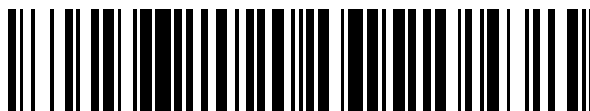


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 618 420**

51 Int. Cl.:

C10J 3/00 (2006.01)
C01B 3/36 (2006.01)
C10J 3/84 (2006.01)
C10K 1/02 (2006.01)
C10K 1/04 (2006.01)
C10J 3/48 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.10.2011 PCT/CA2011/001172**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.05.2012 WO12055012**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.10.2011 E 11835379 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.12.2016 EP 2633003**

54 Título: **Producción de gas de síntesis calentando biomasa oxidada con un gas caliente obtenido de la oxidación de productos residuales**

30 Prioridad:

29.10.2010 US 455992 P

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

21.06.2017

73 Titular/es:

**ENERKEM, INC. (100.0%)
1130 Sherbrooke Street West, Suite 1500
Montreal, QC H3A 2M8 , CA**

72 Inventor/es:

**PAQUET, ANTONIN;
GAGNON, MARTIN y
CHORNET, ESTEBAN**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 618 420 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

Producción de gas de síntesis calentando biomasa oxidada con un gas caliente obtenido de la oxidación de productos residuales

La presente invención se refiere a la producción de gas de síntesis a partir de biomasa. Más particularmente, la presente invención se refiere a la producción de gas de síntesis poniendo en contacto biomasa con oxígeno y vapor para proporcionar una biomasa oxidada, y entonces calentar la biomasa oxidada con gas caliente (que puede producirse por la oxidación de productos residuales) para proporcionar gas de síntesis.

Puede gasificarse una amplia variedad de materias primas ricas en biomasa heterogénea en un gasificador de lecho fluidizado dando gas de síntesis producto, o gas de síntesis, que comprende hidrógeno y monóxido de carbono. Estos gases pueden convertirse en una variedad de combustibles líquidos o en electricidad. El gas de síntesis que sale del gasificador también contiene diversos subproductos gaseosos y sólidos que contienen carbono, además del hidrógeno y monóxido de carbono. El carbono contenido en estos subproductos representa una pérdida en el rendimiento para el proceso, y produce gastos con respecto al tratamiento de gases. Tales subproductos incluyen, pero no se limitan a, dióxido de carbono, gases de hidrocarburos ligeros tales como metano, etano, etileno, propileno y propano, oxigenados tales como metanol, etanol, butanol, acetato de metilo y de etilo, ácido acético, y éster dimetílico, además de extractos orgánicos de peso molecular más alto (es decir, "alquitrán") y sólidos carbónaceos (es decir, "residuo de carbonización").

Los gasificadores de lecho fluidizado, sin embargo, no pueden ser operados a temperaturas lo suficientemente altas como para convertir los subproductos totalmente. Con el fin de evitar la aglomeración en el lecho fluidizado, la temperatura máxima en el gasificador de lecho fluidizado no puede superar la temperatura de reblandecimiento de las cenizas en la biomasa. Cualquier aumento en la temperatura necesaria para la conversión adicional de los subproductos que contienen carbono debe tener lugar aguas abajo del lecho fluidizado.

Los subproductos pueden hacerse reaccionar con vapor o dióxido de carbono para producir gas de síntesis en un proceso llamado reformado. El reformado puede usarse en combinación con la reacción de desplazamiento de gas de agua para producir hidrógeno a partir de metano. El reformado puede realizarse en presencia de un catalizador, tal como un catalizador basado en níquel, para reformar metano a una temperatura de aproximadamente 700 °C a aproximadamente 950 °C. Cuando no se emplea un catalizador, el reformado de metano es eficiente solo si se realiza a temperaturas superiores a 1.300 °C.

En general, el metano es el hidrocarburo más refractario presente en el gas de síntesis primario, o sin tratar, y puede recuperarse como gas residual en las unidades aguas abajo. Otros subproductos que contienen carbono, tales como etano, propano, alquitrán y residuo de carbonización, son menos refractarios que el metano, y pueden convertirse en gas de síntesis a temperaturas que están entre aquellas del reformado catalítico (700 °C o por encima) y las temperaturas más altas del reformado térmico del metano (hasta 1.300 °C).

El reformado es un proceso endotérmico, o que consume calor. Es necesario calor adicional para equilibrar las reacciones de reformado endotérmico con el fin de calentar el gas desde la temperatura de gasificación en el lecho fluido hasta la temperatura de reformado y para compensar pérdidas térmicas. El calor se proporciona normalmente al reformador tanto directamente, es decir, oxidando una porción del gas de síntesis, como indirectamente mediante intercambiadores de calor de alta temperatura.

El documento US 2009/0093555A1 desvela métodos y aparatos para producir gas de síntesis.

Es un objetivo de la presente invención proporcionar un proceso para aumentar la conversión de hidrocarburos ligeros, tales como metano, etano y propano, además de alquitrán y residuo de carbonización, en gas de síntesis mediante reformado que proporciona consumo de gas de síntesis reducido para proporcionar el calor necesario para tal reformado.

Según un aspecto de la presente invención, se proporciona un proceso según la reivindicación 1 para producir gas de síntesis, o gas de síntesis, a partir de biomasa. El proceso comprende poner en contacto la biomasa con oxígeno en una cantidad eficaz para oxidar la biomasa y para calentar la biomasa a una temperatura no superior a 750 °C. Así se produce una biomasa oxidada que incluye un gas de síntesis primario. Con el fin de calentar la biomasa oxidada que incluye el gas de síntesis primario a una temperatura más alta requerida para el reformado, al menos un material combustible se pone entonces en contacto con oxígeno para oxidar el al menos un material combustible y producir un gas a una temperatura de al menos 1.100 °C, proporcionándose así un gas oxidado caliente. La biomasa oxidada que incluye el gas de síntesis primario se pone entonces en contacto con el gas oxidado caliente para calentar la biomasa oxidada que incluye el gas de síntesis primario a una temperatura de al menos 900 °C, reformando así el gas de síntesis primario. Entonces se recupera el gas de síntesis.

Los materiales ricos en biomasa que pueden ser gasificados según la presente invención incluyen, pero no se limitan a, materiales ricos en biomasa homogénea, materiales ricos en biomasa no homogénea, materiales ricos en biomasa heterogénea y biomasa urbana.

5 En general, los materiales ricos en biomasa homogénea son materiales ricos en biomasa que proceden de una única fuente. Tales materiales incluyen, pero no se limitan a, materiales de árboles de coníferas o árboles de hoja caduca de una única especie, materiales agrícolas de una planta de una única especie, tales como heno, maíz o trigo, por ejemplo, lodos primarios de pulpa de madera, y virutas de madera y pellas de madera.

10 Los materiales ricos en biomasa no homogénea son en general materiales que se obtienen de plantas de más de una especie. Tales materiales incluyen, pero no se limitan a, residuos de bosque de especies mixtas y residuos de árboles de especies mixtas obtenidos de las operaciones de descortezado u operaciones de aserradero.

15 Los materiales ricos en biomasa heterogénea son en general materiales que incluyen materiales de biomasa y no de biomasa tales como plásticos, metales, textiles, compuestos de hidrocarburo y residuos multi-material, y/o contaminantes tales como azufre, halógenos o nitrógeno no de biomasa contenido en compuestos tales como sales inorgánicas o compuestos orgánicos. Ejemplos de tales materiales ricos en biomasa heterogénea incluyen, pero no se limitan a, biomasa urbana tales como residuo sólido municipal, tal como combustible derivado de desechos, combustible recuperado sólido, lodos de aguas residuales, residuo industrial-comercial-institucional (ICI), residuo de construcción y demolición (C y D), postes de transmisión eléctrica y traviesas de ferrocarril usados, que pueden tratarse con creosota, pentaclorofenol o arseniato de cobre cromatado, y madera de operaciones de construcción y demolición que puede contener uno o más de los productos químicos anteriores, además de pinturas y resinas.

25 En una realización no limitante, antes poner en contacto la biomasa con el gas oxidante en la primera etapa, la biomasa se mezcla con al menos un material de aditivo, que neutraliza impurezas tales como cloro, flúor y azufre, que pueden estar presentes en la biomasa. En una realización no limitante, el al menos un aditivo es al menos un material adsorbente. Tales materiales adsorbentes incluyen, pero no se limitan a, óxido de calcio, o mezclas de óxido de calcio, caliza calcinada, materiales de ceniza, hierro, hormigón residual, arena de sílice, olivino (un silicato de hierro y magnesio), y mezclas de óxidos de calcio y de magnesio.

30 En otra realización no limitante, el al menos un material de aditivo se añade a la biomasa en una cantidad de aproximadamente 1,5 a aproximadamente 2,0 veces la cantidad estequiométrica requerida para la neutralización completa del cloro y otros halógenos, además del azufre presente en la biomasa. El término "neutralización", como se usa en el presente documento, incluye la formación de sales estables tales como CaCl_2 , CaS y las sales correspondientes de magnesio y hierro.

