

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 768 350**

51 Int. Cl.:

**C10J 3/48** (2006.01)

**C10J 3/84** (2006.01)

**C10J 3/18** (2006.01)

**C10K 3/00** (2006.01)

**C10L 3/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.02.2018** **E 18158095 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.10.2019** **EP 3366753**

54 Título: **Sistema de metanación y método para la conversión de material carbonoso en metano**

30 Prioridad:

**23.02.2017 EP 17157685**

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

**22.06.2020**

73 Titular/es:

**B.A.T. SERVICES (100.0%)  
Adelaarsstraat 26  
9051 Sint-Denijs-Westrem, BE**

72 Inventor/es:

**DE LATHAUWER, BART**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 768 350 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 metanación y método para la conversión de material carbonoso en metano

### 5 Campo de invención

La presente invención se refiere a un sistema de metanación adecuado para la conversión de material carbonoso en metano y a un proceso para la conversión de material carbonoso en metano.

### 10 Antecedentes de la invención

La gasificación de material orgánico es una de las formas más efectivas de recuperar energía de biomasa y/o material de desecho. Por ejemplo, gasificar una cantidad de biomasa para producir un gas de síntesis que pueda alimentar una turbina de gas es más eficiente energéticamente que quemar la misma cantidad de biomasa para generar vapor que impulse una turbina.

La gasificación es la conversión termoquímica de la materia carbonosa en un producto gaseoso (es decir, gas de síntesis o syngas). Las reacciones tienen lugar a temperaturas elevadas (500-1400 °C) y un rango de presiones (de presión atmosférica a 33 bar (3,3 MPa)). El medio de gasificación utilizado puede ser aire, oxígeno puro, vapor o una mezcla de estos. Los principales componentes del gas de síntesis son H<sub>2</sub> y CO, con concentraciones más bajas de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, hidrocarburos superiores y N<sub>2</sub>. Actualmente, hay varios tipos de gasificadores disponibles para procesos de gasificación, como gasificadores de lecho fijo, reactores de lecho fluidizado y gasificadores de plasma.

Los gasificadores de lecho fluidizado comprenden un lecho del reactor que se fluidifica a través de la entrada de gases como vapor y oxidante. Las partículas de materia prima se suspenden en el material del lecho. Estos gasificadores emplean retro-mezcla y mezclan eficientemente las partículas de alimentación entrantes con partículas que ya están en fase de gasificación. Debido a la mezcla completa dentro del gasificador, se mantiene una temperatura constante en el lecho del reactor. Para mantener la fluidización, normalmente se usa materia prima de pequeño tamaño de partícula (menos de 6 mm).

Las antorchas de plasma son conocidas en la técnica por ser una fuente de energía térmica en los procesos de gasificación. Se utilizan especialmente antorchas de arco eléctrico, pero tienen una vida útil corta. Esto lleva a un alto coste de mantenimiento y con una cantidad significativa de tiempo que la instalación está inactiva. Existen unidades de gasificación que utilizan antorchas de plasma. Por ejemplo, el documento WO2014/126895 desvela un gasificador en el que las antorchas de plasma están dispuestas alrededor de un lecho catalítico, transfiriendo directamente energía térmica al lecho catalítico. Una de las principales desventajas de este tipo de gasificadores es que la vida útil del catalizador es particularmente corta porque las antorchas de plasma calientan las partículas del catalizador a temperaturas extremas.

### 40 Sumario de la invención

La invención tiene como objetivo superar al menos algunos de los problemas mencionados anteriormente. Un objetivo de la invención es proporcionar un sistema de metanación que sea altamente eficiente en la conversión de material carbonoso en metano o gas natural sustituto. Un objetivo adicional de la invención es reutilizar el calor que se libera durante esta conversión. La invención proporciona un sistema de metanación (36) para la conversión de material carbonoso en metano, que comprende:

- un gasificador (1) para gasificar material carbonoso en gas de síntesis, dicho gasificador que se alimenta al menos parcialmente con vapor y que comprende:
  - un volumen interno (4) que comprende una sección superior (5), una sección media (6) y una sección inferior (7), y opcionalmente una primera sección de conexión (10), que conecta dicha sección superior (5) y dicha sección media (6) y/u opcionalmente una segunda sección de conexión (11), que conecta dicha sección media (6) y dicha sección inferior (7), en la que dicha sección superior (5), sección media (6) y sección inferior (7) están dispuestas a lo largo de la dirección longitudinal de dicho gasificador (1), con la sección superior (5) colocada en la parte superior de la sección media (6) que se pone en la parte superior de la sección inferior (7);
  - una o más entradas de material carbonoso (2) configuradas para recibir una alimentación de material carbonoso y conectadas de manera fluida al volumen interno (4);
  - un material de lecho que comprende partículas catalíticas (9) dentro de la sección media (6) y/o sección inferior (7) y conectadas a al menos una entrada de gas (12) para fluidizar el material del lecho;
  - una salida de gas (16), conectada de forma fluida a la sección superior (5) del volumen interno (4); y
  - al menos un sistema de plasma (8) configurado dentro de la sección superior (5) para que el gas que sale del gasificador (1) a través de la salida de gas (16) pase a través de una zona calentada por dicho al menos un sistema de plasma (8);

- una primera unidad de enfriamiento (18, 29), que comprende una entrada de gas caliente (19) y una salida de gas frío (20), en la que dicha entrada de gas caliente (19) está conectada de manera fluida a la salida de gas (16) de dicho gasificador (1);
- 5 - una unidad de metanación (21), adecuada para producir metano crudo a partir de gas de síntesis, que comprende una entrada de gas de síntesis (22) y una salida de metano crudo (23), en la que dicha entrada de gas de síntesis (22) está conectada de manera fluida a dicha salida de gas frío (20) de la primera unidad de enfriamiento (18);
- 10 - una segunda unidad de enfriamiento (24, 28), que comprende una entrada de metano caliente (25) y una salida de metano frío (26), en la que dicha entrada de metano caliente (25) está conectada de manera fluida a dicha salida de metano crudo (23) de la unidad de metanación (21);

en la que dicha primera unidad de enfriamiento y dicha segunda unidad de enfriamiento comprenden independientemente un economizador, un evaporador y/o un supercalentador para la producción de vapor para el gasificador.

15 El gasificador y el proceso de gasificación descritos en el presente documento utilizados en el sistema y el proceso de la invención producen de manera muy eficiente altos rendimientos de un gas de síntesis relativamente limpio porque el gas de síntesis crudo producido en el lecho fluidizado y/o mediante gasificación de plasma del material carbonoso tiene que viajar a través de una zona calentada por el al menos un sistema de plasma antes de abandonar el gasificador, donde los componentes de alquitrán se someten a craqueo térmico y el material carbonoso residual se gasifica adicionalmente. Esto da como resultado mayores rendimientos de conversión del material carbonoso en gas de síntesis y gas de síntesis más limpio mediante la destrucción de componentes de alquitrán y la eliminación de partículas de polvo.

25 La disposición del sistema de metanación de la invención sirve para que el calor que se libera al enfriar el gas de síntesis antes de la reacción de metanación y/o al enfriar el metano crudo para condensar y separar el agua se reutilice eficientemente para la generación de vapor requerido para el gasificador.

30 La presente invención se describirá ahora adicionalmente. En los siguientes pasajes, se definen diferentes aspectos de la invención con más detalle. Cada aspecto así definido puede combinarse con cualquier otro aspecto o aspectos, a menos que se indique claramente lo contrario. En particular, cualquier característica indicada como preferida o ventajosa puede combinarse con cualquier otra característica o características indicadas como preferidas o ventajosas.

### 35 Descripción de las figuras

La Figura 1 muestra una vista esquemática de un gasificador como se describe en el presente documento.

La Figura 2 muestra una vista esquemática de un gasificador alternativo como se describe en el presente documento.

