unidad de torrefacción 200. Se utiliza otra parte del agua aguas abajo del sexto intercambiador de calor 529 como condensado 534 suministrado, por ejemplo, a una unidad de eliminación de agua. Otra parte del agua como, por ejemplo, el agua de alimentación de la caldera externa de alta presión 535 generada para aplicaciones fuera de la planta 1 es guiada a través del quinto intercambiador de calor 528 para ser utilizada parcialmente como agua de alimentación de la caldera 536, por ejemplo, en la unidad de gasificación 300 y/o para la generación de vapor a baja presión y/o en la unidad de torrefacción 200. Otra parte del agua de alimentación de la caldera 535 es guiada aguas abajo del quinto intercambiador de calor 528 a través del segundo intercambiador de calor 526. A continuación, se hace pasa a través de un séptimo intercambiador de calor 537.

La unidad de desplazamiento de CO 500 como parte de la planta 1 para convertir residuos sólidos en una corriente de gas producto que comprende hidrógeno permite un uso eficiente de la energía térmica a baja temperatura en la unidad de recuperación de calor a baja temperatura 524 para calentar corrientes de agua de proceso utilizadas en la planta 1.

La Fig. 7 muestra la unidad de limpieza de gases 600 con mayor detalle. El gas de síntesis desplazado 501, que es la salida de la unidad de desplazamiento de CO 500, se introduce en la unidad de limpieza de gas 600 y pasa, posteriormente, por el medio de absorción de sulfuro de hidrógeno 603 y el medio de absorción de dióxido de carbono 604. A continuación, pasa por el medio de adsorción por oscilación de presión 605 en el que, mediante adsorción por oscilación de presión, se genera la corriente de gas producto 601 rica en hidrógeno, preferiblemente hidrógeno puro, con un contenido de hidrógeno de al menos 99,5% en volumen. Con frecuencia, los adsorbentes individuales del

medio de adsorción por oscilación de presión 605 se purgan con hidrógeno, generando el gas de purga 602.

El sulfuro de hidrógeno recogido en el medio de adsorción de sulfuro de hidrógeno 603 se usa para generar azufre 606 mediante un proceso Claus. El dióxido de carbono 607 que se absorbe en el medio de absorción de dióxido de carbono 603 se puede extraer del mismo y utilizar en otros procesos.

- 5 El método y la planta 1 para convertir pastillas de combustible sólido recuperado 117 fabricados a partir de residuos sólidos urbanos 103 permiten la transformación de los residuos sólidos urbanos 103 en hidrógeno con un alto rendimiento en lugar de depositarlos en vertederos o incinerar los residuos sólidos urbanos 103. La corriente de gas producto rica en hidrógeno 601 se puede utilizar como materia prima para reacciones químicas o para almacenar energía de forma liberable.

10 **Números de referencia**

- | | | |
|----|-----|--|
| | 1 | planta para convertir residuos sólidos en un gas que comprende hidrógeno |
| | 100 | instalación de peletización |
| | 102 | trituradora |
| | 103 | residuo sólido |
| 15 | 104 | residuos sólidos triturados |
| | 105 | primera unidad de eliminación de metal |
| | 106 | residuos de hierro |
| | 107 | secadora |
| | 108 | agua |
| 20 | 109 | segunda unidad de eliminación de metal |
| | 110 | residuos metálicos |
| | 111 | otros residuos |
| | 112 | clasificador de densidad |
| | 113 | flujo de material previamente limpiado |
| 25 | 114 | primer molino |
| | 115 | flujo de material molido |
| | 116 | prensa de pastillas |
| | 117 | pastilla de combustible sólido recuperado |
| | 118 | horno |
| 30 | 119 | columna de lavado |
| | 120 | bomba de calor |
| | 121 | radiador |
| | 122 | entrada de aire del secador |
| | 123 | entrada de aire del radiador |
| 35 | 124 | salida de aire del radiador |
| | 125 | entrada de aire del horno |
| | 126 | salida de aire del horno |
| | 127 | entrada de aire de la columna de lavado |
| | 128 | salida de aire de la columna de lavado |
| 40 | 129 | salida de aire del secador |
| | 130 | línea de recirculación |
| | 131 | salida de agua de la columna de lavado |
| | 132 | primera entrada bomba de calor |

