

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 572 620**

51 Int. Cl.:

C10K 1/02 (2006.01)
C10J 3/46 (2006.01)
C10K 1/00 (2006.01)
C10K 1/10 (2006.01)
C10K 1/12 (2006.01)
C10K 3/00 (2006.01)
C10J 3/16 (2006.01)
C10J 3/66 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.12.2009 E 09832782 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.03.2016 EP 2376607**

54 Título: **Producción de gas de síntesis mediante oxidación controlada de biomasa**

30 Prioridad:

19.12.2008 US 203181 P

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

01.06.2016

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**CHORNET, ESTEBAN;
VASECCHI, BORIS;
RHEAULT, SÉBASTIEN y
GAGNON, MARTIN**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 572 620 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 mediante oxidación controlada de biomasa

5 Esta invención se refiere a la producción de gas de síntesis, o singas, a partir de biomasa. Más en particular, esta invención se refiere a la producción de gas de síntesis a partir de biomasa poniendo en contacto biomasa, en una primera etapa, con oxígeno y vapor, en el que el oxígeno está presente en una cantidad eficaz para oxidar la biomasa, produciendo de este modo calor suficiente para calentar la biomasa a una temperatura de al menos 500 °C y no superior a 750 °C. En una segunda etapa, al menos una parte de la biomasa oxidada producida en la primera
10 etapa se trata con oxígeno y vapor para calentar la biomasa a una temperatura de al menos 800 °C y que no supera los 850 °C, produciendo de este modo gas de síntesis.

El gas de síntesis o singas, incluye monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H₂), con pequeñas cantidades de dióxido de carbono e hidrocarburos residuales, y tiene diferentes usos. El gas de síntesis se puede usar como gas combustible en motores de combustión interna, en turbinas de gas, así como en instalaciones de calderas de vapor alimentadas por gas, o se puede usar para producir otros materiales deseados, tales como metanol y etanol.

El gas de síntesis se puede producir mediante la gasificación de materiales de biomasa residual, tales como residuos forestales, residuos agrícolas, materiales estructurales de madera agotada y biomasa urbana, tales como
20 residuos sólidos municipales. La gasificación de la biomasa proporciona un gas de síntesis en bruto, que puede incluir impurezas, tales como amoníaco (NH₃), compuestos de azufre (tales como sulfuro de hidrógeno (H₂S) y sulfuro de carbonilo (COS)), compuestos de cloro (tal como HCl), metales volátiles, alquitranes, finos (en forma de partículas submicrométricas que contienen metales y sales metálicas), y carbonizados (partículas sólidas normalmente por encima de 0,001 mm y que contienen metales y sales metálicas). Dichas impurezas, sin embargo,
25 limitan la capacidad de uso del gas de síntesis como combustible o su empleo en la síntesis de otros materiales útiles.

Por ejemplo, cuando se usa gas de síntesis para producir metanol, el gas de síntesis se hace reaccionar a presión en presencia de un catalizador. Las impurezas en un gas de síntesis en bruto producido como resultado de la gasificación de la biomasa pueden envenenar o desactivar el catalizador.

Se han ideado varios métodos para la producción de gas de síntesis en bruto a partir de biomasa, y a continuación la limpieza o el acondicionamiento del gas de síntesis en bruto. La Patente Alemana n.º 4317319 desvela la gasificación de biomasa en forma de materias primas granulares trituradas en dos unidades de gasificación en lecho fijo de alta presión a temperaturas de hasta 1200 °C. El oxígeno, el vapor y el dióxido de carbono gaseoso en bruto (CO₂) también se introdujeron en las unidades de gasificación en lecho fijo. El gas de síntesis en bruto producido en las unidades de gasificación en lecho fijo se depura y se enfría con agua y a continuación se enfría aún más con el uso de intercambiadores de calor indirectos. A partir de estas etapas, se eliminan varios componentes orgánicos de la corriente de gas, tales como fenol y alquitranes. Estos se pueden volver a recircular al gasificador de lecho fijo o se pueden introducir al gasificador de flujo arrastrado descrito a continuación. La corriente de gas, libre de fenol y alquitranes, a continuación se envía a una etapa de procesamiento combinada en dos fases de enfriamiento y depuración del gas, donde se usan mezclas de agua y metanol para reducir la temperatura del gas a -25 °C, y eliminar el amoníaco, el cianuro de hidrógeno, y compuestos fenólicos residuales. Los hidrocarburos, algunos de los cuales pueden estar halogenados, también se eliminan mediante la mezcla refrigerada de agua y metanol. Los compuestos ricos en hidrocarburos recuperados de la mezcla enfriada de agua y metanol posteriormente se pueden enviar a la unidad de gasificación de flujo arrastrado, mientras que la corriente de gas que sale de la unidad de depuración a baja temperatura se seca antes de que pase a una unidad de hidrólisis de sulfuro de carbonilo (COS). En esa parte del proceso, el COS en el gas de síntesis se hace reaccionar con vapor para formar sulfuro de hidrógeno (H₂S) y CO₂. El H₂S se extrae entonces de la corriente de gas en una etapa selectiva del proceso de depuración con H₂S. El gas de síntesis acondicionado se usa como combustible en una central eléctrica de gas y de vapor. La corriente rica en H₂S que sale del proceso de depuración selectivo con H₂S se envía a un proceso de recuperación de azufre que producirá azufre puro y una corriente de CO₂ en bruto. El CO₂ en bruto a continuación se somete a etapas de purificación adicionales antes de que se comprima y/o se licue para la fabricación de CO₂ gaseoso de alta pureza.