40 La Figura 3 muestra una vista esquemática de un sistema de metanación según una realización de la invención.

### Descripción detallada de la invención

45 Antes de que se describa el presente método utilizado en la invención, debe entenderse que esta invención no se limita a gasificadores, sistemas de metanación, sistemas y procesos de generación de electricidad, descritos particulares, dado que dichos gasificadores, sistemas de metanación, sistemas y procesos de generación de electricidad, naturalmente, pueden variar. También debe entenderse que la terminología utilizada en el presente documento no pretende ser limitante, ya que el alcance de la presente invención estará limitado solo por las reivindicaciones adjuntas.

50 Al describir los gasificadores, los sistemas de metanación, los sistemas de generación de electricidad y los procesos de la invención, los términos utilizados deben interpretarse de acuerdo con las siguientes definiciones, a menos que un contexto indique lo contrario.

55 Como se usa en este documento, las formas singulares "un", "una" y "el/la" incluyen referentes tanto en singular como en plural, a menos que el contexto indique claramente lo contrario. A modo de ejemplo, "un gasificador" significa un gasificador o más de un gasificador.

60 Los términos "que comprende", "comprende" y "compuesto por" tal como se usan en el presente documento son sinónimos de "que incluye", "incluye" o "que contiene", "contiene", y son inclusivos o de carácter abierto y no excluyen miembros, elementos o etapas del método adicionales no mencionados. Los términos "que comprende", "comprende" y "compuesto por" también incluyen el término "que consiste en".

65 La mención de rangos numéricos por puntos finales incluye todos los números enteros y, cuando corresponda, las fracciones incluidas dentro de ese rango (por ejemplo, de 1 a 5 pueden incluir 1, 2, 3, 4 cuando se refiera, por ejemplo, a una serie de elementos, y también pueden incluir 1,5, 2, 2,75 y 3,80, cuando se refiera, por ejemplo, a

medidas). La mención de los puntos finales también incluye los valores de los puntos finales (por ejemplo, de 1,0 a 5,0 incluye tanto 1,0 como 5,0). Cualquier rango numérico mencionado en este documento tiene la intención de incluir todos los sub-rangos incluidos en el mismo.

5 La referencia a lo largo de esta memoria descriptiva a "una realización" significa que una característica, estructura o rasgo particular descrito en relación con la realización está incluida en al menos una realización de la presente invención. Por lo tanto, la aparición de la frase "en una realización" en varios lugares a lo largo de esta memoria descriptiva no se refiere necesariamente a la misma realización, pero puede ser el caso. Además, las características, estructuras o rasgos particulares se pueden combinar de cualquier manera adecuada, como sería  
10 evidente para un experto en la materia a partir de esta descripción, en una o más realizaciones. Además, aunque algunas realizaciones descritas en el presente documento incluyen algunas pero no otras características incluidas en otras realizaciones, se pretende que las combinaciones de características de diferentes realizaciones estén dentro del alcance de la invención y formen diferentes realizaciones, como entienden los expertos en la materia. Por ejemplo, en las siguientes reivindicaciones y afirmaciones, cualquiera de las realizaciones puede usarse en cualquier  
15 combinación.

A menos que se defina lo contrario, todos los términos utilizados para desvelar la invención, incluidos los términos técnicos y científicos, tienen el significado que comúnmente entiende un experto en la materia a la que pertenece esta invención. Por medio de orientación adicional, se incluyen definiciones de los términos usados en la descripción para apreciar mejor la enseñanza de la presente invención.  
20

El término "gasificador" se refiere a un sistema que puede convertir un material carbonoso en un gas, en particular un gas de síntesis. El sistema puede estar alojado en una unidad o puede consistir en una serie de subunidades conectadas entre sí con tuberías y conductos.  
25

El término "material carbonoso" se refiere a un material que es rico en carbono. El material carbonoso puede estar en cualquier forma, tal como en forma líquida y/o sólida. Preferiblemente, el material carbonoso utilizado en la invención se selecciona de la lista que comprende residuos, biomasa, tales como residuos animales y materiales vegetales, petróleo, petróleo refinado, petróleo crudo, carbón o coque. Más preferiblemente, el material carbonoso es desecho o biomasa, lo más preferiblemente biomasa.  
30

El término "material del lecho" se refiere a una mezcla de partículas que forman un lecho de reacción.

El término "sección transversal" puede referirse a la intersección entre el volumen interno y un plano perpendicular a la dirección longitudinal del gasificador.  
35

En el contexto de la presente invención, el término "gas de síntesis crudo" se refiere al gas de síntesis producido por gasificación de un material carbonoso en un lecho fluidizado y/o por gasificación por plasma de un material carbonoso. Habitualmente, el material carbonoso no está completamente gasificado en estas reacciones, dejando material carbonoso residual en el gas de síntesis crudo. El gas de síntesis crudo además puede comprender contaminantes tales como componentes de alquitrán, pero también material inorgánico, material de lecho y/o catalizador.  
40

Con "refinado" o "limpieza" del gas de síntesis crudo se entiende en el presente documento convertir adicionalmente el material carbonoso residual en gas de síntesis, la destrucción de componentes de alquitrán y/o la eliminación de partículas o polvo.  
45

El término "alquitrán" se refiere a cualquier componente que se libera del material carbonoso durante la gasificación diferente del gas de síntesis. El alquitrán puede comprender compuestos orgánicos ligeros como metileno y etileno, pero también compuestos aromáticos como benceno, xileno y antraceno.  
50

El término "carbonizado" se refiere a la parte de la alimentación de material carbonoso que no se puede gasificar. Cuando el material carbonoso procede de una fuente biológica, el término "biocarbonizado" es apropiado.

55 Un primer aspecto se refiere a un gasificador que puede usarse en el sistema y proceso de la invención, el gasificador que comprende:

- un volumen interno que comprende una sección superior, una sección media y una sección inferior, y opcionalmente una primera sección de conexión, que conecta dicha sección superior y dicha sección media, y/o una segunda sección de conexión, que conecta dicha sección media y dicha sección inferior;
  - una entrada de material carbonoso, configurada para recibir una alimentación de material carbonoso y conectada de forma fluida al volumen interno;
  - un material de lecho, configurado dentro de la sección media y/o sección inferior y conectada a al menos una entrada de gas para fluidificar el lecho;
  - una salida de gas, conectada de forma fluida a la sección superior,
  - al menos un sistema de plasma dentro de la sección superior,
- 60  
65

en el que dicho al menos un sistema de plasma está configurado de modo que el gas, en particular el gas de síntesis, que sale del gasificador a través de la salida de gas pasa a través de una zona calentada por dicho al menos un sistema de plasma, preferiblemente a través de la llama de plasma.

5 La sección superior puede funcionar como una zona de gasificación/craqueo térmico para refinar el gas de síntesis crudo, la sección media puede funcionar como un recipiente para el lecho fluidizado, y la sección inferior puede funcionar como un colector de carbonizado. Cuando no hay suficiente carbonizado para llenar la sección inferior, esta sección inferior también puede contener parte del lecho fluidizado.

10 Por lo tanto, un gasificador como se describe en el presente documento puede comprender:

- un volumen interno;
- 15 - una entrada de material carbonoso para recibir una alimentación de material carbonoso, en la que dicha entrada está conectada de forma fluida al volumen interno;
- un material de lecho dentro del volumen interno y conectado a al menos una entrada de gas para fluidizar el material del lecho, en el que el material del lecho se pone en dicho volumen interno para recibir el material carbonoso que se introduce al volumen interno a través de la entrada de material carbonoso;
- 20 - una salida de gas (de síntesis) para permitir que el gas (de síntesis) producido en el volumen interno salga del gasificador, en la que dicha salida de gas (de síntesis) está conectada de forma fluida al volumen interno;
- al menos un sistema de plasma dentro del volumen interno, en el que dicho al menos un sistema de plasma está configurado para que el gas, en particular el gas de síntesis, que sale del gasificador a través de la salida de gas pase a través de una zona calentada por dicho al menos un sistema de plasma, preferiblemente a través de la llama o llamas de plasma.

25 En algunas realizaciones, el material del lecho está contenido en el volumen interno del gasificador entre la al menos una entrada de gas para fluidificar el material del lecho y el al menos un sistema de plasma.