	133	primera salida bomba de calor
	134	entrada de agua de la columna de lavado
	135	salida de la segunda bomba de calor
	136	entrada de agua del radiador
5	137	salida de agua del radiador
	138	entrada de la segunda bomba de calor
	139	segundo imán
	200	unidad de torrefacción
	201	pastillas carbonizadas
10	202	gas de torrefacción
	203	horno
	204	segundo molino
	205	tercera unidad de eliminación de metal
	206	residuos metálicos
15	207	pastillas carbonizadas molidas de forma gruesa
	208	tercer molino
	209	pastillas carbonizadas finamente molidas
	300	unidad de gasificación
	301	gas de síntesis crudo
20	302	gasificador de flujo arrastrado
	303	materia prima
	304	biomasa
	305	cuarto molino
	306	biomasa finamente molida
25	307	corriente de gas rica en oxígeno
	308	gas producto intermedio
	309	zona de enfriamiento
	310	agua enfriada
	311	escoria
30	312	gas de síntesis crudo
	313	columna de enfriamiento de lavado con agua
	314	agua
	315	exceso de agua de purga
	316	agua de aporte
35	400	unidad de procesamiento de gas de torrefacción
	401	gas de síntesis
	402	cámara de combustión
	403	gas combustible
	404	corriente de gas rica en oxígeno
40	405	salida de la cámara de combustión
	406	gas de síntesis reciclado
	407	gas de síntesis

	408	cámara de mezclado
	409	gas de síntesis enfriado
	410	sistema de recuperación de calor
	411	portador térmico
5	412	agua para alimentación de la caldera
	413	vapor de alta presión
	414	cuarto intercambiador de calor
	415	vapor a baja presión
	416	vapor de baja presión sobrecalentado
10	417	sistema de lavado húmedo
	418	agua de lavado usada
	419	sumidero
	420	gas de síntesis limpio
	421	cabeza
15	422	columna de enfriamiento con lavado de agua de dos etapas
	423	compresor
	424	parte restante del gas de síntesis limpiado
	425	sumidero
	426	agua de lavado
20	427	bomba de calor
	428	primera etapa
	429	segunda etapa
	430	enfriador de aire
	431	exceso de agua de lavado
25	432	agua de aporte
	433	agua de purga
	434	medios de transporte de gas de síntesis
	435	antorcha
	436	primera entrada
30	437	segunda entrada
	438	tercera entrada
	439	zona de enfriamiento
	440	entrada de la zona de enfriamiento
	441	primer intercambiador de calor
35	442	segundo intercambiador de calor
	443	sobrecalentador
	500	unidad de desplazamiento de CO
	501	gas de síntesis desplazado
	502	unidad de lavado de alta presión
40	503	agua de alimentación
	504	sumidero
	505	agua

ES 2 940 807 T3

	506	medios de transporte
	507	conducto de agua de purga
	508	agua condensada
	509	gas de síntesis limpio
5	510	columna de saturación
	511	medios de transporte
	512	medios de transporte
	513	agua de proceso de recuperación de calor a baja temperatura
	514	medios de transporte
10	515	agua
	516	sumidero
	517	gas producto de la columna de saturación
	518	primer intercambiador de calor
	519	gas de escape del reactor de desplazamiento de CO de alta temperatura
15	520	corriente combinada de gas de síntesis de alta temperatura
	521	reactor de desplazamiento de CO de alta temperatura
	522	reactor de desplazamiento de CO de baja temperatura
	523	gas de escape del reactor de desplazamiento de CO de baja temperatura
	524	unidad de recuperación de calor de baja temperatura
20	525	segundo intercambiador de calor
	526	tercer intercambiador de calor
	527	cuarto intercambiador de calor
	528	quinto intercambiador de calor
	529	sexto intercambiador de calor
25	530	corriente de gas de síntesis
	531	enfriador de aire
	532	unidad de tratamiento de aguas residuales
	533	corriente de salida de agua del cuarto intercambiador de calor
	534	condensado
30	535	agua de alimentación de la caldera de alta presión
	536	agua para alimentación de la caldera
	537	séptimo intercambiador de calor
	538	gas producto de la columna de saturación
	600	unidad de limpieza de gases
35	601	gas producto rico en hidrógeno
	602	gas de purga
	603	medios de absorción de sulfuro de hidrógeno
	604	medios de absorción de dióxido de carbono
	605	medios de adsorción por oscilación de presión
40	606	azufre
	607	dióxido de carbono