55 Como alimentación para una unidad de gasificación de flujo arrastrado a alta presión a temperaturas que alcanzan los 1400 °C se usan fracciones de biomasa, tales como alquitranes y fenoles, con los finos presentes en la materia prima. El gas de síntesis en bruto de las unidades de gasificación en lecho fijo también se puede introducir y convertirse en el gasificador de flujo arrastrado. La corriente de gas de síntesis en bruto que sale del gasificador de flujo arrastrado se somete a depuración de partículas. A continuación la corriente de gas se divide en dos corrientes paralelas, una de las cuales se introduce en una unidad de hidrólisis de COS y la otra se introduce en una unidad de conversión de monóxido de carbono (CO). La distribución de la corriente de gas de síntesis entre estas dos unidades de proceso se realiza para lograr una relación deseada de hidrógeno a monóxido de carbono (H₂/CO) del gas, que se va a usar para una planta de síntesis de metanol. Ambas corrientes de gas a continuación se mezclan y se envían a una etapa de enfriamiento antes de que el gas se introduzca en un proceso de depuración de gases a muy baja temperatura, que usa metanol frío para reducir las concentraciones de H₂S y CO₂ en el gas de síntesis a niveles traza. Mediante las etapas de regeneración de disolvente, el H₂S y CO₂ se eliminan del metanol y se envían

a las mismas etapas de recuperación y/o purificación de azufre que se describen para el proceso de acondicionamiento de gas de síntesis de la gasificación en lecho fijo. El gas de síntesis depurado se introduce en una planta de síntesis de metanol.

5 La Patente Alemana n.º 1003150 desvela la gasificación de biomasa en tres unidades de gasificación, dos de las cuales son de tipo lecho fijo y la tercera es de tipo flujo arrastrado. El gas de síntesis, que sale de las unidades de gasificación en lecho fijo, es rico en CO₂. El gas de síntesis rico en CO₂ se inactiva y se enfría. El gas de síntesis de la unidad de gasificación de flujo arrastrado se depura para eliminar las partículas antes de que se añada algo de gas de síntesis rico en CO₂ y así proporcionar la relación H₂/CO deseada para la planta de síntesis de metanol. El gas de síntesis recombinado se envía a una etapa de conversión de CO y a una etapa de enfriamiento antes de que se enfríe. Todas las corrientes de gas de síntesis se envían a depuración a temperatura muy baja para purificar adicionalmente el gas de síntesis, que a continuación se introduce en la planta de síntesis de metanol. El resto del gas se envía a una central eléctrica de gas y de vapor, o se quema en una caldera después de que se mezcle con gas en bruto, gas de síntesis y/o gas natural.

15 Los procesos descritos en las patentes alemanas mencionadas anteriormente se llevan a cabo en condiciones muy rigurosas, e incurrir en altos costos de capital y operativos.

20 La Solicitud de Patente publicada de Estados Unidos n.º 2007/0270511 desvela la gasificación de biomasa para producir gas de síntesis en el que una primera parte de la biomasa se gasifica en presencia de aire para producir gas de síntesis. Este gas de síntesis se quema para producir un gas de combustión caliente. Una segunda parte de la biomasa se gasifica en un gasificador de vapor, a una temperatura de entre 750 °C y 900 °C, para producir gas de síntesis. El gasificador de vapor incluye un sistema de tubos intercambiadores de calor, a través del cual se pasa el gas de combustión caliente, proporcionando de este modo calor al gasificador de vapor.

25 Los materiales de biomasa en general son ricos en materiales inorgánicos, y dichos materiales inorgánicos pueden contener sales que tienen bajos puntos de fusión, tales como, por ejemplo, NaCl (801 °C), KCl (776 °C), CaCl₂ (772 °C), MgCl₂ (714 °C), y FeCl₂ (677 °C). Dichos materiales de biomasa también pueden incluir aluminio, que se funde a 660 °C.

30 Por lo tanto, cuando la biomasa se gasifica a temperaturas tales como las descritas en las patentes alemanas mencionadas más arriba y en la solicitud de patente publicada, los materiales inorgánicos mencionados anteriormente se derretirán e inducirán aglomeraciones y la formación de depósitos en el gasificador. Además, si la gasificación se lleva a cabo en presencia de un lecho fluidizado de material en forma de partículas, dicha fusión del material inorgánico también provocará la aglomeración del material en forma de partículas en el lecho fluidizado, lo que conduce a la eventual pérdida de la fluidización.