40 En la primera etapa, la biomasa se pone en contacto con el gas oxidante en condiciones que efectúan una oxidación parcial de la biomasa. Como resultado de tal oxidación parcial, la biomasa se descompone térmicamente, y se produce un residuo carbonáceo sólido, gases tal como CO_2 , vapor, monóxido de carbono, hidrógeno y vapores de especies intermedias tales como hidrocarburos lineales saturados y no saturados de bajo peso molecular, e hidrocarburos aromáticos, y fenólicos tales como fenol, catecoles y fenoles metoxilados, alquilados y alcoxilados.

45 La biomasa se pone en contacto con oxígeno en una cantidad eficaz para oxidar la biomasa y para calentar la biomasa a una temperatura de aproximadamente 600 °C a aproximadamente 750 °C. En otra realización no limitante, la biomasa se calienta a una temperatura de aproximadamente 700 °C a aproximadamente 750 °C.

50 En otra realización no limitante, la biomasa se pone en contacto con oxígeno y vapor en una cantidad eficaz para oxidar la biomasa y para calentar la biomasa como se ha descrito anteriormente en este documento. En otra realización no limitante, la biomasa se pone en contacto con oxígeno, o con oxígeno y vapor, en ausencia de nitrógeno.

55 En otra realización no limitante, en la primera etapa, la biomasa se pone en contacto con oxígeno, o con oxígeno y vapor, en un lecho de material en partículas, por lo que el paso del oxígeno, u oxígeno y vapor, a través de tal lecho proporciona un lecho fluidizado del material en partículas. Tales materiales en partículas incluyen, pero no se limitan a, alúmina, olivino, sílice, dolomita, antracita, coque de petróleo desulfurizado, y en general, cualquier material refractario estable.

60 En una realización no limitante, el material en partículas está seleccionado del grupo que consiste en alúmina, olivino y sílice. En otra realización no limitante, las partículas tienen un diámetro de aproximadamente 250 micrómetros a aproximadamente 850 micrómetros.

65 En otra realización no limitante, la biomasa se pone en contacto, en la primera etapa, con oxígeno, o con oxígeno y vapor, durante un periodo de tiempo que no supera 4 segundos. En otra realización no limitante, la biomasa se pone en contacto, en la primera etapa, con oxígeno, o con oxígeno y vapor, durante un periodo de tiempo que no supera 3 segundos. En otra realización no limitante más, la biomasa se pone en contacto, en la primera etapa, con oxígeno, o con oxígeno y vapor, durante un periodo de tiempo que no supera 2 segundos.

Aunque el alcance de la presente invención no pretende limitarse a ningún razonamiento teórico, como la biomasa se pone en contacto con oxígeno, o con oxígeno y vapor, en la primera etapa, la biomasa se oxida parcialmente, y se descompone térmicamente, produciendo así un residuo carbonáceo sólido, gases tales como CO₂, vapor y algo de monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H₂), y vapores de especies intermedias tales como hidrocarburos lineales saturados e insaturados de bajo peso molecular, hidrocarburos aromáticos funcionalizados y condensados, y fenólicos como se ha descrito anteriormente en este documento.

Cuando la biomasa se pone en contacto con oxígeno, o con oxígeno y vapor, en la primera etapa, en presencia de un lecho fluidizado, el residuo carbonáceo sólido producido en la primera etapa queda en el lecho fluidizado y proporciona la masa del calor exotérmico de oxidación, manteniendo así el lecho fluidizado a las temperaturas anteriormente descritas en este documento. El oxígeno usado en la primera etapa se consume esencialmente en tal etapa, mientras que una porción del residuo carbonáceo formado durante la primera etapa también se consume, y otra porción del residuo carbonáceo es arrastrada como residuo de carbonización. Las partículas de residuo de carbonización también pueden contener materiales inorgánicos inicialmente presentes en la materia prima de biomasa.

Puede producirse algo de craqueo de productos intermedios, es decir, hidrocarburos de bajo peso molecular, fenólicos y aromáticos, durante la primera etapa; sin embargo, se requieren temperaturas más altas para convertir el carbono residual en las partículas de residuo de carbonización arrastradas, y adicionalmente para craquear y reformar los vapores intermedios que contienen los hidrocarburos de alquilo y aromáticos de bajo peso molecular, y fenólicos. El calor requerido para tal conversión (que implica craqueo y reformado) se proporciona por un gas caliente, formado como resultado de oxidar el al menos un material combustible.

En una realización no limitante, el al menos un material combustible se oxida para alcanzar una temperatura de aproximadamente 1.100 °C a aproximadamente 1.850 °C. En otra realización no limitante, el material combustible se oxida para alcanzar una temperatura de aproximadamente 1.500 °C a aproximadamente 1.850 °C.

Materiales combustibles que pueden calentarse para proporcionar un gas oxidado caliente incluyen, pero no se limitan a, hidrocarburos, que incluyen hidrocarburos residuales derivados de un proceso de síntesis de biocombustibles (incluyendo metano, etileno, etano, propileno y propano, y otros), y oxigenados residuales tales como metanol, etanol, acetato de metilo, acetato de etilo, ácido acético y éster dimetilico, y otros hidrocarburos alifáticos, cíclicos o aromáticos, alquitrán, residuo de carbonización, y mezclas de los mismos.

En una realización no limitante, el al menos un material combustible es un hidrocarburo. En otra realización no limitante, el hidrocarburo tiene 1 a 3 átomos de carbono. En otra realización no limitante más, el hidrocarburo es metano.

En otra realización no limitante, el al menos un material combustible incluye al menos un hidrocarburo y residuo de carbonización.

En otra realización no limitante, el al menos un material combustible se pone en contacto con oxígeno y vapor en una cantidad eficaz para calentar el material combustible y para proporcionar un gas caliente derivado del (de los) material(es) combustible(s) oxidado(s) como se ha descrito anteriormente en este documento.

En una realización no limitante, el al menos un material combustible se pone en contacto con oxígeno, o con oxígeno y vapor, y se calienta a una temperatura de aproximadamente 1.500 °C a aproximadamente 1.600 °C para proporcionar un gas caliente derivado de los materiales combustibles oxidados. En una realización no limitante, el al menos un material combustible se pone en contacto con oxígeno, o con oxígeno y vapor, en ausencia de nitrógeno. Durante la oxidación del al menos un material combustible, se consume oxígeno de forma que no esté presente oxígeno elemental (O₂) en el gas de combustión caliente formado, o de forma que esté presente oxígeno elemental (O₂) en el gas caliente en una cantidad molar suficiente para proporcionar calor adicional si se necesita alcanzar una temperatura de reformado adecuada. En una realización no limitante, todo el oxígeno elemental se consume durante la oxidación del al menos un material combustible, por lo que el gas oxidado caliente resultante está libre de oxígeno.

En una realización no limitante, un exceso molar del al menos un material combustible se pone en contacto con una cantidad inferior a la estequiométrica de oxígeno en un oxidador, por lo que el oxidador actúa de un pequeño reformador o gasificador para producir gas de síntesis adicional con materiales que son demasiado refractarios como para convertirse en un lecho de gasificación fluidizado o una sección de reformado (o parte superior) de un gasificador. Así, pueden convertirse materiales que son más refractarios que el monóxido de carbono e hidrógeno (es decir, los principales componentes del gas de síntesis) tales como, por ejemplo, metano, alquitranes poliaromáticos pesados tales como pireno y antraceno, sin aumentar la temperatura del gas de síntesis entero y sin aumentar la temperatura del lecho de gasificación fluidizado o la sección de reformado del gasificador excesivamente. El gas de síntesis adicional así producido se añade a la zona de reformado, o parte superior, del gasificador junto con el gas caliente derivado del (de los) material(es) combustible(s) oxidado(s). El gas caliente proporciona calor suficiente a la zona de reformado, o parte superior, para obtener temperaturas de reformado

suficientes para efectuar las reacciones conducidas por vapor y CO_2 en la zona de reformado, o parte superior, del gasificador.

La biomasa oxidada (es decir, la mezcla de gases, alquitrán y partículas de residuo de carbonización) se pone en contacto con tal gas caliente derivado del (de los) material(es) combustible(s) oxidado(s), por lo que la biomasa oxidada se calienta a una temperatura de al menos 900°C . En una realización no limitante, la biomasa oxidada se calienta a una temperatura de aproximadamente 900°C a aproximadamente $1,200^\circ\text{C}$. En otra realización no limitante, la biomasa oxidada se calienta a una temperatura de aproximadamente 1.000°C a aproximadamente 1.100°C .

Aunque el alcance de la presente invención no debe limitarse a cualquier razonamiento teórico, el calor que se requiere para calentar la biomasa oxidada para proporcionar un gas de síntesis, se proporciona por el gas caliente derivado del (de los) material(es) combustible(s) oxidado(s), por lo que no se necesita quemar u oxidar una porción del gas de síntesis contenido en la biomasa oxidada con el fin de obtener el calor que se requiere para completar la conversión de la biomasa oxidada en gas de síntesis. Así, la presente invención proporciona rendimientos más altos de gas de síntesis.

En una realización no limitante, la biomasa oxidada se trata con el gas caliente derivado del (de los) material(es) combustible(s) oxidado(s) durante un periodo de tiempo de aproximadamente 0,5 segundos a aproximadamente 6,0 segundos. En otra realización no limitante, la biomasa oxidada se trata con el gas caliente durante un periodo de tiempo de aproximadamente 3,0 segundos a aproximadamente 6,0 segundos.