REIVINDICACIONES

1. Método para procesar pastillas de combustible sólido recuperado (117), que comprende las siguientes etapas:
 - a) torrefactor las pastillas (117) a una temperatura de torrefacción de 250 a 300°C generando pastillas carbonizadas (201) y gas de torrefacción (202);
 - 5 b) moler las pastillas carbonizadas (201) en una primera etapa de molienda para obtener pastillas carbonizadas molidas de forma gruesa (207);
 - c) eliminar los residuos metálicos (206) de las pastillas carbonizadas molidas de forma gruesa (207);
 - d) moler las pastillas carbonizadas molidas de forma gruesa (207) a pastillas carbonizadas finamente molidas (209);
 - 10 e) gasificar de las pastillas carbonizadas finamente molidas (209) a gas de síntesis crudo (301) en un proceso de gasificación de flujo arrastrado;
 - f) llevar a cabo reacciones de desplazamiento de CO a gas de síntesis crudo (301) creando gas de síntesis desplazado (501);
 - g) eliminar el dióxido de carbono y el sulfuro de hidrógeno del gas de síntesis desplazado (501) creando un gas de síntesis; y
 - 15 h) generar una corriente de gas producto (601) rica en hidrógeno mediante la purificación del gas de síntesis.
2. Método según la reivindicación 1, donde el gas de torrefacción (202) generado en la etapa a) se craquea térmicamente para generar un gas de síntesis de torrefacción (401), mezclándose dicho gas de síntesis de torrefacción (401) con el gas de síntesis bruto (301) generado en la etapa e) antes de la etapa f).
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, donde en la etapa b) las pastillas carbonizadas (201) se muelen hasta un tamaño de partícula de 10 mm y menos.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, donde en la etapa c) los residuos metálicos (206) se eliminan mediante una tecnología de corrientes de Foucault.
5. Método según una de las reivindicaciones anteriores, donde en la etapa d) las pastillas carbonizadas (207) molidas de forma gruesa se muelen hasta un tamaño de partícula de 500 µm [micrómetro] y menos.
- 25 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, donde en la etapa h) se eliminan del gas de síntesis por adsorción dióxido de carbono (CO₂) y sulfuro de hidrógeno (H₂S).
7. Método según una de las reivindicaciones anteriores, donde en la etapa g) se separa hidrógeno del gas de síntesis utilizando un sistema de adsorción por oscilación de presión creando la corriente de gas producto rica en hidrógeno (601) y un gas de purga (602).
- 30 8. Método según la reivindicación 7, donde al menos una parte del gas de purga (602) se suministra a la reacción de desplazamiento de CO en la etapa e).
9. Procedimiento según la reivindicación 7 u 8, donde una parte del gas de purga (602) se utiliza como gas combustible.
10. Una planta (1) para procesar pastillas de combustible sólido recuperado (117) a una corriente de gas producto (601) rica en hidrógeno, que comprende
 - 35 - una unidad de torrefacción (200) para torrefactor las pastillas de combustible sólido recuperado (117) a pastillas carbonizadas (201);
 - un segundo molino (204) para moler las pastillas carbonizadas (201) a pastillas carbonizadas molidas de forma gruesa (207);
 - 40 - una tercera unidad de eliminación de metales (205) que comprende una corriente de Foucault para eliminar los residuos metálicos (206) de las pastillas carbonizadas (207) molidas de forma gruesa;
 - un tercer molino (208) para moler las pastillas carbonizadas molidas de forma gruesa (207) a pastillas carbonizadas finamente molidas (209);
 - una unidad de gasificación (300) que comprende un gasificador de flujo arrastrado (302) para gasificar las pastillas carbonizadas finamente molidas (209) a gas de síntesis crudo (301);
 - 45 - una unidad de desplazamiento de CO (500) para llevar a cabo reacciones de desplazamiento de CO a gas de síntesis bruto (301) creando gas de síntesis desplazado (501);

- una unidad de limpieza de gas (600) que comprende medios de adsorción (603, 604) para eliminar el dióxido de carbono y el sulfuro de hidrógeno del gas de síntesis desplazado (501) y un separador de hidrógeno para separar el hidrógeno de un gas de purga (602) generando una corriente de gas producto (601) rico en hidrógeno.

5 11. Planta según la reivindicación 10, que comprende además una unidad de procesamiento de gas de torrefacción (400) para craquear térmicamente gas de torrefacción (202) generable en la unidad de torrefacción (200).

12. Planta según la reivindicación 10 u 11, donde el separador de hidrógeno comprende medios de adsorción por oscilación de presión (605).