35 La patente de Estados Unidos 5.922.090 describe un proceso para la producción de gas de síntesis a partir de biomasa en el que se oxida la biomasa y la biomasa oxidada se trata con oxígeno y vapor para producir gas de síntesis.

La presente invención proporciona un método eficiente de producción de gas de síntesis a partir de biomasa.

45 De acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona un proceso para producir gas de síntesis a partir de biomasa. El proceso comprende, en una primera etapa, poner en contacto la biomasa con un gas oxidante que comprende oxígeno y vapor. El oxígeno está presente en una cantidad eficaz para oxidar la biomasa y para calentar la biomasa a una temperatura de al menos 500 °C y no superior a 750 °C. En una segunda etapa, al menos una parte de la biomasa oxidada producida en la primera etapa se trata con un gas oxidante que comprende oxígeno y vapor para calentar la biomasa a una temperatura de al menos 800 °C, y producir gas de síntesis. El gas de síntesis producido a continuación se recupera.

55 Los materiales ricos en biomasa que se pueden gasificar de acuerdo con la presente invención incluyen, pero no se limitan a, materiales ricos en biomasa homogéneos, materiales ricos en biomasa no homogéneos, materiales ricos en biomasa heterogéneos, y biomasa urbana.

En general, los materiales ricos en biomasa homogéneos son materiales ricos en biomasa que provienen de una sola fuente. Dichos materiales incluyen, pero no se limitan a, materiales de árboles de coníferas o árboles de hoja caduca de una sola especie, materiales agrícolas de una planta de una única especie, tales como heno, maíz o trigo, por ejemplo, lodo primario de pulpa de madera, y virutas de madera.

60 Los materiales ricos en biomasa no homogéneos, en general, son materiales que se obtienen de plantas de más de una especie. Dichos materiales incluyen, pero no se limitan a, residuos forestales de especies mixtas, y residuos de árboles de especies mixtas obtenidas de operaciones en aserraderos u operaciones de descortezado.

65 Los materiales ricos en biomasa heterogéneos en general son materiales que incluyen materiales de biomasa y no de biomasa, tales como plásticos, metales, y/o contaminantes tales como azufre, halógenos, o nitrógeno no de biomasa contenidos en compuestos tales como sales inorgánicas o compuestos orgánicos. Ejemplos de dichos

5 materiales ricos en biomasa heterogéneos incluyen, pero no se limitan a, biomasa urbana, tales como residuos sólidos municipales, tales como combustible derivado de residuos, combustible sólido recuperado, lodos de aguas residuales, postes de transmisión de electricidad y traviesas de ferrocarril usados, que se pueden tratar con creosota, pentaclorofenol, o arseniato de cromo y cobre, y madera de operaciones de construcción y demolición que puede contener uno o más de los productos químicos anteriores, así como pinturas y resinas.

10 En una realización no limitante, antes de la puesta en contacto de la biomasa con gas oxidante en la primera etapa, la biomasa se mezcla con al menos un material aditivo, que neutraliza las 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. Dichos materiales adsorbentes incluyen, pero no se limitan a, óxido de calcio, o mezclas de óxido de calcio, piedra caliza calcinada, materiales de cenizas, olivino (un silicato de hierro y magnesio), y mezclas de óxidos de calcio y magnesio.

15 En otra realización no limitante, el al menos un material aditivo se añade a la biomasa en una cantidad de 1,25 aproximadamente a 3,0 veces aproximadamente la cantidad estequiométrica requerida para la neutralización completa de cloro y otros halógenos, así como de azufre presente en la biomasa. El término "neutralización", como se usa en este documento, incluye la formación de sales estables, tales como CaCl_2 , CaF_2 , CaS , y las correspondientes sales de magnesio y hierro.

20 En la primera etapa, la biomasa se pone en contacto con el gas oxidante en condiciones que producen una oxidación parcial de la biomasa. Como resultado de dicha oxidación parcial, la biomasa se descompone térmicamente, y se produce un residuo carbonoso sólido, gases como CO_2 , vapor y algo de monóxido de carbono e hidrógeno, y los vapores de especies intermedias tales como alquilo de bajo peso molecular e hidrocarburos aromáticos y compuestos fenólicos tales como fenol, catecoles, y fenoles metoxilados, alquilados, y alcoxilados.

25 Como se ha señalado anteriormente, la biomasa, en la primera etapa, se calienta a una temperatura de al menos 500°C y no superior a 750°C . En otra realización no limitante, la biomasa, en la primera etapa, se calienta a una temperatura de al menos 600°C y no superior a 750°C . En otra realización no limitante, la biomasa, en la primera etapa, se calienta a una temperatura de al menos 600°C y no superior a 725°C . En una realización no limitante adicional, la biomasa, en la primera etapa, se calienta a una temperatura de al menos 600°C y no superior a 700°C . En otra realización no limitante, la biomasa, en la primera etapa, se calienta a una temperatura de al menos 600°C y no superior a 660°C .