Cuando la biomasa oxidada se pone en contacto con el gas caliente derivado del (de los) material(es) combustible(s) oxidado(s), por lo que la biomasa oxidada se calienta a una temperatura de al menos 900°C , el carbono en el residuo de carbonización se convierte esencialmente completamente para generar hidrógeno y monóxido de carbono, y el reformado de los productos intermedios da más hidrógeno y monóxido de carbono. En general, los materiales inorgánicos que están presentes en el residuo de carbonización se exponen en general a temperaturas superiores a sus puntos de fusión. Tales materiales inorgánicos fundidos, o escoria, se desplazan hacia abajo a través de las paredes del recipiente de reacción y así pueden sacarse del recipiente de reacción.

En una realización no limitante, la biomasa se gasifica para producir gas de síntesis en un recipiente de gasificación o gasificador que tiene una sección de lecho fluidizado y una sección de parte superior. La biomasa se alimenta a la sección de lecho fluidizado del gasificador por medios conocidos para aquellos expertos en la materia tales como, por ejemplo, mediante válvulas de estrella herméticas a la presión (como se usan en el sector de la pulpa y el papel para alimentar digestores) y un sistema de tolva de freno equipado con válvulas de enclavamiento, y acoplados a un cinta transportadora que alimenta a un husillo de transferencia, que expulsa la biomasa en la sección de lecho fluidizado del gasificador. Alternativamente, la biomasa pueden ser alimentada en la sección de lecho fluidizado del gasificador por medio de un tornillo de compresión que trabaja contra un tapón para crear una junta de presión contra el gasificador.

En general, el gasificador es operado a una presión que no supera 3 atm. La sección de lecho fluidizado incluye partículas de un material fluidizable, tal como alúmina u olivino, que tienen un tamaño de partícula de aproximadamente 250 micrómetros a aproximadamente 850 micrómetros. Se introduce(n) oxígeno, u oxígeno y vapor, en la sección de lecho fluidizado del gasificador para proporcionar una velocidad de gas de aproximadamente 0,1 m/s a aproximadamente 2,5 m/s, proporcionándose así un lecho fluidizado burbujeante del material en partículas.

Como la biomasa se introduce en la sección de lecho fluidizado, la biomasa se oxida a medida que se descompone térmicamente para producir un residuo carbonáceo sólido que permanece en el lecho fluidizado, gases, tales como CO_2 y algo de CO y H_2 , vapor de la humedad en la biomasa, además de reacciones de deshidratación, y vapores de especies intermedias tales como hidrocarburos lineales saturados y no saturados de bajo peso molecular, hidrocarburos aromáticos funcionalizados y condensados, además de fenólicos, como se ha descrito anteriormente en este documento. Los gases y vapores abandonan el lecho fluidizado rápidamente. En general, la biomasa se trata con el oxígeno (oxígeno elemental u oxígeno que contiene materiales tales como vapor y CO_2), en la primera etapa, durante un periodo de tiempo que no supera 4 segundos.

El material carbonáceo sólido que queda en el lecho fluidizado reacciona con el oxígeno que se alimenta a la sección de lecho fluidizado, proporcionándose así el calor exotérmico de oxidación, además de proporcionándose CO y CO_2 debido a que la oxidación de la biomasa en la sección de lecho fluidizado es inferior a la estequiométrica. El oxígeno elemental se consume en la sección de lecho fluidizado, cuya carga de carbono es esencialmente constante con el tiempo. Se producen partículas de carbono por la descomposición térmica de la biomasa, entonces se consume por la oxidación, y entonces las partículas más pequeñas llegan a ser arrastradas como residuo de carbonización cuando el tamaño de las partículas se encoge a un tamaño que produce su arrastre (normalmente menos de 150 micrómetros). Las partículas de residuo de carbonización también contienen materiales inorgánicos tales como sales, por ejemplo, que inicialmente están presentes en la biomasa, o que se formaron en el lecho del gasificador.

El gas y los vapores producidos como resultado de la oxidación parcial de la biomasa se mueven desde la sección de lecho fluidizado del gasificador a través de una zona de desconexión (es decir, una zona que separa la sección de lecho fluidizado de la sección de parte superior) antes de entrar en la sección de parte superior.

5 Aunque tiene lugar algún craqueo de las especies intermedias anteriormente descritas en este documento en la sección de lecho fluidizado del gasificador, en general se requieren temperaturas más altas para efectuar la conversión del carbono residual en las partículas de residuo de carbonización arrastradas y adicionalmente para craquear y reformar los vapores de las especies intermedias. Tales especies intermedias incluyen hidrocarburos de bajo peso molecular, tales como metano, etileno, etano, hidrocarburos aromáticos monoméricos y diméricos, fenol, fenoles funcionalizados, es decir, catecoles, fenol metoxilado, fenol alquilado y fenol alcoxilado, e hidrocarburos de peso molecular más alto conocidos como "alquitrán", es decir, una mezcla compleja de compuestos poliaromáticos y polifenólicos funcionalizados.

15 El gas y los vapores producidos en la sección de lecho fluidizado pasan a través de la zona de desconexión en la sección de parte superior, en la que el gas y los vapores se ponen en contacto con el gas caliente derivado del (de los) material(es) combustible(s) oxidado(s) para alcanzar una temperatura de aproximadamente 900 °C a aproximadamente 1.200 °C. El gas caliente derivado del (de los) material(es) combustible(s) oxidado(s) se introduce en la sección de parte superior del gasificador en una cantidad tal que la velocidad de la fase gaseosa se mantenga de aproximadamente 0,5 m/s a aproximadamente 3,0 m/s. En general, los tiempos de residencia del gas en la sección de parte superior del gasificador son de aproximadamente 1 segundo a aproximadamente 6 segundos.

25 En la sección de parte superior, los fenólicos se convierten en aromáticos simples, y tiene lugar el craqueo del alquitrán y el reformado del alquitrán. El carbono en el residuo de carbonización se convierte predominantemente para generar H₂ y CO, y el reformado de los vapores de hidrocarburos intermedios también genera H₂ y CO. Materiales inorgánicos presentes en el residuo de carbonización pueden fundirse y formar un material conocido como escoria. La escoria se desplaza hacia abajo por las paredes de la sección de parte superior, y entonces hacia abajo por las paredes de la sección de lecho fluidizado, y entonces se extrae del gasificador.

30 El gas caliente se produce poniendo en contacto al menos un material combustible como se ha descrito antes en este documento con oxígeno con el fin de calentar el al menos un material combustible a una temperatura de al menos 1.100 °C, proporcionándose así el gas caliente derivado del (de los) material(es) combustible(s) oxidado(s). Tal calentamiento tiene lugar en una zona de oxidación. En una realización no limitante, la zona de oxidación está dispuesta en el centro de la sección de parte superior, y puede estar en forma de un tubo cilíndrico. En otra realización no limitante, la zona de oxidación está dispuesta en la periferia de la sección de parte superior. Alternativamente, la zona de oxidación puede estar dispuesta en la periferia de la zona de desconexión que conduce de la zona de desgasificación a la sección de parte superior. En otra realización no limitante más, la zona de oxidación se distribuye en las zonas de parte superior y de desconexión para afectar la mezcla térmica y química del gas caliente derivado del (de los) material(es) combustible(s) oxidado(s).

40 En una realización que no es parte de la invención, la zona de oxidación es un recipiente separado independiente del gasificador. En una realización tal, el al menos un material combustible se pone en contacto con oxígeno, o con oxígeno y vapor como se ha descrito antes en este documento, para calentar el al menos un material combustible a una temperatura de al menos 1.100 °C, y para proporcionar un gas caliente derivado del (de los) material(es) combustible(s) oxidado(s). Los últimos productos se transfieren entonces a través de un conducto apropiado, tal como aquellos conocidos para aquellos expertos en la materia, y en la sección de parte superior.

50 Como se ha indicado anteriormente en este documento, el gas caliente derivado del (de los) material(es) combustible(s) oxidado(s) calienta la biomasa oxidada en la sección de parte superior, modificando así su composición, y produciendo un gas de síntesis en bruto. El gas de síntesis en bruto puede entonces tratarse o acondicionarse para proporcionar un gas de síntesis producto limpio que puede usarse como combustible o puede usarse para sintetizar otros compuestos tales como alcoholes (por ejemplo, metanol, etanol y butanol), o hidrocarburos o biocombustibles.

55 Por ejemplo, el gas de síntesis en bruto puede pasarse a uno o más ciclones para eliminar partículas tales como partículas de residuo de carbonización que tienen un tamaño superior a 8 micrómetros. Las partículas de residuo de carbonización pueden entonces calentarse u oxidarse para proporcionar un gas caliente, que calienta la biomasa oxidada en la sección de parte superior. El gas de síntesis que abandona el (los) ciclón (ciclones) se somete entonces a procesamiento y purificación adicionales, tales como enfriamiento, lavado químico y arrastre con el fin de eliminar impurezas tales como, por ejemplo, agua, cloruro de hidrógeno, amoníaco, dióxido de carbono, sólidos finos y alquitranes. El gas de síntesis tratado puede entonces convertirse en otros compuestos o combustibles, tales como biocombustibles, por medios conocidos para aquellos expertos en la materia.