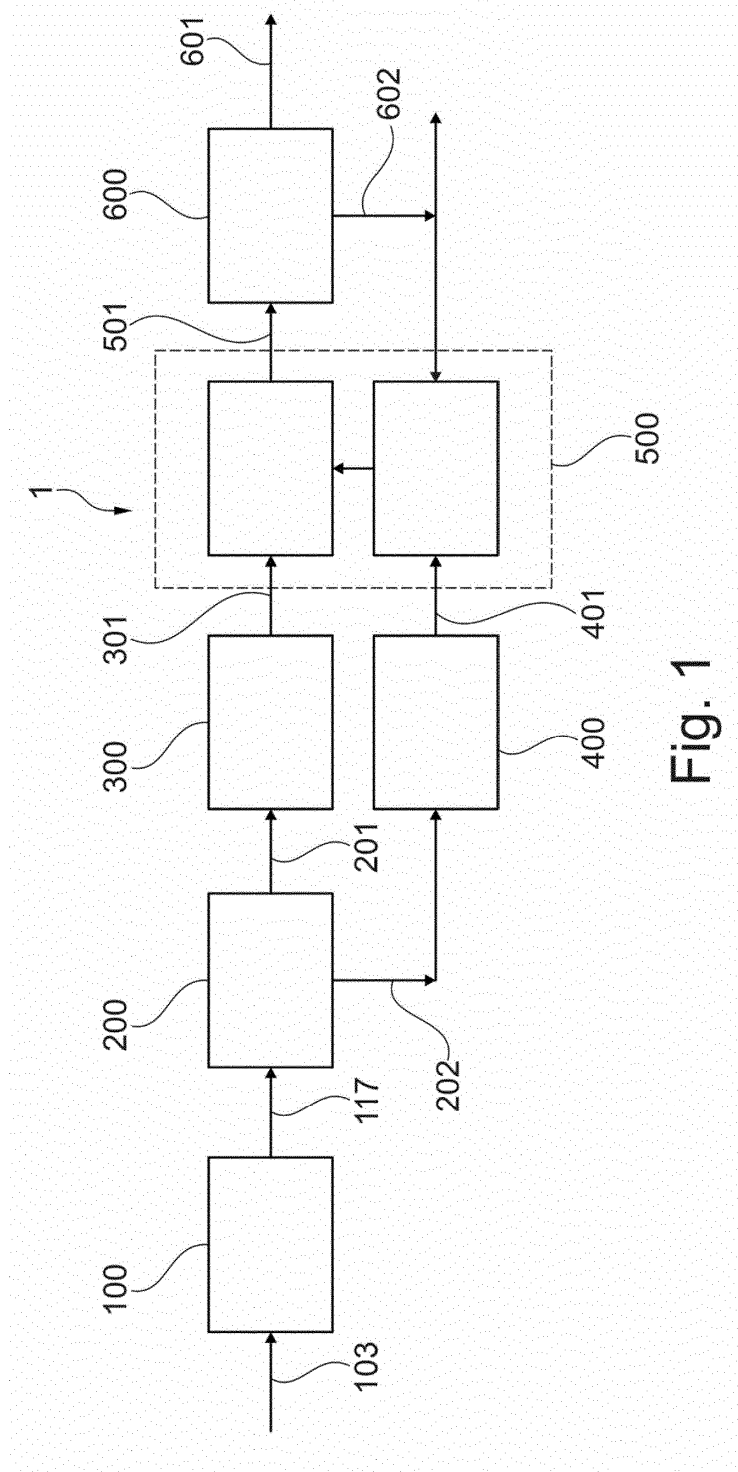


Fig. 1