35 En una realización no limitante, el gas oxidante, en la primera etapa, además comprende nitrógeno en una cantidad que no supera el 60 % en volumen del gas oxidante. En una realización no limitante, el gas oxidante incluye aire y vapor enriquecidos en oxígeno, en el que el oxígeno está presente en una cantidad de hasta el 40 % en volumen aproximadamente del gas oxidante, y el nitrógeno está presente en una cantidad que no supera el 60 % en volumen del gas oxidante.

40 En otra realización no limitante, la biomasa, en la primera etapa, se pone en contacto con oxígeno y vapor en ausencia de nitrógeno. En una realización no limitante, el oxígeno está presente en dicho gas libre de nitrógeno en una cantidad que no supera el 40 % en volumen. En otra realización no limitante, el oxígeno está presente en dicho gas libre de nitrógeno en una cantidad de entre el 30 % en volumen aproximadamente y el 40 % en volumen aproximadamente.

45 En otra realización no limitante, el gas oxidante, en la primera etapa, además comprende dióxido de carbono. En una realización no limitante adicional, el dióxido de carbono está presente en el gas oxidante en una cantidad que no supera el 20 % en volumen. En otra realización no limitante, el dióxido de carbono está presente en el gas oxidante en una cantidad de entre el 10 % en volumen aproximadamente y el 20 % en volumen aproximadamente.

50 En una realización no limitante adicional, el oxígeno está presente en el gas oxidante en una cantidad de entre el 30 % en volumen aproximadamente y el 40 % en volumen aproximadamente, el dióxido de carbono está presente en el gas oxidante en una cantidad de entre el 10 % en volumen aproximadamente y el 20 % en volumen aproximadamente, y el resto del gas oxidante es esencialmente vapor. Puede haber presentes cantidades traza de argón.

55 En otra realización no limitante, la biomasa, en la primera etapa, se pone en contacto con oxígeno a una relación ponderal de oxígeno a biomasa que no supera las 0,35 veces la relación ponderal estequiométrica necesaria para la combustión completa, es decir, la oxidación total de la biomasa.

60 En una realización no limitante adicional, la biomasa, en la primera etapa, se pone en contacto con oxígeno a una relación ponderal de oxígeno a biomasa de 0,2 aproximadamente a 0,35 en peso aproximadamente de la relación ponderal estequiométrica necesaria para la combustión completa de la biomasa. En otra realización no limitante, la biomasa se pone en contacto con oxígeno a una relación ponderal de oxígeno a biomasa de 0,25 aproximadamente a 0,30 aproximadamente de la relación ponderal estequiométrica necesaria para la combustión completa de la biomasa.