65 A medida que el gas de síntesis se procesa y convierte en otros materiales, se separan gases residuales, tales como metano, por ejemplo, del gas de síntesis. Tales gases residuales pueden oxidarse, junto con el residuo de carbonización anteriormente descrito en este documento, para proporcionar el gas caliente derivado del (de los) material(es) combustible(s) oxidado(s), que calienta la biomasa oxidada en la sección de parte superior.

La invención se describirá ahora con respecto a los dibujos, en los que:

La Figura 1 es un esquema de una realización de la presente invención en la que la sección de parte superior, o zona de reformado, de un gasificador incluye una zona de oxidación interna dispuesta en el centro de la sección de parte superior o zona de reformado;

la Figura 2 es un esquema de otra realización de la presente invención en la que una zona de oxidación interna está dispuesta en la periferia de la zona de parte superior, o de reformado, del gasificador;

la Figura 3 es un esquema de una realización que no es parte de la presente invención en la que se proporciona una zona de oxidación externa que está separada del gasificador; y

la Figura 4 es un gráfico del porcentaje de conversión de alquitrán contenido en la biomasa oxidada frente a la temperatura.

Con referencia ahora a los dibujos, como se muestra en la Figura 1, se alimenta una biomasa a la zona de desgasificación 10a del gasificador 10 mediante la línea 11. Antes de ser alimentada a la zona de desgasificación 10a del gasificador 10, la biomasa pueden pretratarse con aditivos tales como óxido de calcio, mezclas de óxido de calcio y óxido de magnesio, materiales de ceniza, caliza calcinada, hierro, hormigón residual, arena de sílice, olivino, y/o mezclas de óxidos de calcio y de magnesio, para neutralizar impurezas tales como cloro, flúor y azufre, que pueden estar presentes en la biomasa. Los aditivos también pueden incluir materiales de ceniza, que contienen metales que, una vez reducidos en el gasificador 10, pueden tener un efecto catalítico beneficioso durante el reformado en la zona de reformado o de parte superior 10b. En general, tales aditivos pueden estar presentes en una cantidad de aproximadamente el 1 % en peso a aproximadamente el 5 % en peso, basado en el peso de la biomasa, base seca.

La línea 11, a través de la que se alimenta la biomasa y los aditivos (si están presentes) a la zona de desgasificación 10a, puede incluir un sistema de alimentación (no mostrado) que incluye tanto una serie de válvulas de estrella como un sistema de tolva de freno con válvulas de enclavamiento, acoplado a una cinta transportadora con báscula, que alimenta a un husillo de transferencia para inyectar la biomasa y los aditivos.

Se alimentan oxígeno y vapor a la zona de gasificación 10a mediante la línea 12. El oxígeno y el vapor pueden ser alimentados en la zona de desgasificación 10a mediante un sistema de boquillas distribuidas (no mostrado), hecho de, por ejemplo, boquillas de acero inoxidable o Inconel®.

La zona de desgasificación 10a del gasificador 10 puede incluir un lecho fluidizado de un material en partículas apropiado, tal como alúmina, olivino, dolomita, antracita, coque de petróleo desulfurizado, u otros materiales refractarios. En general, el material de lecho fluidizado tiene un tamaño de partícula de aproximadamente 250 micrómetros a aproximadamente 850 micrómetros.

La zona de desgasificación 10a del gasificador 10 es operada en condiciones que efectúan la oxidación y descomposición térmica de la biomasa. En general, la temperatura de la zona de desgasificación 10a del gasificador 10 es de aproximadamente 600 °C a aproximadamente 750 °C, y el vapor y oxígeno se alimentan a la zona de desgasificación 10a para proporcionar una velocidad de fluidización de aproximadamente 0,1 m/s a aproximadamente 2,5 m/s. La velocidad de fluidización se mantiene por el gas de fluidización que se alimenta a la zona de desgasificación 10a, además de por gases formados por la conversión de material de biomasa en la zona de gasificación 10a. En general, la zona de desgasificación 10a es operada a una presión que no supera 3 atm.

El oxígeno está presente en el gas fluidizante en una cantidad eficaz para oxidar la biomasa y para calentar la biomasa a una temperatura de aproximadamente 600 °C a aproximadamente 750 °C. En general, el oxígeno y el vapor se alimentan a la zona de desgasificación 10a de forma que la relación de peso de oxígeno con respecto a biomasa sea de aproximadamente 0,15 a aproximadamente 0,35 de la relación de peso estequiométrica requerida para la combustión completa de la biomasa.

Cuando la biomasa entra en la zona de desgasificación 10a, la biomasa se oxida parcialmente a medida que se descompone térmicamente, produciendo así un residuo carbonáceo sólido que queda en la zona de desgasificación 10a, gases verdaderos (CO₂, vapor, monóxido de carbono e hidrógeno) y los vapores de especies intermedias, tales como hidrocarburos lineales saturados y no saturados de bajo peso molecular, y compuestos de alquilo y aromáticos, fenólicos, y aromáticos condensados y funcionalizados, que pasan de la zona de desgasificación 10a con los gases verdaderos y el gas fluidizante, a la sección de parte superior o zona de reformado 10b.

La biomasa se pone en contacto con el medio de gas fluidizante (es decir, oxígeno y vapor con o sin CO₂) en la zona de desgasificación 10a durante un periodo de tiempo que es eficaz para efectuar la oxidación parcial y descomposición térmica de la biomasa. En general, tal periodo de tiempo no supera 4 segundos.

El residuo carbonáceo que queda en la zona de desgasificación 10a reacciona con el oxígeno que entra para proporcionar el calor exotérmico de oxidación. Se forman monóxido de carbono y dióxido de carbono debido a que la oxidación parcial de la biomasa es inferior a la estequiométrica, y la temperatura de la zona de desgasificación 10a se mantiene a de aproximadamente 600 °C a aproximadamente 750 °C. El oxígeno que se introdujo en la zona de desgasificación 10a es esencialmente consumido en la zona de gasificación 10a. También se produce carbono como resultado de la descomposición térmica de la biomasa. A medida que la biomasa continúa descomponiéndose y oxidándose parcialmente en la zona de gasificación 10a, las partículas de carbono que se formaron como resultado de la descomposición térmica también empiezan a ser consumidas como resultado de la oxidación de tales partículas, por lo que las partículas de carbono se encogen y llegan a ser arrastradas en el gas fluidizante como partículas de residuo de carbonización. En general, tales partículas de residuo de carbonización arrastradas son inferiores a 150 micrómetros de tamaño. Las partículas de residuo de carbonización contienen materiales inorgánicos, tales como sales (por ejemplo, cloruros alcalinos), inicialmente presentes en la biomasa, excepto por trozos más grandes de material inorgánico que se acumulan en la zona de gasificación 10a. El material sólido inorgánico en exceso, que no llega a ser arrastrado en el gas fluidizante, y que puede recubrirse con carbono, se extrae de la zona de gasificación 10a mediante la línea 13. Un sensor de presión diferencial (no mostrado) activa un sistema de válvulas (no mostrado) que permite el ajuste del nivel de material del lecho fluidizado en la zona de desgasificación 10a para mantener una fluidización uniforme del material del lecho fluidizado.

Los gases, tales como CO₂, CO e hidrógeno, y vapor, y los vapores de especies intermedias descritos anteriormente en este documento, que se producen por la oxidación y descomposición térmica de la biomasa, además del resto del gas fluidizante, constituyen un gas de síntesis primario que pasa de la zona de desgasificación 10a en la sección de parte superior o zona de reformado 10b del gasificador 10. Partículas de residuo de carbonización también llegan a ser arrastradas en los gases y los vapores a medida que pasan de la zona de desgasificación 10a a la zona de reformado 10b.

Tiene lugar algo de craqueo de especies intermedias en la zona de desgasificación 10a; sin embargo, se requieren temperaturas más altas para craquear y reformar eficazmente los vapores de especies intermedias, y para convertir el carbono residual en las partículas de residuo de carbonización arrastradas.

La biomasa oxidada, que incluye un material de gas de síntesis primario como se ha descrito antes en este documento, se pone en contacto con gas caliente derivado de los productos residuales oxidados en la sección de parte superior o zona de reformado 10b. El gas caliente se forma como resultado de poner en contacto una corriente de gas rica en metano de la línea 23 y el residuo de carbonización de la línea 18, que se combinan en la línea 25, con vapor y oxígeno de la línea 24, y alquitrán de la línea 26. El gas rico en metano, residuo de carbonización, alquitrán, vapor y oxígeno se alimentan a una zona de oxidación interna 14 de la línea 25. La zona de oxidación interna 14 está contenida en el centro de la zona de reformado 10b. En la zona de oxidación interna 14, el gas rico en metano, residuo de carbonización y alquitrán se calientan a una temperatura de al menos 1.100 °C para proporcionar un gas caliente de los productos residuales oxidados. El gas caliente, que puede estar a una temperatura de aproximadamente 1.100 °C a aproximadamente 1.850 °C, sale de la zona de oxidación interna 14 y entra en la zona de reformado 10b. En general, durante la oxidación del gas rico en metano, residuo de carbonización y alquitrán en la zona de oxidación 14, se consume oxígeno de forma que el gas caliente de los productos residuales oxidados esté libre de oxígeno elemental, o, cuando esté presente, el oxígeno elemental esté presente en una cantidad que es suficiente para proporcionar parte del calor adicional necesario para alcanzar una temperatura de reformado adecuada.