30 La entrada de material carbonoso puede ponerse de modo que el material carbonoso entre en el volumen interno entre al menos un sistema de plasma y el material de lecho fluidizado.

Preferiblemente, el gasificador tiene la forma de un ciclón o forma de embudo con la abertura más ancha en la sección superior. En algunas realizaciones, la sección inferior tiene una sección transversal más pequeña que la sección media y dicha sección media tiene una sección transversal más pequeña que la sección superior.

35 En una realización, la sección transversal de la sección media varía a lo largo de la dirección longitudinal de dicho gasificador dentro de un rango del 20 %, preferiblemente dentro de un rango del 10 %, más preferiblemente dentro de un rango del 5 %, incluso más preferiblemente dentro de un rango del 2 % y lo más preferiblemente es un valor constante. Esto tiene la ventaja de que se puede generar un lecho fluidizado estable en esta sección media. De hecho, si la forma que contiene un lecho fluidizado es demasiado cónica, el lecho fluidizado se altera y se producen puntos calientes.

40 En algunas realizaciones, está presente una primera sección de conexión, que conecta dicha sección superior y dicha sección media, y/o una segunda sección de conexión, que conecta dicha sección media y dicha sección inferior. Preferiblemente, dicha primera sección de conexión y/o dicha segunda sección de conexión puede ser una sección de conexión troncocónica. Esto tiene la ventaja de que la sección superior, la sección media y/o la sección inferior pueden ser tubos o tener forma de tubos, mientras que las secciones de conexión troncocónica aseguran que las partículas sólidas puedan rodar fácilmente por la superficie interna del gasificador. Esto simplifica la construcción del gasificador.

50 Preferiblemente, dicha sección superior, sección media y sección inferior están dispuestas a lo largo de la dirección longitudinal de dicho gasificador, con la sección superior colocada en la parte superior de la sección media que se pone en la parte superior de la sección inferior y esto preferiblemente cuando el gasificador está configurado en las condiciones de trabajo.

55 Dicho gasificador como se describe en el presente documento tiene la ventaja de que se genera la al menos una llama de plasma por encima del lecho fluidizado. De esta forma, se crea una zona con una temperatura alta comparativa por encima del lecho fluidizado. El alquitrán presente en el gas de síntesis crudo que se produce en el lecho fluidizado sufrirá craqueo térmico debido a la alta temperatura en dicha zona. También el material carbonoso residual presente en el gas de síntesis crudo se gasifica adicionalmente en dicha zona, dando como resultado una gasificación más eficiente del material carbonoso y partículas mucho menos sólidas en la zona de la sección superior por encima de dicha llama de plasma. Por lo tanto, muchas menos partículas sólidas y alquitrán llegan a la salida de gas, lo que resulta en un gas de síntesis más limpio. Por otra parte, se produce un gas de síntesis en el sistema de plasma que es rico en H<sub>2</sub> y CO.

65 En algunas realizaciones, al menos 2, preferiblemente al menos 3 y más preferiblemente al menos 4 sistemas de

plasma están dispuestos en la sección superior y/o en la primera sección de conexión. Estos 2 o más sistemas de plasma pueden estar dispuestos en un círculo siguiendo los contornos del volumen interno. Estos 2 o más sistemas de plasma también se pueden organizar en diferentes niveles.

- 5 En una realización, el al menos un sistema de plasma, tal como los dos o más sistemas de plasma, está orientado bajo un ángulo agudo con la dirección longitudinal del gasificador, y esto con la salida de llama de plasma apuntando hacia la sección media o la sección inferior.

- 10 En algunas realizaciones, el volumen interno, en particular la sección superior del volumen interno, comprende una constricción en o cerca del al menos un sistema de plasma. Preferiblemente, dicha constricción reduce el diámetro interno del volumen interno, en particular de la sección superior del volumen interno, en o cerca de dicho al menos un sistema de plasma en al menos el 10 % a como máximo el 80 %, más preferiblemente al menos el 20 % a como máximo el 70 %, incluso más preferiblemente al menos el 30 % a como máximo el 60 %, y lo más preferiblemente al menos el 40 % a como máximo el 50 %. Esta constricción obliga al gas de síntesis producido a pasar a través de las llamas de plasma o en las proximidades de las llamas de plasma, lo que induce un craqueo térmico adicional y una reducción del alquitrán.

- 20 En una realización preferida, el sistema de plasma es un sistema de plasma inducido por microondas, en el que un generador de microondas produce un campo electromagnético a través del cual se introduce una mezcla de gases, ionizando así el gas y generando plasma. Esto tiene la ventaja de que se produce un plasma estable, que puede transferir una gran cantidad de energía al volumen interno y al material carbonoso. La durabilidad de un sistema de plasma inducido por microondas es significativamente mayor que otros sistemas de plasma, como los sistemas de plasma con arco eléctrico. Esto hace que todo el gasificador sea robusto y de bajo mantenimiento.

- 25 Preferiblemente, el al menos un sistema de plasma comprende una entrada de gas, para recibir los gases de plasma. Preferiblemente, estos gases de plasma se seleccionan de la lista que comprende vapor, aire, oxígeno gaseoso, aire enriquecido con oxígeno gaseoso, dióxido de carbono o mezclas de los mismos, más preferiblemente seleccionados de la lista que comprende vapor, aire, oxígeno gaseoso, aire enriquecido con oxígeno gaseoso o mezclas de los mismos y lo más preferiblemente es el vapor de gas de plasma.

- 30 En una realización preferida, dicha entrada de material carbonoso está conectada de forma fluida a la sección superior, sección media y/o la primera sección de conexión del gasificador, preferiblemente conectada de forma fluida a la sección superior y/o primera sección de conexión, más preferiblemente conectada de forma fluida a la sección superior. También preferiblemente, el material carbonoso se introduce en la proximidad inmediata de al menos un sistema de plasma, de modo que la temperatura elevada causada por la llama del plasma puede gasificar al menos parcialmente el material carbonoso recién añadido antes de que ingrese al lecho fluidizado. Por lo tanto, la entrada de material carbonoso puede ponerse de modo que el material carbonoso entre en el volumen interno en la proximidad inmediata, y preferiblemente por encima, del al menos un sistema de plasma. De esta manera, se pueden añadir al gasificador partículas de material carbonoso más grandes que los gasificadores convencionales.
- 40 En ciertas realizaciones, el material carbonoso comprende partículas con un diámetro de hasta 10 cm, como de hasta 9, 8, 7 o 6 cm, preferiblemente hasta 5 cm, como de hasta 4,5, 4,0, 3,5 o 3,0 cm.

- 45 En una realización, dicha entrada de material carbonoso comprende una entrada de gas a presión, configurada preferiblemente para poder propulsar el material carbonoso al volumen interno. Al propulsar el material carbonoso, el material puede dirigirse a una determinada región del gasificador, como la región caliente en las proximidades de, tal como justo encima o justo debajo, de la llama de plasma, o incluso en la llama de plasma. Esto da como resultado una primera gasificación eficiente, de modo que el material carbonoso pierde casi directamente al menos parte de su masa. Cuando la gasificación se realiza bajo la llama de plasma, una ventaja adicional es que el alquitrán formado tiene que pasar a través de la zona calentada por la al menos una llama de plasma antes de salir del gasificador, de modo que el alquitrán sufra un craqueo térmico, lo que lleva a unos gases de síntesis más limpios encima de la llama de plasma.

- 50 En una realización preferida, el gasificador descrito en el presente documento comprende además al menos un filtro que cubre al menos parcialmente la salida de gas. Más preferiblemente, la salida de gas está completamente cubierta por uno o más filtros de manera que los gases, en particular el gas de síntesis, puedan pasar a través del filtro antes de salir del gasificador y el filtro retiene las partículas más grandes presentes en el gas de síntesis, incluidos los componentes de alquitrán. El al menos un filtro tiene así un efecto de limpieza adicional, eliminando además partículas sólidas y partículas de alquitrán del gas de síntesis. De esta forma, el gas de síntesis está listo para su uso posterior sin la necesidad de purificadores y/o depuradores aguas abajo, y se produce menos o sustancialmente nada de deposición de alquitrán aguas abajo del gasificador.