- En otra realización no limitante, en la primera etapa, la biomasa se pone en contacto con el oxígeno y el vapor en un lecho de material en forma de partículas, con lo que el paso de oxígeno y vapor a través de dicho lecho proporciona un lecho fluidizado del material en forma de partículas. Dichos materiales particulados incluyen, pero no se limitan a, alúmina, olivino, sílice, antracita, coque de petróleo desulfurado, y en general, cualquier material refractario estable.
- 5 En una realización no limitante, el material en forma de partículas se selecciona del grupo que consiste en alúmina, olivino y sílice. En otra realización no limitante, las partículas tienen un diámetro de 200 micrómetros aproximadamente a 600 micrómetros aproximadamente.
- En otra realización no limitante, la biomasa se pone en contacto, en la primera etapa, con el oxígeno y el vapor durante un periodo de tiempo que no supera los 10 segundos. En una realización no limitante adicional, la biomasa se pone en contacto, en la primera etapa, con el oxígeno y el vapor durante un periodo de tiempo que no supera los 3 segundos. En otra realización no limitante, la biomasa se pone en contacto, en la primera etapa, con el oxígeno y el vapor durante un periodo de tiempo que no supera el segundo.
- 10
- 15 Aunque el ámbito de la presente invención no pretende limitarse a ningún razonamiento teórico, puesto que la biomasa se pone en contacto con oxígeno y vapor en la primera etapa, la biomasa se oxida parcialmente, y se descompone térmicamente, produciendo de este modo un residuo carbonoso sólido, gases como CO₂, vapor y algo de monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H₂), y vapores de especies intermedias tales como alquilo de bajo peso molecular e hidrocarburos aromáticos, y compuestos fenólicos como se ha descrito anteriormente.
- 20
- 25 Cuando la biomasa se pone en contacto con oxígeno y vapor, en la primera etapa, en presencia de un lecho fluidizado, el residuo carbonoso sólido producido en la primera etapa se mantiene en el lecho fluidizado y proporciona la mayor parte del calor exotérmico de oxidación, manteniendo de ese modo el lecho fluidizado a las temperaturas descritas anteriormente. El oxígeno usado en la primera etapa esencialmente se consume en esa etapa, mientras que también se consume una parte del residuo carbonoso formado durante la primera etapa, y otra parte del residuo carbonoso es arrastrado en forma de carbonizado. Las partículas carbonizadas también pueden contener materiales inorgánicos presentes inicialmente en la alimentación de biomasa.
- 30
- 35 Durante la primera etapa se puede producir cierto craqueo de los productos intermedios, es decir, hidrocarburos de bajo peso molecular, compuestos fenólicos y aromáticos; sin embargo, se requieren temperaturas más altas para convertir el carbono residual en las partículas carbonizadas arrastradas, y, además para producir el craqueo y reformado de los vapores intermedios que contienen el alquilo de bajo peso molecular e hidrocarburos aromáticos, y compuestos fenólicos. Así, en la segunda etapa, al menos una parte de la biomasa parcialmente oxidada producida en la primera etapa se trata con un gas oxidante que comprende oxígeno y vapor para calentar la biomasa a una temperatura de al menos 800 °C y que no supera los 850 °C.
- En una realización no limitante, el gas oxidante, en la segunda etapa, además comprende nitrógeno en una cantidad que no supera el 60 % en volumen del gas oxidante. En una realización no limitante, el gas oxidante incluye aire y vapor enriquecidos en oxígeno, en el que el oxígeno está presente en una cantidad de hasta el 40 % en volumen aproximadamente del gas oxidante, y el nitrógeno está presente en una cantidad que no supera el 60 % en volumen del gas oxidante.
- 40
- 45 En otra realización no limitante, la biomasa parcialmente oxidada, en la segunda etapa, se pone en contacto con oxígeno y vapor en ausencia de nitrógeno. En una realización no limitante, el oxígeno está presente en dicho gas libre de nitrógeno en una cantidad que no supera el 40 % en volumen. En otra realización no limitante, el oxígeno está presente en dicho gas libre de nitrógeno en una cantidad de entre el 30 % en volumen aproximadamente y el 40 % en volumen aproximadamente.
- En otra realización no limitante, el gas oxidante, en la segunda etapa, además comprende dióxido de carbono. En una realización no limitante adicional, el dióxido de carbono está presente en el gas oxidante en una cantidad que no supera el 20 % en volumen. En otra realización no limitante, el dióxido de carbono está presente en el gas oxidante en una cantidad de entre el 10 % en volumen aproximadamente y el 20 % en volumen aproximadamente.
- 50
- 55 En una realización no limitante adicional, el oxígeno está presente en dicho gas oxidante en una cantidad de entre el 30 % en volumen aproximadamente y el 40 % en volumen aproximadamente, el dióxido de carbono está presente en el gas oxidante en una cantidad de entre el 10 % en volumen aproximadamente y el 20 % en volumen aproximadamente, y el resto del gas oxidante es esencialmente vapor. Puede haber presentes cantidades traza de argón.
- 60
- 65 En una realización no limitante, la biomasa oxidada, en la segunda etapa, se trata con oxígeno y vapor durante un periodo de tiempo de 0,5 segundos aproximadamente a 10 segundos aproximadamente. En otra realización no limitante, la biomasa oxidada, en la segunda etapa, se trata con oxígeno y vapor durante un periodo de tiempo de 4 segundos aproximadamente a 8 segundos aproximadamente.
- La biomasa oxidada, en la segunda etapa, se trata con oxígeno y vapor en una primera etapa a una temperatura de al menos 800 °C y que no supera los 850 °C.

La biomasa oxidada se calienta en la segunda etapa a una temperatura de entre 900 °C aproximadamente y 1000 °C aproximadamente. En otra realización no limitante, la biomasa oxidada se calienta en la segunda etapa a una temperatura de entre 925 °C aproximadamente y 975 °C aproximadamente.

- 5 En otra realización no limitante más, la biomasa oxidada se calienta en una primera etapa a una temperatura de entre 800 °C a 850 °C, y se calienta en la segunda etapa a una temperatura de entre 925 °C aproximadamente a 975 °C aproximadamente.

10 Cuando la biomasa oxidada se pone en contacto con oxígeno y vapor en la segunda etapa, con lo que la biomasa oxidada se calienta a una temperatura de al menos 800 °C, el carbono del carbonizado se convierte completamente por el vapor para generar hidrógeno y monóxido de carbono, y el reformado con vapor de los compuestos intermedios produce más hidrógeno y monóxido de carbono. En general, los materiales inorgánicos que están presentes en el carbonizado normalmente se exponen a temperaturas superiores a sus puntos de fusión. Dichos materiales inorgánicos se derretirán y permanecerán fundidos en las partículas carbonizadas. La deposición de partículas carbonizadas y/o materiales inorgánicos en las paredes del recipiente de gasificación es mínima debido a que las partículas son arrastradas en condiciones de flujo pistón.