La biomasa oxidada se pone en contacto con el gas caliente de los productos residuales oxidados en la zona de reformado 10b a una temperatura y durante un periodo de tiempo que son eficaces para convertir la biomasa oxidada en un gas de síntesis. En general, la biomasa oxidada se pone en contacto con el gas caliente de los productos residuales oxidados en la zona de reformado 10b para calentar la biomasa a una temperatura de aproximadamente 900 °C a aproximadamente 1.200 °C, y durante un periodo de tiempo de aproximadamente 0,5 segundos a aproximadamente 6,0 segundos. El gas caliente de los productos residuales oxidados se introduce en la zona de reformado 10b a una velocidad de aproximadamente 5 m/s a aproximadamente 20 m/s.

En la zona de reformado 10b, el gas caliente de los productos residuales oxidados proporciona el calor requerido para el reformado de productos intermedios en la biomasa oxidada, además de la conversión de carbono en el residuo de carbonización contenido en la biomasa oxidada, además de la conversión del alquitrán, para proporcionar hidrógeno y monóxido de carbono. En la zona de oxidación 14, los materiales inorgánicos en el residuo de carbonización (tales como, por ejemplo, cloruros de álcali) se calientan a temperaturas que son superiores a sus puntos de fusión. Tales materiales inorgánicos fundidos, o escoria, se desplazan hacia abajo por la zona de reformado 10b, en la zona de desgasificación 10a, y se extraen de la zona de desgasificación 10a mediante la línea 13.

Un gas de síntesis en bruto, formado haciendo reaccionar la biomasa oxidada con el gas caliente de los productos residuales oxidados en la zona de reformado 10b como se ha descrito antes en este documento, abandona la zona de reformado 10b mediante la línea 15 y se pasa al ciclón 16. En el ciclón 16, las partículas de residuo de carbonización contenidas en el gas de síntesis en bruto se separan del gas de síntesis en bruto y se extraen del

ciclón 16 mediante la línea 18. Las partículas de residuo de carbonización pueden ser transportadas mediante la línea 18 neumáticamente desde el fondo del ciclón 16 con vapor, dióxido de carbono y/o gases residuales. Las partículas de residuo de carbonización se combinan entonces con el gas rico en metano y alquitrán en la línea 25, y entonces con vapor y oxígeno de la línea 24, y pasan a la zona de oxidación 14 como se ha descrito antes en este documento, por lo que el residuo de carbonización y el metano se queman para proporcionar un gas caliente de los productos residuales oxidados.

El gas de síntesis se extrae del ciclón 16 mediante la línea 17, y entonces se somete a tratamiento adicional, indicado esquemáticamente como la zona de tratamiento de gas 19. En la zona de tratamiento de gas 19, el gas de síntesis se somete a procesamiento y purificación adicionales, tal como enfriamiento, lavado químico y arrastre con el fin de eliminar impurezas tales como, por ejemplo, agua, cloruro de hidrógeno, amoníaco, dióxido de carbono, alquitrán y sólidos finos.

El gas de síntesis tratado se extrae entonces de la zona de tratamiento de gas 19 mediante la línea 20, y se pasa a la zona de síntesis de combustible líquido 21. Se extrae alquitrán de la zona de tratamiento de gas 19 mediante la línea 26, y se pasa a la línea 25, donde se combina con un gas rico en metano de la línea 23, residuo de carbonización de la línea 18 y vapor y oxígeno de la línea 24. En la zona de síntesis de combustible líquido 21, el gas de síntesis se convierte en combustibles líquidos, tales como biocombustibles, por medios conocidos para aquellos expertos en la materia. Tales combustibles líquidos se extraen de la zona de síntesis de combustible líquido 21 mediante la línea 22.

A medida que el gas de síntesis se procesa y convierte en combustible líquido en la zona de síntesis de combustible líquido 21, se eliminan gases residuales, y en particular metano, de la zona de síntesis de combustible líquido 21 mediante la línea 23. El gas rico en metano en la línea 23 se pasa entonces a la línea 25, donde se combina con residuo de carbonización de la línea 18, vapor y oxígeno de la línea 24, y alquitrán de la línea 26. El gas rico en metano, residuo de carbonización, alquitrán, y vapor y oxígeno, se pasan entonces a la zona de oxidación 14, en la que el gas rico en metano, residuo de carbonización y alquitrán se hacen reaccionar con el vapor y oxígeno para proporcionar un gas caliente derivado de los productos residuales oxidados.

En otra realización, mostrada en la Figura 2, una biomasa se alimenta a la zona de desgasificación 110a del gasificador 110 mediante la línea 111. La biomasa puede pretratarse como se ha descrito antes en este documento. Se alimentan oxígeno y vapor (con o sin CO₂) a la zona de desgasificación 110a mediante la línea 112. El oxígeno y el vapor pueden ser alimentados en la zona de desgasificación 110a mediante un sistema de boquillas distribuidas (no mostrado) como se ha descrito antes en este documento. La zona de desgasificación 110a del gasificador 110 puede incluir un lecho fluidizado de partículas como se ha descrito antes en este documento.

La zona de desgasificación 110a del gasificador 110 es operada en las condiciones que se han descrito antes en este documento para efectuar la oxidación y descomposición térmica de la biomasa. El vapor y el oxígeno se alimentan a la zona de desgasificación 110a para proporcionar una velocidad de fluidización como se ha descrito antes en este documento.

El oxígeno está presente en el gas fluidizante en una cantidad como se ha descrito antes en este documento de forma que la biomasa se oxida y se calienta a una temperatura de aproximadamente 600 °C a aproximadamente 750 °C.

En la zona de gasificación 110a, la biomasa se oxida, en la que se producen gases verdaderos tales como CO₂, vapor (incluyendo el introducido en la zona de gasificación 110a), monóxido de carbono e hidrógeno, los vapores de especies intermedias, tales como hidrocarburos lineales saturados e insaturados de bajo peso molecular, compuestos aromáticos, fenólicos y aromáticos condensados y funcionalizados, que pasan de la zona de desgasificación 110a con los gases verdaderos y el gas fluidizante, a la sección de parte superior o zona de reformado 110b.

Como resultado de la oxidación parcial de la biomasa en la zona de gasificación 110a, también se producen partículas de residuo de carbonización que llegan a ser arrastradas en el gas fluidizante, y partículas de material sólido inorgánico en exceso, que no llegan a ser arrastradas en el gas fluidizante, se extraen de la zona de gasificación 110a mediante la línea 113.

Los gases anteriormente descritos en este documento que constituyen un gas de síntesis primario, y las partículas de residuo de carbonización que han sido arrastradas en el gas, se pasan a la zona de reformado 110b.

La biomasa oxidada, que incluye un gas de síntesis primario, se pone en contacto con un gas caliente derivado de los productos residuales oxidados en la zona de reformado 110b. El gas caliente se forma como resultado de poner en contacto el gas rico en metano de la línea 123, residuo de carbonización de la línea 118 y alquitrán de la línea 126, que se combinan en la línea 125, con vapor y oxígeno de la línea 124. El gas rico en metano, residuo de carbonización, alquitrán, vapor y oxígeno se alimentan a la zona de oxidación interna 114 de la línea 125. La zona de oxidación interna 114 está dispuesta en la periferia de la zona de reformado 110b. En la zona de oxidación 114,

el gas rico en metano, residuo de carbonización y alquitrán se calientan a una temperatura de al menos 1.100 °C, como se ha descrito antes en este documento, para proporcionar un gas de escape caliente derivado de los productos residuales oxidados. El gas caliente, que puede estar a una temperatura de aproximadamente 1.100 °C a aproximadamente 1.850 °C, sale de la zona de oxidación 114 y entra en la zona de reformado 110b. En general, el gas caliente derivado de los productos residuales oxidados, como se ha descrito antes en este documento, está libre de oxígeno elemental, o, cuando está presente, el oxígeno elemental está presente en una cantidad que es suficiente para proporcionar parte del calor adicional necesario para alcanzar una temperatura de reformado adecuada, junto con la temperatura del gas caliente derivado de los productos residuales oxidados.

La biomasa oxidada se pone en contacto con el gas caliente de los productos residuales oxidados en la zona de reformado 110b en las condiciones anteriormente descritas en este documento con el fin de convertir la biomasa oxidada en un gas de síntesis. Cualquier partícula inorgánica, y cualquier escoria que se forme en la zona de oxidación, se desplaza hacia abajo y se añaden gota a gota directamente en el lecho fluidizado en la zona de desgasificación 110a, donde solidifican las partículas inorgánicas y la escoria. Tales materiales se extraen entonces de la zona de gasificación 110a mediante la línea 113.

El gas de síntesis en bruto abandona entonces la zona de reformado 110b mediante la línea 115 y se pasa al ciclón 116. En el ciclón 116, las partículas de residuo de carbonización se separan del gas de síntesis en bruto y se extraen del ciclón 116 mediante la línea 118. Las partículas de residuo de carbonización se combinan con el gas rico en metano y alquitrán en la línea 125, y entonces con vapor y oxígeno de la línea 124, y se pasan a la zona de oxidación 114 como se ha descrito antes en este documento, por lo que el residuo de carbonización, alquitrán y el gas rico en metano se oxidan para proporcionar un gas caliente de los productos residuales oxidados.