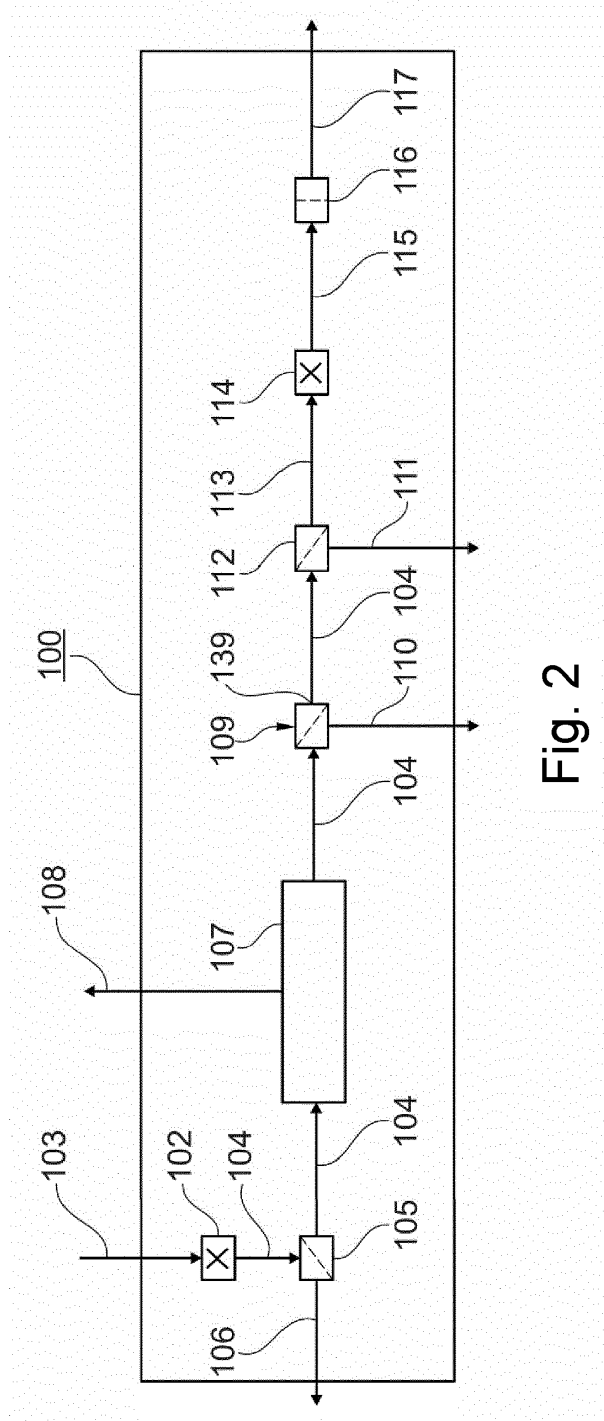


Fig. 2

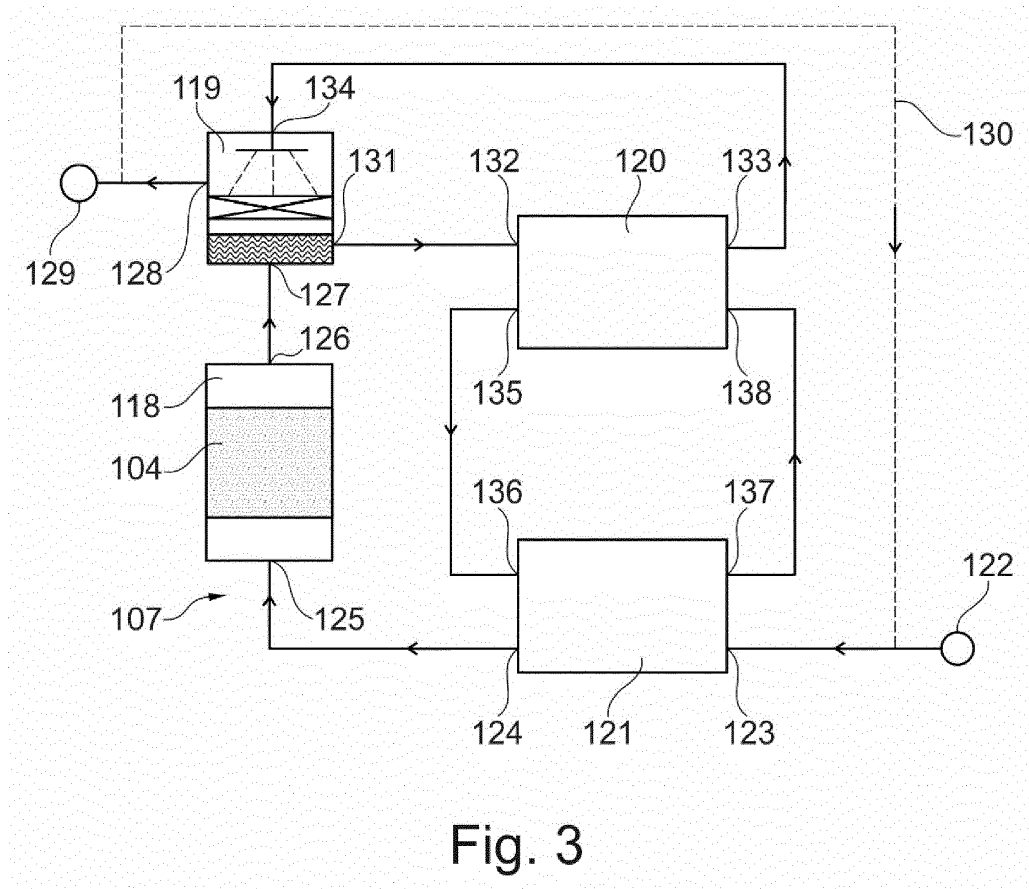