20 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 margen libre. La biomasa se introduce en la sección de lecho fluidizado del gasificador por medios conocidos por los expertos en la materia, tales como, por ejemplo, a través de válvulas de estrella apretadas a presión (tal como se usa en el sector de la pulpa y el papel para alimentar digestores) y un sistema de tolva de esclusa equipada con válvulas de enclavamiento, y acoplado a una cinta transportadora que alimenta un tornillo de transferencia, que expulsa la biomasa hacia la sección de lecho fluidizado del gasificador. Como alternativa, la biomasa se puede introducir en la sección de lecho fluidizado del gasificador por medio de un tornillo de compresión que trabajan contra un tapón para crear un sello de presión contra el gasificador.

30 En general, el gasificador funciona a una presión que no supera las 10 atm (1,01 MPa). La sección de lecho fluidizado incluye partículas de un material fluidizable, tales como alúmina u olivino, que tienen un tamaño de partícula de 200 micrómetros aproximadamente a 600 micrómetros aproximadamente. El oxígeno y el vapor se introducen en la sección de lecho fluidizado del gasificador para proporcionar una velocidad del gas de 0,7 m/s aproximadamente a 1,5 m/s aproximadamente, proporcionando de esta manera un lecho fluidizado burbujeante del material en forma de partículas. El oxígeno se introduce en la sección de lecho fluidizado a una relación ponderal de oxígeno a biomasa de 0,20 aproximadamente a 0,35 aproximadamente de la relación ponderal estequiométrica requerida para la combustión completa de la biomasa, y manteniendo de este modo la sección de lecho fluidizado del gasificador a una temperatura de 600 °C aproximadamente a 700 °C aproximadamente.

40 Como la biomasa se introduce en la sección de lecho fluidizado, la biomasa se oxida parcialmente, a medida que se descompone térmicamente para producir un residuo carbonoso sólido que permanece en el lecho fluidizado, gases, tales como CO₂ y algo de CO y H₂, vapor de la humedad en la biomasa, así como de las reacciones de deshidratación, y vapores de especies intermedias tales como alquilo de bajo peso molecular e hidrocarburos aromáticos, y compuestos fenólicos como se ha descrito anteriormente. Los gases y vapores salen rápidamente del lecho fluidizado. En general, la biomasa se trata con oxígeno y vapor en la primera etapa, durante un periodo de tiempo no superior a 3 segundos.

45 El material carbonoso sólido que queda en el lecho fluidizado reacciona con el oxígeno que se introduce en la sección de lecho fluidizado, proporcionando de ese modo el calor exotérmico de la oxidación, además de proporcionar CO y CO₂ debido a que la oxidación de la biomasa en la sección de lecho fluidizado es subestequiométrica. El oxígeno esencialmente se consume en la sección de lecho fluidizado, cuya carga de carbono es constante en el tiempo, es decir, el carbono se produce por descomposición térmica de la biomasa, a continuación, se consume por la oxidación, y a continuación las partículas pequeñas son arrastradas como carbonizados cuando el tamaño de las partículas se reduce a un tamaño que produce su arrastre (normalmente menos de 200 micrómetros). Las partículas carbonizadas contienen materiales inorgánicos tales como sales, por ejemplo, que inicialmente están presentes en la biomasa.

55 El gas y los vapores se producen como resultado de la oxidación parcial del movimiento de la biomasa desde la sección de lecho fluidizado del gasificador a través de una zona de desprendimiento (es decir, una zona de separación de la sección de lecho fluidizado de la sección de margen libre) antes de entrar en la sección de margen libre.

60 Aunque en la sección de lecho fluidizado del gasificador tiene lugar cierto craqueo de las especies intermedias descritas anteriormente, en general se requieren temperaturas más elevadas para efectuar la conversión del carbono residual en las partículas carbonizadas arrastradas y, además, someter a craqueo y reformado de vapor a los vapores de las especies intermedias. Dichas 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 mayor

peso molecular conocidos como "alquitrán", es decir, una mezcla compleja de compuestos poliaromáticos funcionalizados y compuestos polifenólicos.

El gas y los vapores producidos en la sección de lecho fluidizado pasan a través de la zona de desprendimiento hacia la sección de margen libre, en la que el gas y los vapores se ponen en contacto con el oxígeno y el vapor para alcanzar una temperatura de 925 °C aproximadamente a 1000 °C aproximadamente. El oxígeno y el vapor se introducen en la sección de margen libre del gasificador en una cantidad tal que la velocidad de la fase gaseosa se mantiene entre 0,3 m/s aproximadamente y 0,7 m/s aproximadamente. En general, los tiempos de residencia del gas en la sección de margen libre del gasificador son de 4 segundos aproximadamente a 8 segundos aproximadamente.