El gas de síntesis abandona el ciclón 116 mediante la línea 117, y se somete a tratamiento adicional en la zona de tratamiento de gas 119. En la zona de tratamiento de gas 119, el gas de síntesis se somete a procesamiento y purificación adicionales como se ha descrito antes en este documento. El gas de síntesis tratado se extrae entonces de la zona de tratamiento de gas 119 mediante la línea 120, y se pasa a la zona de síntesis de combustible líquido 121, por lo que el gas de síntesis se convierte en combustibles líquidos, tales como biocombustibles. Se extrae alquitrán de la zona de tratamiento de gas 119 mediante la línea 126, y se pasa a la línea 125, donde se combina con gas rico en metano de la línea 123, residuo de carbonización de la línea 118, y vapor y oxígeno de la línea 124. Los combustibles líquidos se extraen de la zona de síntesis de combustible líquido 121 mediante la línea 122.

Los gases residuales, y en particular el metano, se extraen de la zona de síntesis de combustible líquido 121 mediante la línea 123. El gas rico en metano en la línea 123 se pasa entonces a la línea 125, donde se combina con residuo de carbonización de la línea 118, vapor y oxígeno de la línea 124, y alquitrán de la línea 126. El gas rico en metano, residuo de carbonización, alquitrán, y vapor y oxígeno, se pasan entonces a la zona de oxidación 114, en la que el gas rico en metano, residuo de carbonización y alquitrán se oxidan, y reaccionan con el vapor y oxígeno para proporcionar un gas caliente de los productos residuales oxidados.

En una realización que no es parte de la presente invención, como se muestra en la Figura 3, una biomasa se alimenta a la zona de gasificación 210a del gasificador 210 mediante la línea 211, y se alimentan vapor y oxígeno (con o sin CO₂) a la zona de gasificación 210a mediante la línea 212. En la zona de gasificación 210a, la biomasa se hace reaccionar con el vapor y oxígeno en las condiciones anteriormente descritas en este documento para proporcionar una biomasa oxidada que incluyen un gas de síntesis primario como se ha descrito antes en este documento. Se extraen materiales sólidos inorgánicos en exceso de la zona de gasificación 210a mediante la línea 213.

La biomasa oxidada, que incluye un gas de síntesis primario, se pasa de la zona de gasificación 210a a la sección de parte superior o zona de reformado 210b. La biomasa oxidada se calienta en la zona de reformado 210b a temperaturas como se ha descrito anteriormente en este documento por un gas caliente de los productos residuales oxidados que entra en la zona de reformado 210b mediante la línea 227. El gas caliente de los productos residuales oxidados se proporciona oxidando residuo de carbonización, gas rico en metano, alquitrán, y vapor y oxígeno en condiciones como se han descrito antes en este documento en una zona de oxidación externa 214.

En la zona de reformado 210b, la biomasa oxidada se calienta por el gas caliente derivado de los productos residuales oxidados en las condiciones anteriormente descritas en este documento para proporcionar un gas de síntesis en bruto. Los materiales inorgánicos sin reaccionar, y la escoria, se desplazan hacia abajo en la zona de reformado 210b hasta la zona de gasificación 210a, y se extraen de la zona de gasificación 210a mediante la línea 213. La zona de oxidación 214 también puede servir de combustor con capacidad de eliminación de escoria.

El gas de síntesis en bruto se extrae de la zona de reformado 210b mediante la línea 215 y se pasa al ciclón 216. En el ciclón 216, las partículas de residuo de carbonización se separan del gas de síntesis en bruto y se extraen del ciclón 216 mediante la línea 218. Las partículas de residuo de carbonización se combinan con un gas rico en metano de la línea 223, vapor y oxígeno de la línea 224, y alquitrán de la línea 226, en la línea 225. El residuo de carbonización, gas rico en metano, alquitrán y vapor y oxígeno en la línea 225 se pasan a la zona de oxidación 214,

por lo que el residuo de carbonización, el gas rico en metano y el alquitrán se oxidan para proporcionar un gas caliente derivado de los productos residuales oxidados.

El gas de síntesis, tras la eliminación de las partículas de residuo de carbonización del mismo, se extrae del ciclón 216 mediante la línea 217, y se pasa a la zona de tratamiento de gas 219, por lo que el gas de síntesis se somete a procesamiento y purificación adicionales como se ha descrito antes en este documento. El gas de síntesis tratado se extrae de la zona de tratamiento de gas 219 mediante la línea 220 y se pasa a la zona de síntesis de combustible líquido 221, por lo que el gas de síntesis se procesa para proporcionar combustibles líquidos tales como, por ejemplo, biocombustibles. Se extrae alquitrán de la zona de tratamiento de gas 219 mediante la línea 226, y se pasa a la línea 225, en la que se combina con gas rico en metano de la línea 223, residuo de carbonización de la línea 218, y vapor y oxígeno de la línea 224. Se extrae combustible líquido de la zona de síntesis de combustible líquido 221 mediante la línea 222, y se extrae gas residual, y en particular metano, de la zona de síntesis de combustible líquido 221 mediante la línea 223.

El gas rico en metano en la línea 223 se combina con el residuo de carbonización de la línea 218, alquitrán de la línea 226, y con vapor y oxígeno de la línea 224, y se pasa a la línea 225. El gas rico en metano, residuo de carbonización, alquitrán, y vapor y oxígeno en la línea 225 se pasan a la zona de oxidación externa 214, en la que el gas rico en metano, residuo de carbonización y alquitrán se oxidan para proporcionar un gas caliente derivado de los productos residuales oxidados. El gas caliente se extrae de la zona de oxidación 214 mediante la línea 227, y entonces se pasa a la zona de reformado 210b, por lo que el gas caliente derivado de los productos residuales oxidados calienta la biomasa oxidada para proporcionar un gas de síntesis en bruto como se ha descrito antes en este documento.

La invención se describirá ahora con respecto a los siguientes ejemplos. Debe entenderse, sin embargo, que el alcance de la presente invención no pretende limitado así.

Ejemplo 1

Se alimentaron pellas de madera a la sección de gasificación de un gasificador de lecho fluidizado que contenía partículas de alúmina que tenían un tamaño de partícula promedio de 450 micrómetros como material de fluidización. Las pellas de madera se alimentaron al gasificador a una tasa de 160 kg/h. Las pellas de madera se pusieron en contacto en el gasificador con una mezcla de oxígeno y vapor, en el que estaba presente oxígeno en la mezcla en una cantidad de aproximadamente el 23 % en vol. La sección de gasificación se mantuvo a una temperatura de aproximadamente 700 °C. El caudal de gas al lecho fluidizado de la sección de gasificación fue aproximadamente 60 kg/h para vapor y 32 kg/h para oxígeno.

La biomasa oxidada se pasó entonces a la sección de parte superior del gasificador. En la sección de parte superior, la biomasa oxidada se puso en contacto con un gas caliente derivado de productos residuales oxidados, que calentó la biomasa oxidada a una temperatura promedio de 950 °C. Los productos residuales oxidados calientes se proporcionaron por oxidación de hidrocarburos de bajo peso molecular en presencia de oxígeno y vapor en una cámara de oxidador, seguido de inyección de los productos residuales oxidados calientes en la sección de parte superior del gasificador. Los caudales fueron aproximadamente 40 kg/h de vapor, 40 kg/h de oxígeno y 6,5 kg/h de hidrocarburos de bajo peso molecular. El porcentaje de oxígeno de la mezcla de oxígeno/vapor fue de aproximadamente el 35 % en vol. El tiempo de residencia de la biomasa oxidada en la sección de parte superior del gasificador fue aproximadamente 2 segundos. Una comparación de los componentes del gas de síntesis en bruto sin reformado frente al tratamiento con los productos residuales oxidados calientes se da en la Tabla 1 a continuación.

Tabla 1		
Componente	Sin reformado (mol/kg de materia prima)	Reformado con calor (mol/kg de materia prima)
CO	8,8	14,8
H ₂	8,8	14,8
Carbono como gases de C ₂ y C ₃	3,2	0,3
	(kg/kg de materia prima)	(kg/kg de materia prima)
Residuos de carbonización	0,07	0,047
	(mol/mol de carbono en materia prima)	(mol/mol de carbono en materia prima)
Rendimiento de CO	25 %	40 %

Los resultados anteriores muestran un aumento significativo en la cantidad de gas de síntesis y en el rendimiento de CO cuando la biomasa oxidada se somete a reformado elevando la temperatura con el gas caliente de los productos residuales oxidados.