- 60 Preferiblemente, dicho al menos un filtro está configurado dentro del volumen interno del gasificador, preferiblemente en la sección superior del volumen interno, más preferiblemente aguas abajo (aguas abajo que se define por el flujo de gas a través del gasificador) del al menos un sistema de plasma. Esto permite que las partículas retenidas por el filtro vuelvan a caer en el volumen interno, pasando a través de la zona calentada por la al menos una llama de plasma antes de ingresar al material del lecho, de modo que se gasifiquen más, contribuyendo a un mayor

rendimiento.

El al menos un filtro puede ser un filtro de cerámica, más preferiblemente un filtro de vela de cerámica. El al menos un filtro puede ser un filtro catalítico, lo que significa un filtro que comprende un catalizador. El material catalítico puede ser catalizador de hierro o catalizador de níquel, preferiblemente un catalizador de níquel-calcio, un catalizador de hierro/olivina o un catalizador de níquel soportado sobre  $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ . El catalizador es capaz de gasificar al menos parcialmente al menos parte del material retenido por el filtro. La gasificación de este material retenido da como resultado un mayor rendimiento y reduce la obstrucción de los filtros, lo que reduce aún más el mantenimiento y el tiempo de inactividad del gasificador. Ventajosamente, las reacciones catalíticas que ocurren en el filtro son endotérmicas, de modo que los gases que pasan a través del filtro son enfriados por las reacciones catalíticas. Esto tiene la ventaja de que es necesario manipular menos gases calientes aguas abajo del gasificador.

El gasificador descrito en el presente documento comprende además un material de lecho en el volumen interno, en particular en la sección media y/o sección inferior. El objetivo principal de la presencia del material del lecho es el almacenamiento de calor y la transferencia de calor entre las partículas sometidas a gasificación. De esta forma se evitan grandes picos de temperatura y se puede observar una distribución de temperatura casi uniforme.

En una realización preferida, el material del lecho está conectado a al menos una entrada de gas, preferiblemente a al menos una entrada de vapor y a al menos una entrada de aire, gas oxígeno, aire enriquecido con gas oxígeno o dióxido de carbono o mezclas de los mismos. La al menos una entrada de vapor funciona preferiblemente como entrada de gas primario para crear el lecho fluidizado, y la al menos una entrada de aire, gas oxígeno, aire enriquecido con gas oxígeno o dióxido de carbono o mezclas de los mismos como entrada de gas secundario, para mantener la temperatura deseada en el lecho fluidizado. Al variar la relación de vapor a otros gases que se añaden al lecho fluidizado, se puede influir en la composición del gas de síntesis que se produce. Preferiblemente, la relación de vapor a otros gases está regulada para asegurar que la relación molar de  $\text{H}_2/\text{CO}$  en el gas de síntesis sea de 2/1 a 4/1, más preferiblemente de 2,2/1 a 3,8/1, más preferiblemente de 2,4/1 a 3,6/1, incluso más preferiblemente de 2,6/1 a 3,4/1, aún más preferiblemente de 2,8/1 a 3,2/1, y lo más preferiblemente de 2,9/1 a 3,1/1, como 3,0/1.

Preferiblemente, la al menos una entrada de gas está conectada de forma fluida a la sección media, la segunda sección de conexión o la sección inferior, más preferiblemente a la sección media o la segunda sección de conexión. También preferiblemente, la entrada de vapor se pone más abajo en el gasificador que la entrada de aire, gas oxígeno, aire enriquecido con gas oxígeno o dióxido de carbono o mezclas de los mismos. Dicha al menos una entrada de gas está configurada preferiblemente de modo que el material del lecho se suspende o fluidifica tras la adición de gases a través de dicha al menos una entrada de gas. La transferencia de calor es óptima en un lecho fluidizado y existe un contacto intenso entre el material carbonoso y el gas o vapor que se añade al gasificador a través de dicha al menos una entrada de gas.

El material del lecho comprende partículas catalíticas. Por ejemplo, el material del lecho puede comprender partículas que comprenden un catalizador a base de metal, preferiblemente un catalizador a base de hierro o un catalizador a base de níquel, más preferiblemente es el catalizador de níquel disperso en alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) o un catalizador de hierro-olivina, preferiblemente un catalizador de hierro-olivina con un contenido de hierro del 5 al 45 % en peso, más preferiblemente del 7 al 35 % en peso, incluso más preferiblemente del 10 al 25 % en peso, lo más preferiblemente del 20 % en peso. Estas partículas catalíticas aceleran significativamente el proceso de gasificación. La presencia de las partículas de catalizador también influye en la composición del gas de síntesis producido, por ejemplo, se genera menos dióxido de carbono y se generan cantidades reducidas de metano y alquitrán cuando se usan partículas catalíticas. Los catalizadores a base de hierro tienen la ventaja adicional de que se consideran seguros para el medio ambiente y, por lo tanto, pueden dejarse en el carbonizado o en el biocarbonizado. En otras realizaciones más, el material del lecho comprende una mezcla de partículas inertes y partículas catalíticas.

En ciertas realizaciones, se añaden sorbentes para la eliminación de metales pesados, álcali y/o gas agrio al volumen interno o al lecho fluidizado. Preferiblemente, los sorbentes se ponen en un lecho, preferiblemente un lecho fijo dentro del volumen interno. Preferiblemente, los sorbentes se seleccionan de la lista de bauxita, caolinita, zeolita, cal, escoria, sorbentes a base de Ba, aluminosilicato o mezclas de los mismos.

En algunas realizaciones, la temperatura promedio del lecho fluidizado está entre 400 °C y 1000 °C, preferiblemente entre 500 °C y 900 °C, más preferiblemente entre 600 °C y 875 °C, incluso más preferiblemente entre 700 °C y 850 °C y lo más preferiblemente entre 750 °C y 825 °C.

En una realización preferida, el material del lecho está conectado a una salida de carbonizado en la sección inferior. A través de dicha salida de carbonizado, el carbonizado, pero también el material carbonoso no reaccionado y/o pesado, y el material del lecho, pueden retirarse del gasificador, preferiblemente sin tener que apagar el gasificador. Cuando se usa material carbonoso proveniente de una fuente biológica, el biocarbonizado sale del gasificador. Este biocarbonizado puede usarse en aplicaciones agrícolas.

La invención se refiere a un sistema de metanación para la conversión de material carbonoso en metano, que

comprende:

- un gasificador, adecuado para gasificar material carbonoso en gas de síntesis, dicho gasificador que se alimenta al menos parcialmente con vapor, y en el que dicho gasificador comprende una salida de gas de síntesis;
- 5 - una primera unidad de enfriamiento, que comprende una entrada de gas caliente y una salida de gas frío, en la que dicha entrada de gas caliente está conectada de forma fluida a la salida de gas de síntesis de dicho gasificador;
- una unidad de metanación, adecuada para producir metano crudo a partir de gas de síntesis, que comprende una entrada de gas de síntesis y una salida de metano crudo, en la que dicha entrada de gas de síntesis está
- 10 conectada de forma fluida a dicha salida de gas frío de la primera unidad de enfriamiento;
- una segunda unidad de enfriamiento, que comprende una entrada de metano caliente y una salida de metano frío, en la que dicha entrada de metano caliente está conectada de manera fluida a dicha salida de metano crudo de la unidad de metanación;

15 en la que dicha primera unidad de enfriamiento y dicha segunda unidad de enfriamiento comprenden un economizador, evaporador y/o supercalentador para la producción de vapor para el gasificador.