En la sección de margen libre, los compuestos fenólicos se convierten en compuestos aromáticos simples, y se lleva a cabo el craqueo del alquitrán y el reformado del alquitrán. El carbono en el carbonizado se convierte esencialmente por completo por el vapor y el CO₂ para generar H₂ y CO, y el reformado con vapor de los vapores de los hidrocarburos intermedios también genera H₂ y CO. Los materiales inorgánicos presentes en el carbonizado se fundirán. Sin embargo, la deposición de materiales inorgánicos en las paredes del gasificador es mínima debido al arrastre de partículas en el régimen de flujo de pistón existente.

Como se ha señalado anteriormente, en una realización alternativa, el calentamiento de la biomasa parcialmente oxidada para producir gas de síntesis se puede efectuar en una combinación de una primera etapa, y una segunda etapa, en la que la biomasa parcialmente oxidada se calienta a una temperatura en la segunda etapa que es mayor que la de la primera etapa.

En una realización no limitante, la primera etapa se lleva a cabo en la sección de margen libre del gasificador, y la segunda etapa se lleva a cabo en uno o más reactores de flujo tubular. En una realización no limitante, el uno o más reactor(es) de flujo tubular tiene(n) forma de tubos de acero al carbono refractarios y aislantes. En otra realización no limitante, el calentamiento en la segunda etapa se lleva a cabo en dos reactores de flujo tubular que están conectados entre sí a fin de formar una configuración en forma de U.

La biomasa oxidada se pone en contacto con oxígeno y vapor en la sección de margen libre del gasificador a una temperatura de 800 °C aproximadamente a 850 °C aproximadamente. El oxígeno y el vapor se introducen en la sección de margen libre del gasificador en cantidades tales que mantienen una velocidad gaseosa de 0,3 m/s aproximadamente a 0,7 m/s aproximadamente, y el tiempo de reacción es de 4 segundos aproximadamente a 8 segundos aproximadamente, como se ha descrito anteriormente en esta memoria, para iniciar la conversión de la biomasa oxidada a un gas de síntesis en bruto. El gas producido en la sección de margen libre también tiene partículas carbonizadas arrastradas dentro del mismo.

El gas y las partículas arrastradas a continuación se pasan desde la sección de margen libre del gasificador a uno o más reactores de flujo tubular. En una realización no limitante, se añade oxígeno y vapor adicionales al reactor(es) de flujo tubular. En el reactor(es) de flujo tubular, el gas se calienta a una temperatura de 925 °C aproximadamente a 975 °C aproximadamente, y en general, el tiempo de reacción en el reactor(es) de flujo tubular es de 1 segundo aproximadamente a 2 segundos aproximadamente, que es suficiente para completar la conversión de la biomasa oxidada a un gas de síntesis en bruto.

Así se produce un producto de gas de síntesis en bruto mediante la gasificación de biomasa en el lecho fluidizado y las secciones de margen libre del gasificador, y opcionalmente en uno o más reactores de flujo tubular, en las condiciones anteriormente descritas. Dicho gas de síntesis en bruto se puede acondicionar para proporcionar un producto de gas de síntesis limpio que se puede usar como combustible o se puede usar para la síntesis de otros compuestos tales como alcoholes (por ejemplo, metanol o etanol) o hidrocarburos.

Por ejemplo, el gas de síntesis en bruto se puede enfriar, usando agua, a una temperatura inferior a 750 °C. El gas de síntesis en bruto a continuación se pasa a uno o más ciclones para eliminar las partículas restantes que tienen un tamaño de más de 10 micrómetros. El gas que sale del ciclón(es) se hace pasar a una unidad de recuperación de calor en la que el gas viaja en un tubo contenido en la unidad. El aceite térmico o el agua que rodea el tubo recuperan calor del gas.

El gas de síntesis en bruto a continuación se lava en un sistema de depuración que tiene dos depuradores. El primer depurador es un depurador Venturi que captura al menos el 95 % de los finos y solubiliza trazas de HCl y H₂S mediante depuración con agua alcalina. En el segundo depurador, todo el amoniaco que pueda quedar en el gas se depura a pH neutro, y después de una operación de separación se devuelve al gasificador para la conversión adicional a N₂ y H₂.

El proceso de la presente invención permite obtener un gas de síntesis purificado, que se puede procesar y/o hacer reaccionar de manera eficiente para proporcionar productos útiles, tales como metanol y etanol, por ejemplo. Más en particular, de acuerdo con otro aspecto de la presente invención, se proporciona un gas de síntesis purificado en el que los contaminantes están presentes en cantidades que no superan los niveles que se indican a continuación:

Partículas con tamaño mayor de submicrométrico – no superior a 1 mg/Nm³

Metales en partículas

Hg y Cd	– no superior a 0,1 mg/Nm ³
Pb	– no superior a 0,1 mg/Nm ³
As	– no superior a 0,05 mg/Nm ³
Metales alcalinos	– no superior a 0,5 mg/Nm ³
Al	– no superior a 0,5 mg/Nm ³
Si	– no superior a 0,5 mg/Nm ³
Metales pesados	– no superior a 0,01 mg/Nm ³

Vapores metálicos en el gas

Hg	– no superior a 0,001 mg/Nm ³
As (como óxidos)	– no superior a 0,010 mg/Nm ³
Cl (como HCl)	– no se puede medir
S (como H ₂ S o COS)	– no se puede medir

Alquitrán	– no superior a 0,01 mg/Nm ³
-----------	-----------------------------------------

El término "mg/Nm³", como se usa en este documento, significa la cantidad de contaminante en miligramos por metro cúbico, en condiciones normales, es decir, 0 °C y 1 bar (100 kPa) de presión absoluta.