Ejemplo 2

Se calentó una corriente retrógrada de la biomasa oxidada del lecho fluidizado del gasificador a diversas temperaturas entre 750 °C y 950 °C en un tubo de reformador cerámico de 1 pulgada (2,54 cm) de diámetro en un horno eléctrico para medir la conversión de alquitrán. Se muestreó el residuo de carbonización a la entrada y a la salida del tubo de reformador en burbujeadores de gas llenos de isopropanol a -5 °C. El isopropanol y el agua se evaporaron entonces en un evaporador rotatorio y la masa del residuo (es decir, el alquitrán) se midió usando una balanza de calidad analítica. El volumen de gas que circuló en ambos burbujeadores de gas de recogida, antes y después del tubo de reformador, se midió con dos totalizadores de gas seco, permitiendo así que uno calculara las concentraciones de alquitrán antes y después del paso a través del tubo de reformado, y así calcular la conversión del alquitrán gravimétrico. El tiempo de residencia fue aproximadamente 2 segundos. La concentración de vapor en la entrada en el tubo de reformador fue aproximadamente el 25 % en vol. La conversión de alquitrán a diferentes temperaturas, como se muestra en la Figura 4, muestra que una temperatura de aproximadamente 900 °C es suficiente para el reformado de alquitrán térmico, y que más de la mitad del alquitrán puede convertirse a tales temperaturas.

Debe entenderse, sin embargo, que el alcance de la presente invención no debe limitarse a las realizaciones específicas descritas anteriormente. La invención puede ponerse en práctica de forma distinta a la particularmente descrita y todavía estar dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso de producción de gas de síntesis a partir de biomasa en un recipiente de gasificación o gasificador que tiene una sección de lecho fluidizado, una sección de desconexión y una sección de parte superior, comprendiendo el proceso:
 - (a) poner en contacto en la sección de lecho fluidizado dicha biomasa con oxígeno, o con oxígeno y vapor, en una cantidad eficaz para oxidar dicha biomasa y calentar dicha biomasa a una temperatura no superior a 750 °C, y mantener la sección de lecho fluidizado a una temperatura entre 600 y 750 °C, y esencialmente consumir todo el oxígeno suministrado para producir una biomasa oxidada que incluye un gas de síntesis primario;
 - (b) poner en contacto al menos un material combustible con oxígeno, o con oxígeno y vapor, en una zona de oxidación, para oxidar dicho al menos un material combustible y para calentar dicho al menos un material combustible a una temperatura de al menos 1.100 °C, proporcionándose así un gas oxidado caliente; y
 - (c) poner en contacto dicha biomasa oxidada producida en la etapa (a) con dicho gas oxidado caliente producido en la etapa (b), para calentar dicha biomasa oxidada a una temperatura de al menos 900 °C, reformando así el gas de síntesis primario y produciendo un gas de síntesis en bruto;
 - (d) separar el residuo de carbonización de dicho gas de síntesis en bruto producido en la etapa (c) usando uno o más ciclones para proporcionar un gas de síntesis tratado;
 - (e) recuperar dicho gas de síntesis tratado proporcionado en la etapa (d).
2. El proceso de la reivindicación 1, en el que dicha biomasa es un material rico en biomasa homogénea obtenido de una única fuente, tal como árboles de coníferas o árboles de hoja caduca de una única especie, o de materiales agrícolas de una planta de una única especie.
3. El proceso de la reivindicación 1, en el que dicha biomasa es un material rico en biomasa no homogénea obtenido de plantas de más de una especie.
4. El proceso de la reivindicación 1, en el que dicha biomasa es material rico en biomasa heterogénea que incluye biomasa y materiales no de biomasa.
5. El proceso de la reivindicación 1, en el que dicha biomasa es una biomasa urbana seleccionada del grupo que consiste en residuo sólido municipal, combustible derivado de desechos, combustible recuperado sólido, lodos de aguas residuales, residuo industrial-comercial-institucional, residuo de construcción y demolición, postes de transmisión eléctrica y traviesas de ferrocarril usados, madera de operaciones de construcción y demolición, pinturas y resinas.
6. El proceso de la reivindicación 1 en el que, en la etapa (a), dicha biomasa se calienta a una temperatura de 600 °C a 750 °C.
7. El proceso de la reivindicación 6 en el que, en la etapa (a), dicha biomasa se calienta a una temperatura de 700 °C a 750 °C.
8. El proceso de la reivindicación 1 en el que, en la etapa (b), dicho al menos un material combustible se calienta a una temperatura de 1.100 °C a 1.850 °C.
9. El proceso de la reivindicación 8 en el que, en la etapa (b), dicho al menos un material combustible se calienta a una temperatura de 1.500 °C a 1.850 °C.
10. El proceso de la reivindicación 1 en el que, en la etapa (c), dicha biomasa oxidada se calienta a una temperatura de 900 °C a 1.200 °C.
11. El proceso de la reivindicación 10 en el que, en la etapa (c), dicha biomasa oxidada se calienta a una temperatura de 1.000 °C a 1.100 °C.
12. El proceso de la reivindicación 1, en el que dicho al menos un material combustible de la etapa (b) está seleccionado del grupo que consiste en metano, etileno, propileno, propano, metanol, etanol, acetato de metilo, acetato de etilo, ácido acético, éster dimetilico, alquitrán, residuo de carbonización y mezclas de los mismos.
13. El proceso de la reivindicación 12, en el que dicho al menos un material combustible es metano.
14. El proceso de la reivindicación 12, en el que dicho al menos un material combustible es residuo de carbonización.
15. El proceso de la reivindicación 12, en el que dicho al menos un material combustible incluye metano y residuo de carbonización.

16. El proceso de la reivindicación 12, en el que dicho al menos un material combustible está seleccionado del grupo que consiste en hidrocarburos, alquitrán y residuo de carbonización.
- 5 17. El proceso de la reivindicación 12, en el que dicho al menos un material combustible es al menos un hidrocarburo y residuo de carbonización.
18. El proceso de la reivindicación 1 en el que, en la etapa (b), dicho al menos un material combustible se pone en contacto con oxígeno, o con oxígeno y vapor, y se calienta a una temperatura de 1.500 °C a 1.600 °C.
- 10 19. El proceso de la reivindicación 1, en el que la zona de oxidación está en el centro de la sección de parte superior del gasificador y puede estar en forma de un tubo cilíndrico.