El término "sistema de metanación" se refiere a un sistema que puede convertir un material carbonoso en gas metano o un gas que es rico en metano, preferiblemente un gas que comprende más del 50 % en volumen de metano, más preferiblemente un gas que comprende más del 75 % en volumen de metano, y lo más preferiblemente un gas que comprende más del 90 % en volumen de metano. En el caso de que se use biomasa como material carbonoso, es apropiado el término "biometanación". El metano producido se denomina "biometano". Otros términos de uso frecuente para referirse al gas metano que se produce en lugar de ser extraído es gas natural sustituto o gas natural sintético o GNS.

25 El término "unidad de metanación" se refiere a una unidad que puede convertir gas de síntesis, en particular hidrógeno y óxidos de carbono, preferiblemente monóxido de carbono, en metano y agua.

En algunas realizaciones preferidas, la unidad de metanación es un metanizador de lecho fluidizado. Los metanizadores de lecho fluidizado comprenden un lecho del reactor que se fluidifica a través de la entrada de gases como vapor y oxidante. En consecuencia, los metanizadores de lecho fluidizado habitualmente comprenden un volumen interno que comprende un material de lecho, y al menos una entrada de gas conectada de forma fluida a dicho volumen interno y en conexión fluida con dicho material de lecho. En una realización preferida, la unidad de metanación comprende un lecho catalítico, preferiblemente un lecho catalítico fluidizado. Dicho lecho catalítico puede comprender partículas catalíticas basadas en hierro o en níquel. Debido a que la conversión de gas de síntesis en metano es exotérmica, el lecho fluidizado asegura una buena transferencia de calor y transporte de calor, evitando puntos calientes que podrían dañar la unidad o el catalizador. Una buena eliminación del calor también favorecerá termodinámicamente la reacción de conversión. Preferiblemente dicho lecho fluidizado se mantiene en una sección de la unidad de metanación que se enfría, más preferiblemente se enfría con agua.

40 El metano que se genera en el sistema de metanación puede inyectarse en la red de gas natural, o puede usarse para producir electricidad o almacenarse para su uso posterior (por ejemplo, biometano comprimido, por ejemplo, para vehículos).

45 La primera unidad de enfriamiento en el sistema de metanación descrito en el presente documento enfría el gas de síntesis que sale del gasificador antes de que entre en la unidad de metanación. La temperatura óptima para la reacción de metanación es más baja que la temperatura del gas de síntesis que sale del gasificador y la metanación es una reacción exotérmica. Por lo tanto, sin enfriar el gas que ingresa a la unidad de metanación, la temperatura dentro de la unidad de metanación sería demasiado extrema para el catalizador y los materiales de construcción de la propia unidad de metanación. En algunas realizaciones preferidas, el calor que se libera de la corriente de gas en esta primera unidad de enfriamiento se usa para la producción de vapor. Por consiguiente, en algunas realizaciones, la primera unidad de enfriamiento es un economizador, un evaporador y/o un supercalentador.

55 La segunda unidad de enfriamiento en el sistema de metanación descrito en el presente documento puede servir como separador de agua, eliminando el agua del efluente de la unidad de metanación para producir un gas de metano relativamente seco que se puede usar posteriormente. Por consiguiente, en algunas realizaciones, dicha segunda unidad de enfriamiento comprende un condensador, preferiblemente un economizador de condensación o un evaporador de condensación. En algunas realizaciones preferidas, el calor que esta segunda unidad de enfriamiento extrae de la corriente de gas se usa en la producción de vapor. Por consiguiente, en algunas realizaciones, la segunda unidad de enfriamiento es un economizador, un evaporador y/o un supercalentador.

60 El término "economizador", como se usa en el presente documento, se refiere a un dispositivo de intercambio de calor que calienta fluidos, tales como agua, hasta, pero normalmente no más allá del punto de ebullición de ese fluido.

65 El término "evaporador", como se usa en el presente documento, se refiere a un dispositivo de intercambio de calor

en el que el calor se usa para convertir un fluido tal como agua en un estado gaseoso tal como vapor de agua.

El término "supercalentador", como se usa en el presente documento, se refiere a un dispositivo de intercambio de calor que calienta el vapor a temperaturas superiores a 100 °C.

5 En algunas realizaciones, la segunda unidad de enfriamiento comprende un economizador y un evaporador para la producción de vapor. En algunas realizaciones, la primera unidad de enfriamiento comprende un evaporador y un supercalentador para la producción de vapor. En algunas realizaciones, la primera unidad de enfriamiento  
10 comprende un evaporador y un supercalentador para la producción de vapor y la segunda unidad de enfriamiento comprende un evaporador y un supercalentador para la producción de vapor. En algunas realizaciones, la primera unidad de enfriamiento comprende un evaporador y un supercalentador para la producción de vapor y la segunda unidad de enfriamiento comprende un evaporador y un economizador para la producción de vapor.

15 En algunas realizaciones en las que el calor que se libera en la primera y/o segunda unidad de enfriamiento se usa para producir vapor, la eficiencia energética de todo el sistema de metanación se optimiza, ya que se usa el enfriamiento necesario para producir vapor que puede usarse para otros fines. En algunas realizaciones preferidas, se usa vapor, en particular vapor sobrecalentado, al menos parcialmente para alimentar el gasificador del sistema de metanación, en particular un lecho fluidizado y/o un sistema de plasma del gasificador.

20 En una realización preferida, la segunda unidad de enfriamiento comprende un condensador, adecuado para separar al menos parcialmente agua del metano crudo que sale de la unidad de metanación. En algunas realizaciones, la segunda unidad de enfriamiento comprende un economizador de condensación o un evaporador de condensación. En algunas realizaciones, el agua separada se retroalimenta al sistema de metanación como líquido refrigerante o medio de transferencia de calor y se transforma en vapor pasando a través del economizador, el  
25 evaporador y/o el supercalentador. En algunas realizaciones, la salida de agua del condensador está conectada de manera fluida con la entrada del medio de transferencia de calor de la segunda unidad de enfriamiento y/o de la primera unidad de enfriamiento. La salida de agua del condensador recoge el agua que se separa del metano crudo. En algunas realizaciones particulares, el agua separada se introduce al condensador como líquido refrigerante o medio de transferencia de calor y se transforma en vapor al pasar por el economizador, el evaporador y/o el  
30 supercalentador. En algunas realizaciones particulares, la salida de agua del condensador está conectada de forma fluida con la entrada del medio de transferencia de calor de dicho condensador.

Preferiblemente, la segunda unidad de enfriamiento del sistema de metanación descrito en el presente documento comprende uno o más de dicho economizador, evaporador y supercalentador, más preferiblemente un  
35 economizador y un evaporador. Preferiblemente, la primera unidad de enfriamiento del sistema de metanación descrito en el presente documento comprende uno o más de dicho economizador, evaporador y supercalentador, más preferiblemente un evaporador y un supercalentador. Se puede poner un enfriador de agua adicional para enfriar el agua separada que sale de la segunda unidad de enfriamiento antes de ingresar a la segunda unidad como líquido de enfriamiento. Por lo tanto, el sistema de metanación como se describe en el presente documento además  
40 puede comprender un enfriador que se pone entre la salida de agua del condensador y la entrada del medio de transferencia de calor de la segunda unidad de enfriamiento y/o la primera unidad de enfriamiento, o entre la salida de agua del condensador y la entrada del medio de transferencia de calor del condensador.

45 En una realización preferida, se pone un tambor de vapor entre el supercalentador y el uno o más evaporadores.

En una realización preferida del sistema de metanación, el gasificador es un gasificador de acuerdo con una realización del primer aspecto de la invención.

50 En algunas realizaciones, las siguientes características de la unidad de metanación pueden disponerse de aguas abajo a aguas arriba, definiéndose aguas abajo y aguas arriba por el flujo de gas a través del sistema de metanación: un lecho de reactor fluidizado del gasificador (9); al menos un sistema de plasma (8); opcionalmente un filtro del gasificador (17); un primer evaporador (29); un supercalentador (18); un metanizador de lecho fluidizado (21); opcionalmente un filtro de la unidad de metanación (31); un segundo evaporador (28); un condensador (24).