Fig. 3

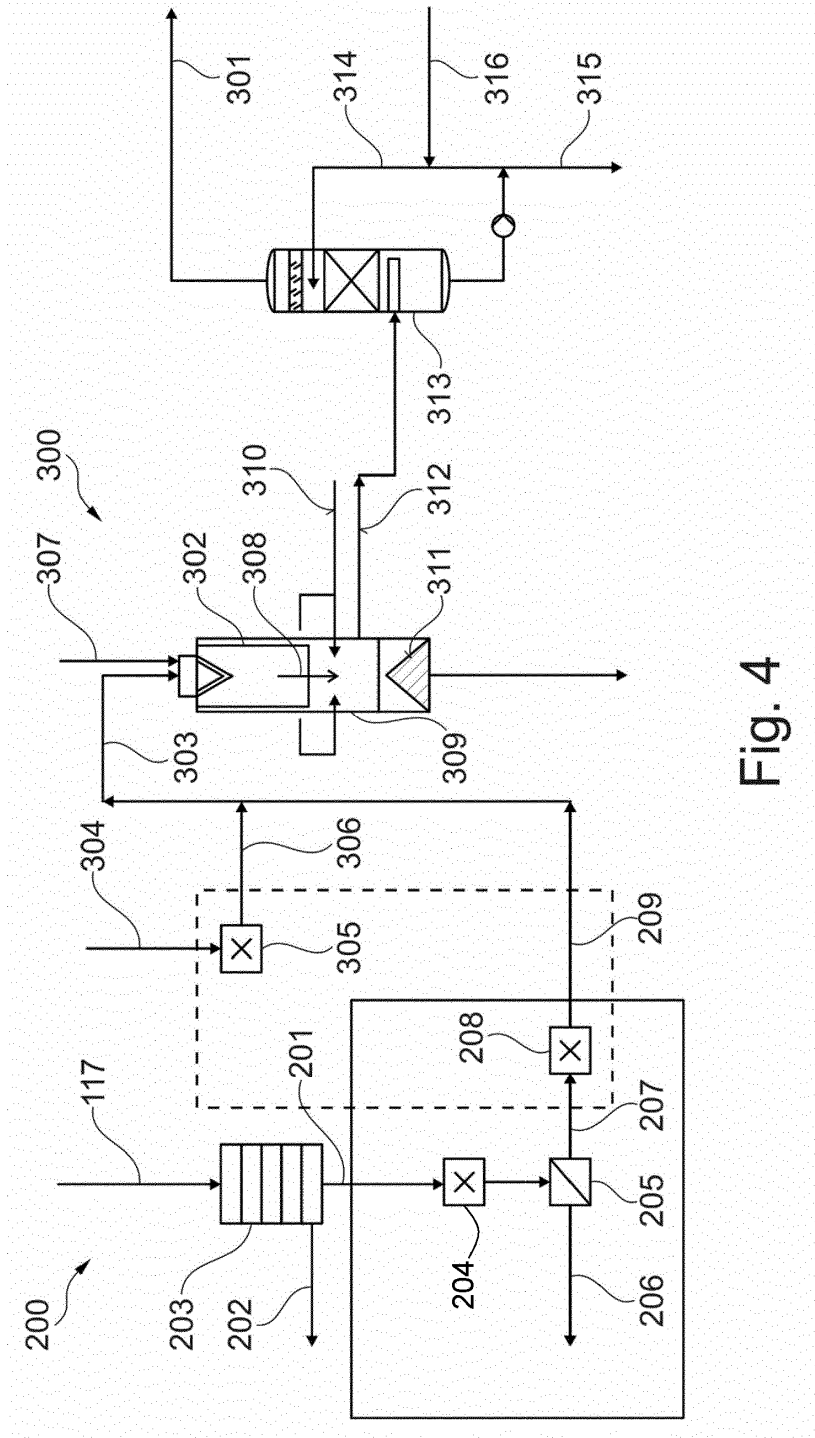


Fig. 4