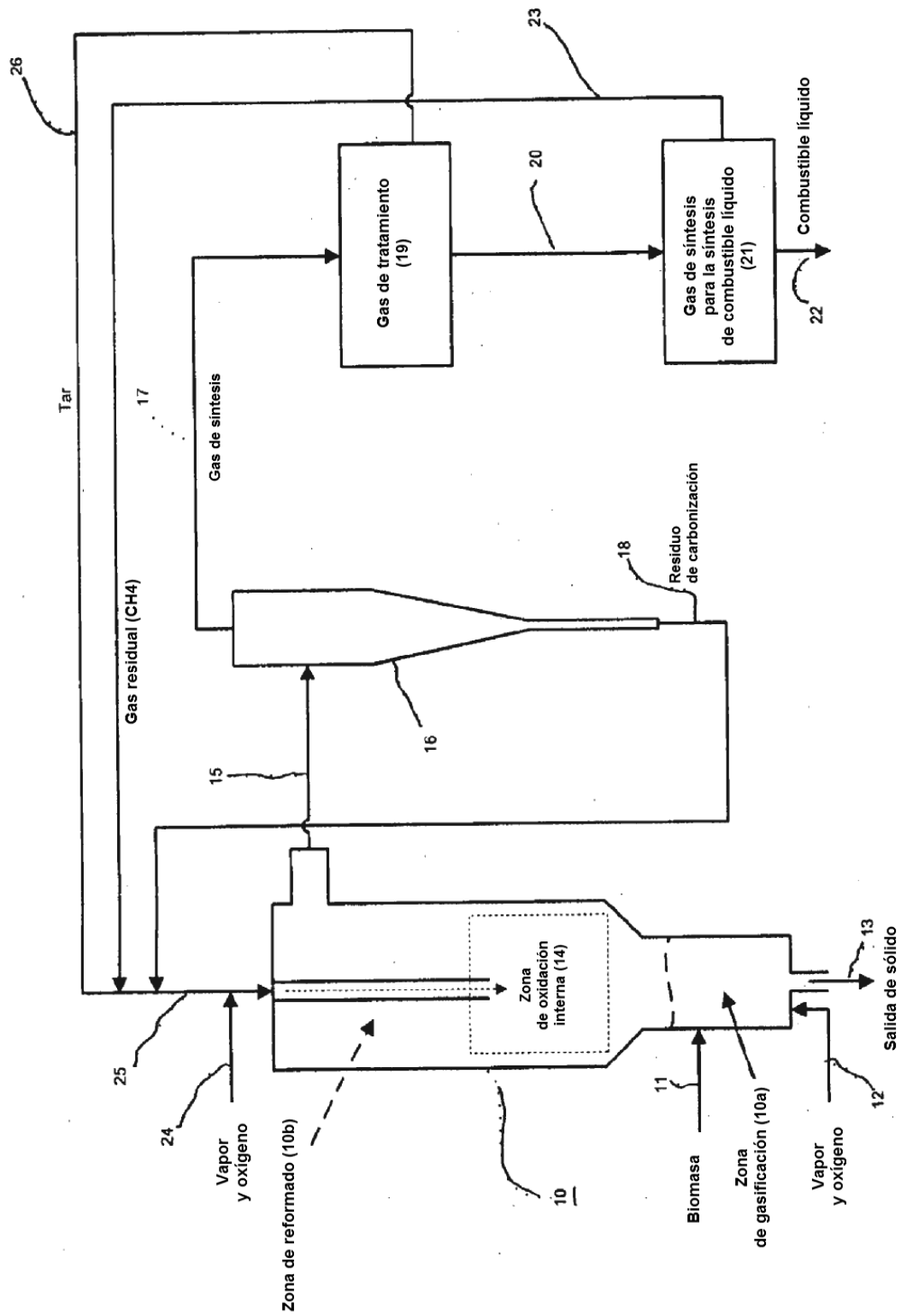


Figura 1

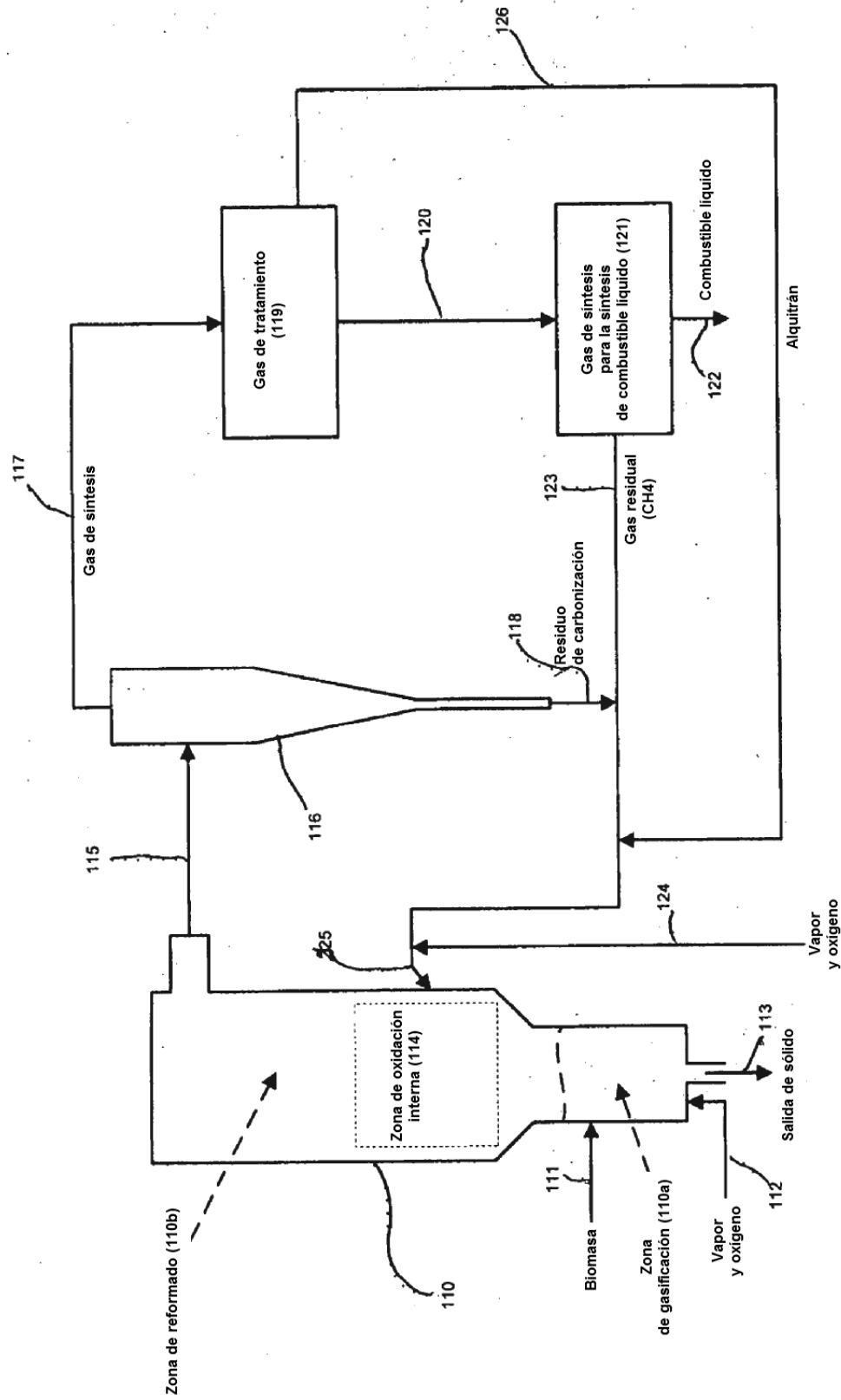


Figura 2

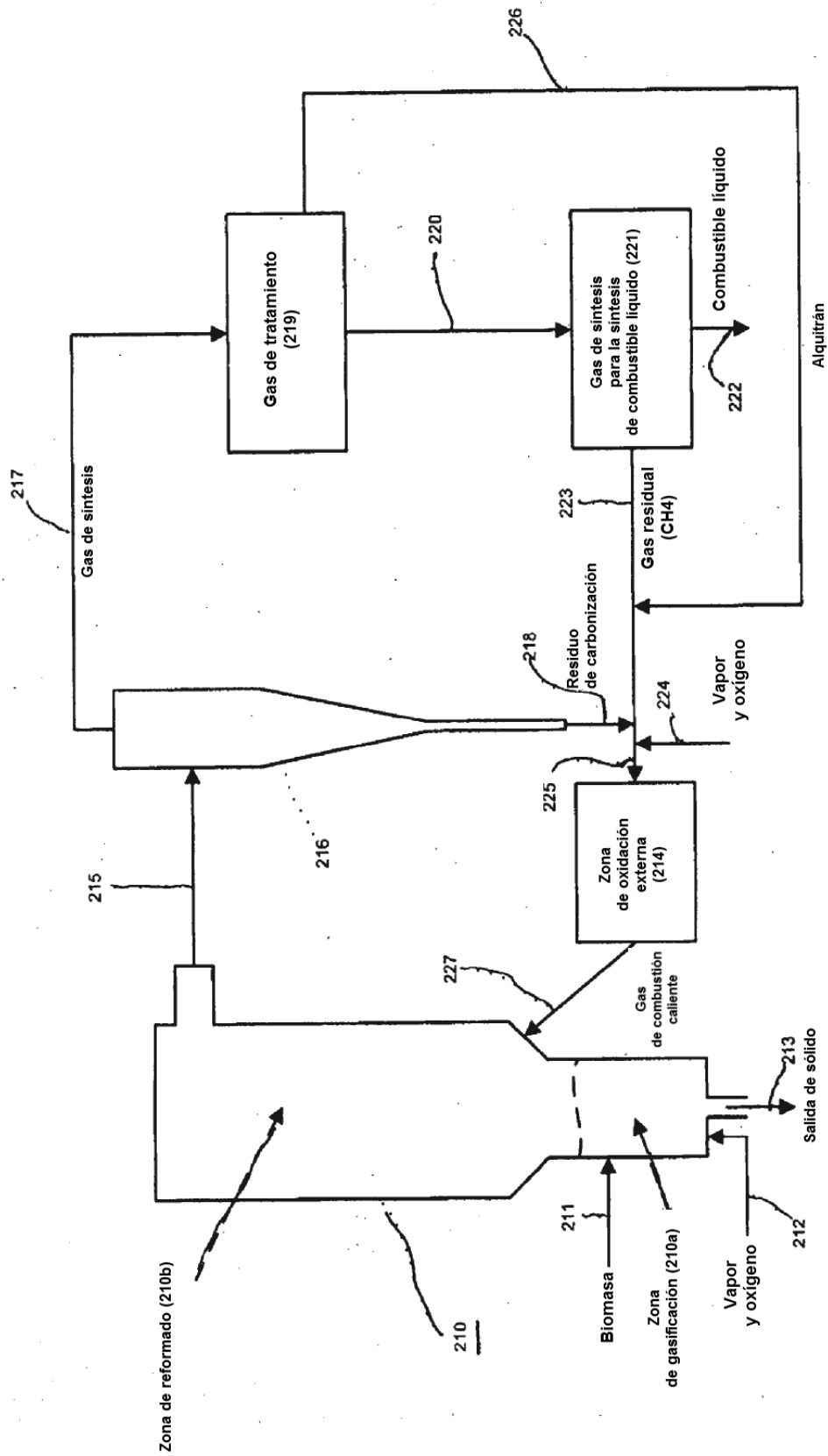


Figura 3

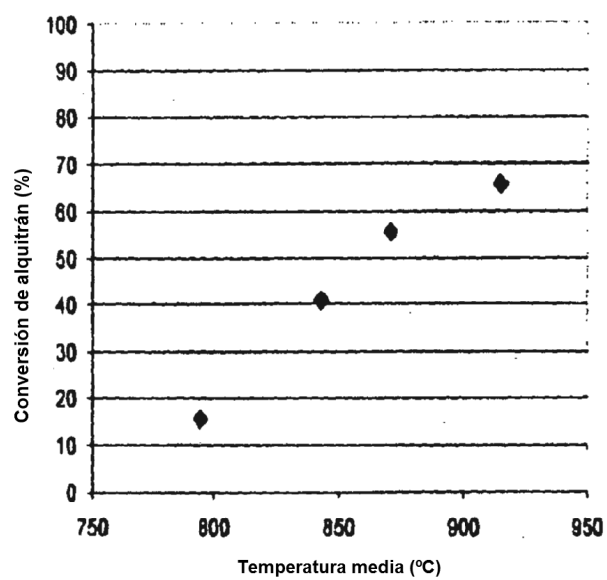


Fig. 4