55 La ventaja del sistema de metanación descrito en este documento es su alta eficiencia energética como se describe en este documento. Una ventaja adicional es que se consume vapor durante la gasificación del material carbonoso en el gasificador, pero se genera vapor/vapor de agua durante la etapa de metanación en la unidad de metanación, lo que da como resultado un sistema en el que solo se necesita añadir una pequeña cantidad de agua al sistema de metanación para mantener la cantidad de agua en el sistema.

60 En los procesos descritos en este documento, el gas de síntesis crudo que se genera durante la gasificación de material carbonoso en el lecho fluidizado y/o por gasificación de plasma de material carbonoso, pasa a través de una región que se calienta con al menos una antorcha de plasma. Pasar a través de esta región con temperatura elevada, provocará el craqueo térmico de los componentes de alquitrán en el gas de síntesis crudo y una mayor  
65 gasificación de cualquier material carbonoso residual. Esto da como resultado una mayor eficiencia en la producción de gas de síntesis y un gas de síntesis más limpio que está a punto de abandonar el gasificador.

El sistema de plasma utilizado en el proceso puede ser un sistema de plasma inducido por microondas como se describe en otra parte del presente documento.

5 En algunas realizaciones adicionales, el gas de síntesis refinado (parcialmente) producido en la etapa d) se pasa a través de un filtro antes de drenarse del gasificador para refinar aún más el gas de síntesis. Preferiblemente, dicho filtro es un filtro catalítico como se describe en otra parte del presente documento.

10 Preferiblemente, el gasificador usado en el proceso para la gasificación de material carbonoso como se enseña en el presente documento es un gasificador como se ha descrito anteriormente.

La invención se refiere a un proceso para la conversión de un material carbonoso en gas metano, que comprende las etapas de:

- 15 a) alimentar material carbonoso a un gasificador (1) a través de una entrada de material carbonoso (2) de dicho gasificador (1);  
 b) hacer pasar dicho material carbonoso a través de una zona calentada por al menos un sistema de plasma (8), gasificando parcialmente dicho material carbonoso en un gas de síntesis crudo antes de entrar en el lecho fluidizado (9);  
 20 c) gasificar dicho material carbonoso en un lecho fluidizado que comprende partículas catalíticas (9) dentro de dicho gasificador (1), produciendo así un gas de síntesis crudo;  
 d) pasar el gas de síntesis crudo producido en las etapas b) y c) a través de una zona calentada por al menos un sistema de plasma (8) para refinar el gas de síntesis crudo al menos parcialmente;  
 25 e) opcionalmente, pasar el gas de síntesis al menos parcialmente refinado obtenido en la etapa d) a través de un filtro para refinar aún más el gas de síntesis;  
 f) drenar el gas de síntesis refinado producido en las etapas d) y e) del gasificador (1) a través de una salida de gas (16);  
 g) convertir el gas de síntesis refinado al menos parcialmente en metano crudo en una unidad de metanación (21), preferiblemente un metanizador de lecho fluidizado,

30 en el que el gas de síntesis refinado que se drena del gasificador (1) se pasa a través de una primera unidad de enfriamiento y en el que el metano crudo que sale de la unidad de metanación (21) se pasa a través de un segundo enfriamiento, en la que dicha primera unidad de enfriamiento y dicha segunda unidad de enfriamiento comprende independientemente un economizador, un evaporador y/o un supercalentador para la producción de vapor para el  
 35 gasificador (1).

## Ejemplos

### Ejemplo 1

40 La Figura 1 muestra un gasificador 1 adecuado para usar en la invención. El material carbonoso ingresa al gasificador 1 a través de las entradas de material carbonoso 2. Los conductos 3 conectan las entradas de material carbonoso 2 con el volumen interno 4 del gasificador. El volumen interno 4 se subdivide en una sección superior 5, una sección media 6 y una sección inferior 7. La sección superior 5 está conectada a la sección media 6 por una  
 45 primera sección de conexión 10. La sección media 6 está conectada a la sección inferior 7 por una segunda sección de conexión 11. El diámetro de la sección superior 5 es mayor que el diámetro de la sección media 6 y el diámetro de la sección media 6 es mayor que el diámetro de la sección inferior 7. Los sistemas de plasma 8 están configurados en la sección superior 5. En este ejemplo, las entradas de material carbonoso 2 se ponen por encima de las llamas de plasma, pero, alternativamente, las entradas de material carbonoso 2 pueden ponerse al mismo  
 50 nivel de las llamas de plasma o debajo de las llamas de plasma. El lecho catalítico fluidizado 9 está alojado en la sección media 6 y la segunda sección de conexión 11. El vapor se suministra a través de la entrada de vapor primario 12 al lecho 9. Se suministra gas rico en oxígeno al lecho fluidizado 9 a través de la entrada de gas secundario 13. Este gas rico en oxígeno regula la temperatura del lecho fluidizado, ya que esto permite que parte del material carbonoso se queme y libere calor. Los gases de plasma, como el vapor, se suministran a través de las  
 55 entradas de gas de plasma 14. El carbonizado puede recogerse en la sección inferior 7, y puede eliminarse a través de la salida de carbonizado 15. La salida de gas de síntesis 16 está cubierta por filtros de vela catalítica 17.

### Ejemplo 2

60 En un ejemplo alternativo, las entradas de material carbonoso 2 se ponen cerca del sistema de plasma 8 para asegurar que el material carbonoso que ingresa a la sección superior 5 se calienta por la llama de plasma, de modo que el material carbonoso se gasifica al menos parcialmente antes de ingresar en el lecho 9. En la Figura 2 se muestra una vista esquemática de este gasificador.

### Ejemplo 3

La Figura 3 muestra una vista esquemática de un sistema de metanación 36 según una realización de la invención. El gas de síntesis producido en el gasificador 1 del ejemplo 1 sale del gasificador 1 a través de la salida de gas de síntesis 16, la temperatura del gas de síntesis es de aproximadamente 800 °C en este punto, el gas de síntesis caliente pasa a través de una primera unidad de enfriamiento que comprende un primer evaporador 29, reduciendo la temperatura del gas de síntesis a aproximadamente 500 °C, y un supercalentador 18, en el que la temperatura del gas de síntesis se reduce aún más a aproximadamente 350 °C cuando el gas de síntesis sale de la primera unidad de enfriamiento por la salida de gas frío 20. Este gas de síntesis se introduce entonces en la unidad de metanación 21 a través de la entrada de gas de síntesis 22, donde entra en un lecho fluidizado 33, que comprende un catalizador de níquel. El gas de síntesis se convierte en metano y agua en una reacción exotérmica. Se prevén instalaciones de enfriamiento en la pared que sostiene el lecho fluidizado 33. Las partículas sólidas del lecho fluidizado se pueden eliminar a través de la salida de sólidos 30 en el fondo de la unidad de metanación. Un filtro 31 cubre la salida de metano crudo 23 de la unidad de metanación 21. La propia unidad de metanación tiene una sección superior 32, una sección media 33 y una sección inferior 34, en la que el diámetro de la sección superior 32 es mayor que el diámetro de la sección media 33 y el diámetro de la sección media 33 es mayor que el diámetro de la sección inferior 34. El metano húmedo crudo sale de la unidad de metanación 21 por la salida de metano crudo 23 a una temperatura de aproximadamente 400 °C y se pasa a través de una segunda unidad de enfriamiento que comprende un segundo evaporador 28, que enfría el metano húmedo a aproximadamente 100 °C, y un condensador 24, que separa el agua del metano. El metano seco sale de la segunda unidad de enfriamiento a través de la salida de metano frío 26.

El agua que se separa del metano en el condensador 24 se somete a una etapa de enfriamiento adicional y se retroalimenta al condensador 24, pero como líquido refrigerante. El condensador 24 funciona como un economizador para el agua, calentando el agua a aproximadamente 90 °C. Esta agua se introduce entonces al segundo evaporador 28, donde se convierte en vapor saturado. Este vapor saturado se conduce a un tambor de vapor 35, donde el líquido se separa de la fase de vapor. El líquido entra en el primer evaporador 29, y a continuación se convierte en vapor, que se retroalimenta al tambor de vapor 35. La fase de vapor en el tambor de vapor 35 se introduce al supercalentador 18, donde la temperatura del vapor de agua se eleva a aproximadamente 400 °C y el vapor de agua se convierte en vapor. Este vapor se introduce al gasificador 1, como gas primario para crear el lecho fluidizado a través de la entrada de gas 12, y/o como gas de plasma a través de la entrada de gas de plasma 14.