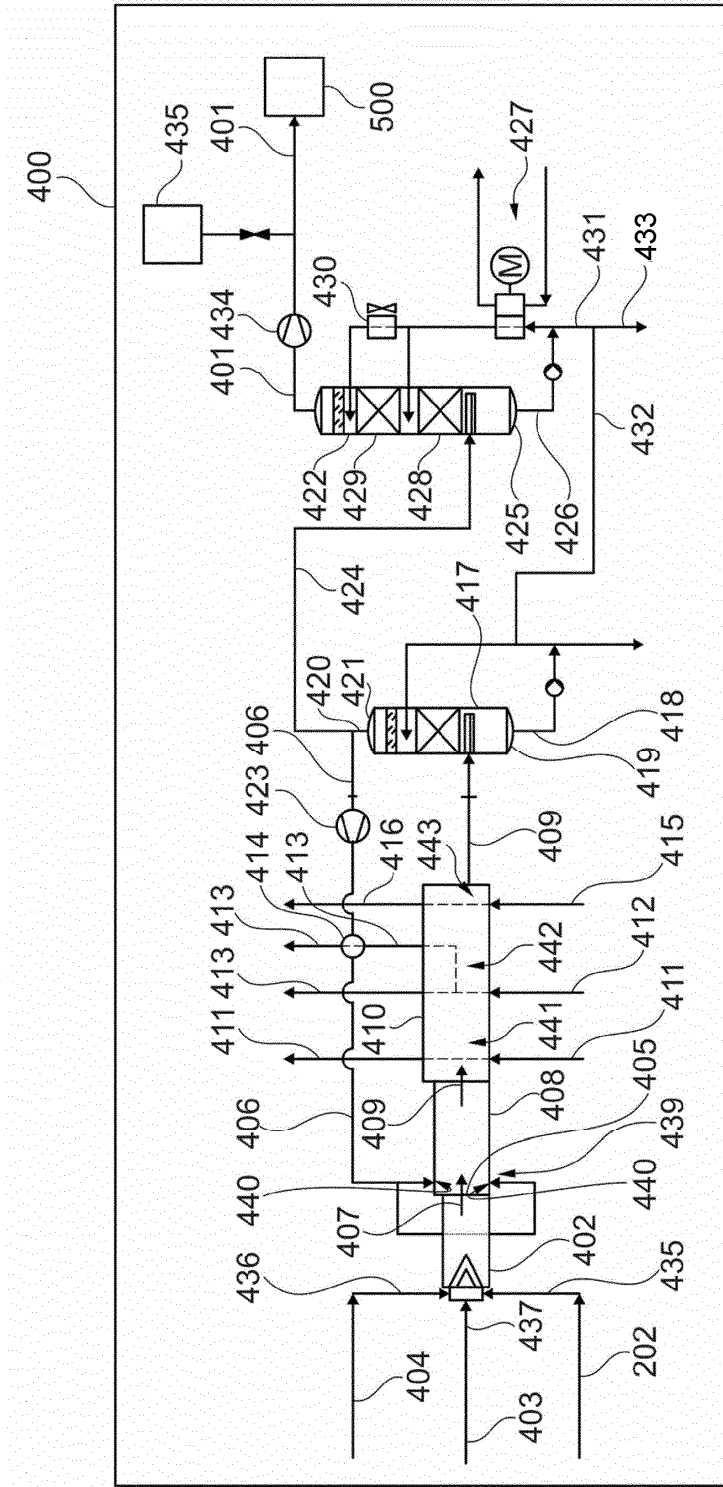


Fig. 5

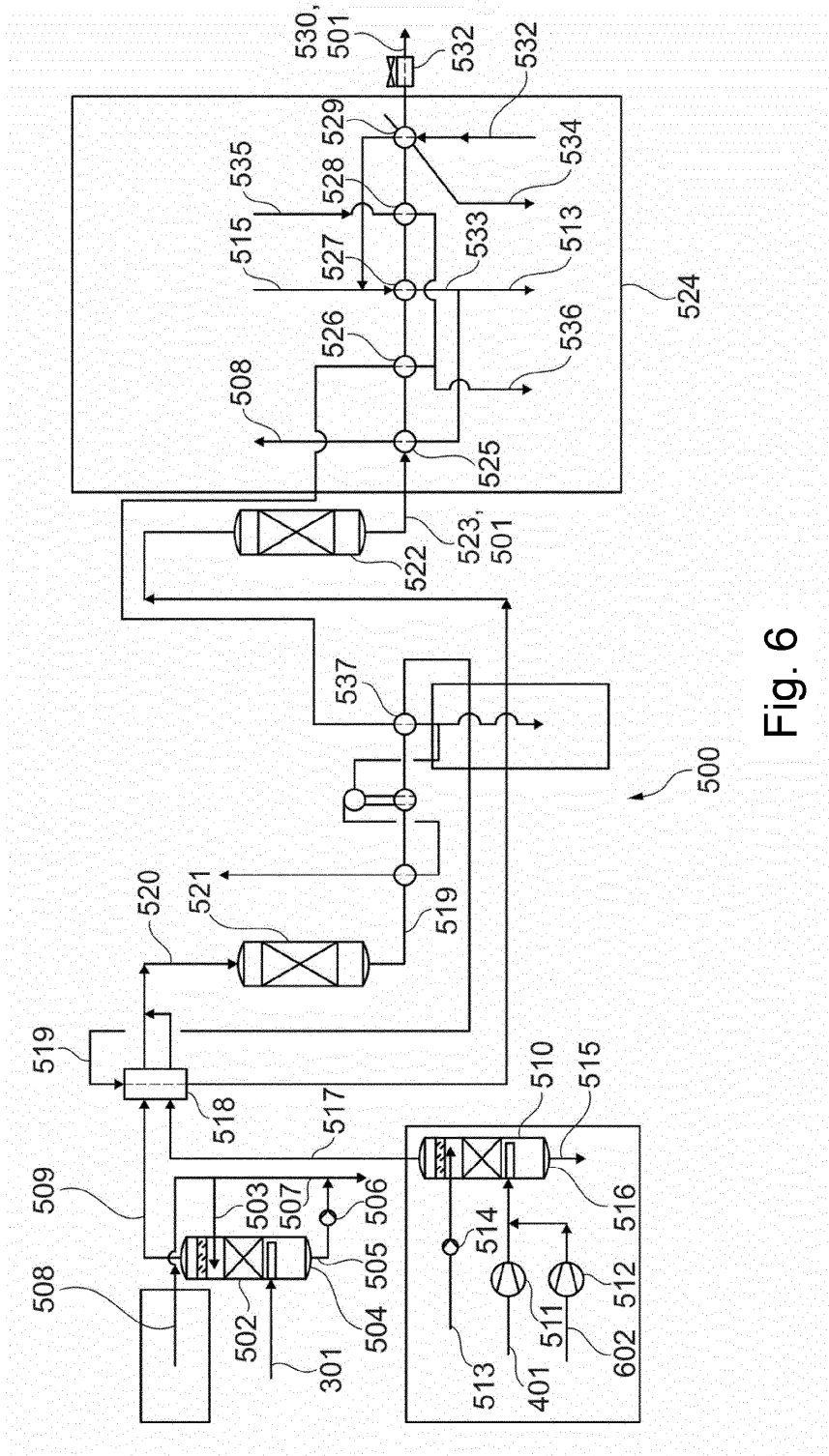