## REIVINDICACIONES

1. Sistema de metanación (36) para la conversión de material carbonoso en metano, que comprende:

- 5 - un gasificador (1) para gasificar material carbonoso en gas de síntesis, dicho gasificador que se alimenta al menos parcialmente con vapor y que comprende:
- 10 - un volumen interno (4) que comprende una sección superior (5), una sección media (6) y una sección inferior (7), y opcionalmente una primera sección de conexión (10), que conecta dicha sección superior (5) y dicha sección media (6) y opcionalmente una segunda sección de conexión (11), que conecta dicha sección media (6) y dicha sección inferior (7), en la que dicha sección superior (5), sección media (6) y sección inferior (7) están dispuestas a lo largo la dirección longitudinal de dicho gasificador (1), con la sección superior (5) colocada en la parte superior de la sección media (6) que se pone en la parte superior de la sección inferior (7);
- 15 - una o más entradas de material carbonoso (2) configuradas para recibir una alimentación de material carbonoso y conectadas de forma fluida al volumen interno (4);
- un material de lecho (9) que comprende partículas catalíticas, dentro de la sección media (6) y/o la sección inferior (7) y conectada a al menos una entrada de gas (12) para fluidizar el material del lecho;
- 20 - una salida de gas (16), conectada de forma fluida a la sección superior (5) del volumen interno (4); y
- al menos un sistema de plasma (8) configurado dentro de la sección superior (5) para que el gas que sale del gasificador (1) a través de la salida de gas (16) pase a través de una zona calentada por dicho al menos un sistema de plasma (8);
- 25 - una primera unidad de enfriamiento (18, 29), que comprende una entrada de gas caliente (19) y una salida de gas frío (20), en la que dicha entrada de gas caliente (19) está conectada de forma fluida a la salida de gas (16) de dicho gasificador (1);
- una unidad de metanación (21), adecuada para producir metano crudo a partir de gas de síntesis, que comprende una entrada de gas de síntesis (22) y una salida de metano crudo (23), en la que dicha entrada de gas de síntesis (22) está conectada de manera fluida a dicha salida de gas frío (20) de la primera unidad de enfriamiento (18);
- 30 - una segunda unidad de enfriamiento (24, 28), que comprende una entrada de metano caliente (25) y una salida de metano frío (26), en la que dicha entrada de metano caliente (25) está conectada de manera fluida a dicha salida de metano crudo (23) de la metanación unidad (21);
- 35 en la que dicha primera unidad de enfriamiento y dicha segunda unidad de enfriamiento comprenden independientemente un economizador, un evaporador y/o un supercalentador para la producción de vapor para el gasificador.
- 40 2. Sistema de metanación (36) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el al menos un sistema de plasma (8) del gasificador (1) es un sistema de plasma inducido por microondas.
- 45 3. Sistema de metanación (36) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en el que al menos un filtro (17), preferiblemente un filtro catalítico, más preferiblemente un filtro que comprende un catalizador a base de níquel o a base de hierro, cubre al menos parcialmente la salida de gas (16) del gasificador (1), preferiblemente en el que dicho al menos un filtro (17) está configurado dentro del volumen interno (4) del gasificador (1).
- 50 4. Sistema de metanación (36) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el material del lecho (9) del gasificador (1) comprende partículas que comprenden un catalizador a base de níquel o catalizador a base de hierro.
- 55 5. Sistema de metanación (36) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la sección inferior (7) del volumen interno (4) del gasificador (1) tiene una sección transversal más pequeña que la sección media (6), y en el que la sección media (6) tiene una sección transversal más pequeña que la sección superior (5).
- 60 6. Sistema de metanación (36) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que dicha unidad de metanación (21) es un metanizador de lecho fluidizado.
7. Sistema de metanación (36) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la segunda unidad de enfriamiento comprende un economizador (24) y un evaporador (28) para la producción de vapor y/o en el que la primera unidad de enfriamiento comprende un evaporador (29) y un supercalentador (18) para la producción de vapor.
- 65 8. Sistema de metanación (36) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la segunda unidad de enfriamiento comprende un condensador (24) para separar al menos parcialmente agua del metano crudo.

9. Sistema de metanación (36) de acuerdo con la reivindicación 8, en el que dicha agua que se separa del metano crudo se retroalimenta al condensador (24) como líquido refrigerante y se convierte al menos parcialmente en vapor al pasar a través de dicha primera unidad de enfriamiento y dicha segunda unidad de enfriamiento.
- 5 10. Sistema de metanación (36) de acuerdo con la reivindicación 9, que comprende además un enfriador para enfriar el agua que se separa del metano crudo por el condensador (24) antes de que dicha agua se vuelva a alimentar al condensador (24) como líquido refrigerante.
- 10 11. Proceso para convertir material carbonoso en metano, que comprende las etapas de:
- 15 a) alimentar material carbonoso a un gasificador (1) a través de una entrada de material carbonoso (2) de dicho gasificador (1);  
 b) gasificar dicho material carbonoso en un lecho fluidizado (9) que comprende partículas catalíticas dentro de dicho gasificador (1), produciendo así un gas de síntesis crudo;  
 20 c) pasar el gas de síntesis crudo producido en la etapa b) a través de una zona calentada por al menos un sistema de plasma (8) para refinar el gas de síntesis crudo al menos parcialmente;  
 d) opcionalmente, pasar el gas de síntesis al menos parcialmente refinado a través de un filtro para refinar aún más el gas de síntesis;  
 25 e) drenar el gas de síntesis refinado producido en la etapa c) y opcionalmente en la etapa d) del gasificador (1) a través de una salida de gas (16);  
 f) convertir el gas de síntesis refinado al menos parcialmente en metano crudo en una unidad de metanación (21), preferiblemente un metanizador de lecho fluidizado,
- en el que el gas de síntesis refinado que se drena del gasificador (1) se pasa a través de una primera unidad de enfriamiento y en el que el metano crudo que sale de la unidad de metanación (21) se pasa a través de una segunda unidad de enfriamiento, en la que dicha primera unidad de enfriamiento y dicha segunda unidad de enfriamiento comprenden independientemente un economizador, un evaporador y/o un supercalentador para la producción de vapor para el gasificador (1).
- 30 12. Proceso de acuerdo con la reivindicación 10, en el que dicho proceso se lleva a cabo en un sistema de metanación (36) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.
- 35 13. Proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 11 o 12, que comprende además la etapa de:  
 g) eliminar al menos parcialmente agua del metano crudo obtenido en la etapa f).
- 40 14. Proceso de acuerdo con la reivindicación 13, en el que el agua que se elimina en la etapa g) se retroalimenta en el sistema de metanación (36) como líquido refrigerante y se convierte en vapor al pasar a través de dichas primera y segunda unidades de refrigeración.
15. Proceso de acuerdo con la reivindicación 14, en el que el agua eliminada en la etapa g) se somete adicionalmente a una etapa de enfriamiento adicional antes de volver a introducirse en el sistema de metanación (36).

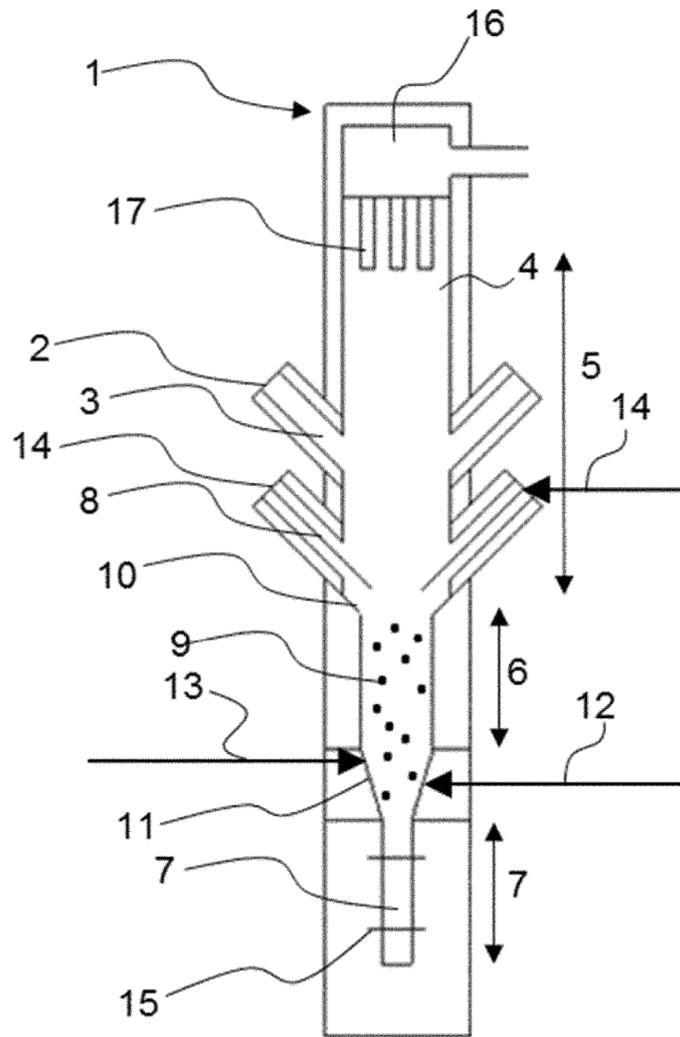


FIG. 1

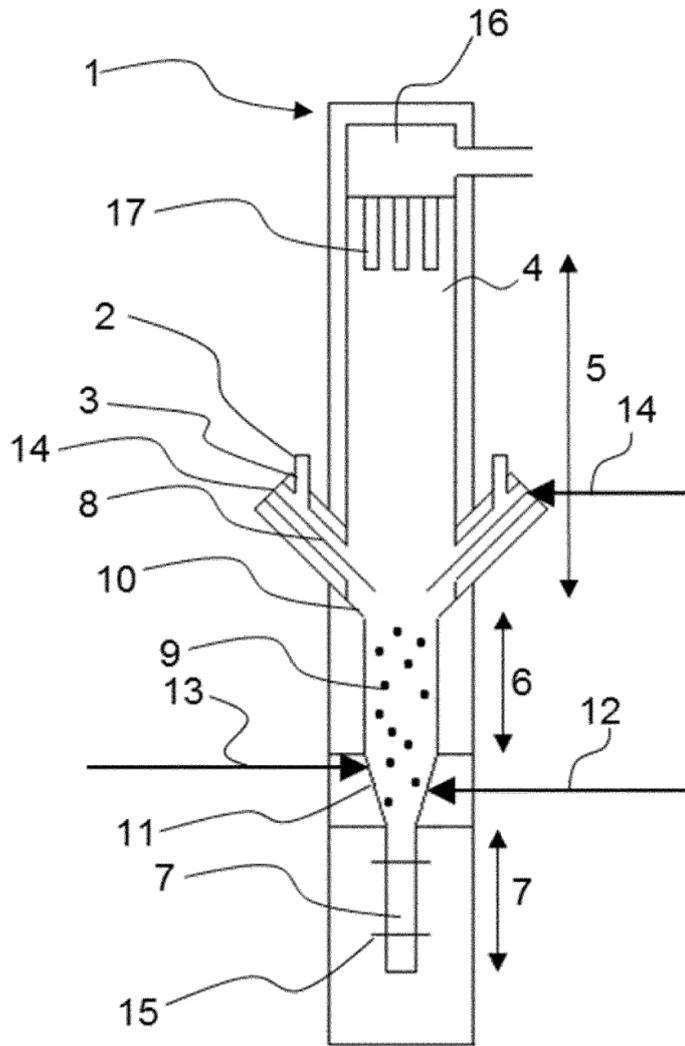


FIG. 2

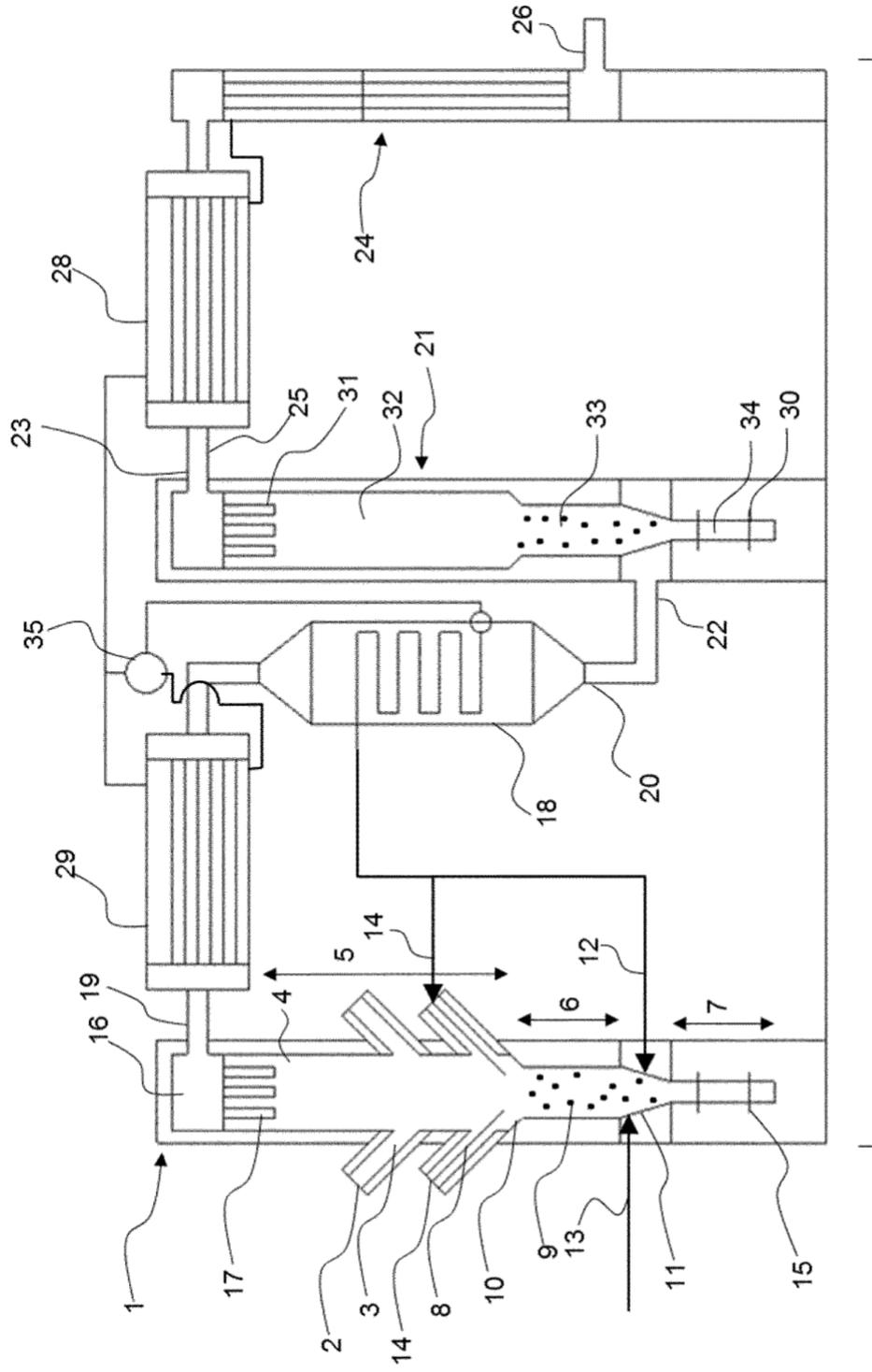


FIG. 3