Fig. 6

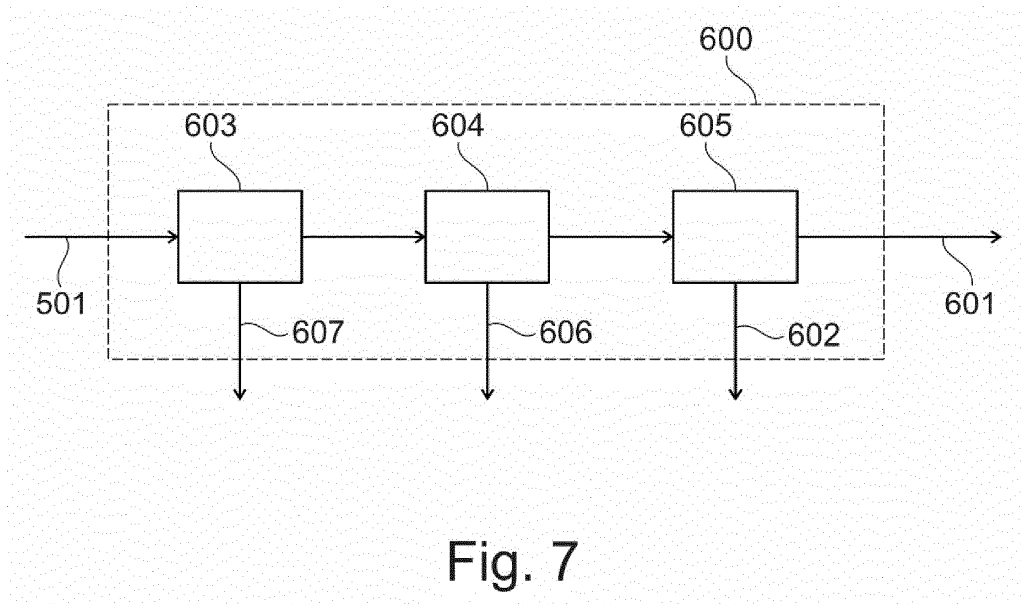


Fig. 7