5 La invención se describirá ahora con respecto al dibujo, en el que:

El dibujo es un esquema del proceso para producir un gas de síntesis de acuerdo con la presente invención.

10 Ahora con referencia al dibujo, se introduce biomasa a la zona de pretratamiento 10 a través del conducto 11. Los aditivos se introducen a la zona de pretratamiento 10 a través del conducto 12. Los aditivos que se introducen a la zona de pretratamiento 10 incluyen óxido de calcio, mezclas de óxido de calcio y óxido de magnesio, piedra caliza calcinada, olivino, y/o mezclas de óxidos de calcio y magnesio, para neutralizar impurezas tales como cloro, flúor y azufre, que pueden estar presentes en la biomasa. Los aditivos también pueden incluir materiales de cenizas, que contienen metales que, una vez reducidos en el gasificador 20, pueden tener un efecto catalítico beneficioso durante el reformado en la sección del margen libre 20b. En general, dichos aditivos están presentes en una cantidad del 0,5 % en peso aproximadamente al 3,0 % en peso aproximadamente, en base al peso de la biomasa.

15 La biomasa y los aditivos se extraen de la zona de pretratamiento 10 a través del conducto 13 y se introducen en la sección de lecho fluido 20a del gasificador 20 a través de un sistema de alimentación (no mostrado) que incluye una serie de válvulas en estrella o un sistema de tolva de esclusa con válvulas de enclavamiento acopladas a una cinta transportadora pesada, que alimenta un tornillo de transferencia para inyectar la biomasa y los aditivos. El sistema de alimentación se ilustra esquemáticamente como conducto 14.

20 Un gas de fluidización, tal como oxígeno y vapor, o una mezcla de oxígeno, vapor y dióxido de carbono, se pasa del conducto 15, a través del compresor 1, a los conductos 16 y 18, y se introduce, a través de un sistema de boquillas distribuidas (no mostrado), en la sección de lecho fluido 20a del gasificador 20 a través de los conductos 14 y 18a.

25 La sección de lecho fluido 20a del gasificador 20 incluye un lecho fluidizado de un material en forma de partículas adecuado, tal como alúmina, olivino, antracita, coque de petróleo desulfurado, u otros materiales refractarios. En general, el material del lecho fluidizado tiene un tamaño de partícula de 200 micrómetros aproximadamente a 600 micrómetros aproximadamente.

30 La sección de lecho fluido 20a del gasificador 20 se hace funcionar en condiciones que produzcan la oxidación parcial y la descomposición térmica de la biomasa. En general, la temperatura de la sección de lecho fluidizado 20a del gasificador 20 se mantiene de 600 °C aproximadamente a 700 °C aproximadamente, y el gas de fluidización se introduce en la sección de lecho fluidizado 20a para proporcionar una velocidad de fluidización de 0,7 m/s aproximadamente a 1,5 m/s aproximadamente. Dicha velocidad de fluidización se mantiene mediante el gas de fluidización que se introduce en la sección de lecho fluido 20a del gasificador 20, así como por los gases formados mediante la conversión del material de biomasa en la sección de lecho fluido 20a. En general, el lecho fluido sección 20a se hace funcionar a una presión que no supera las 10 atm (1,01 MPa).

35 El oxígeno está presente en el gas de fluidización en una cantidad eficaz para oxidar la biomasa y para calentar la biomasa.

40 En general, el gas de fluidización se introduce a la sección del lecho fluido 20a tal que la relación ponderal de oxígeno a biomasa es de 0,20 aproximadamente a 0,35 aproximadamente de la relación ponderal estequiométrica requerida para la combustión completa de la biomasa.

5 Cuando la biomasa entra en la sección de lecho fluido 20a, la biomasa se oxida parcialmente, ya que se descompone térmicamente, produciendo de este modo un residuo carbonoso sólido que permanece en la sección de lecho fluido 20a, gases puros (tales como CO₂, vapor, incluyendo el introducido en la sección de lecho fluido 20a y de las reacciones de deshidratación, y algo de monóxido de carbono e hidrógeno), y vapores de especies intermedias, tales como alquilo de bajo peso molecular e hidrocarburos aromáticos, compuestos fenólicos, y compuestos aromáticos condensados y funcionalizados, que pasan de la sección de lecho fluido 20a con los gases puros y el gas de fluidización, a la sección de margen libre 20b.

10 La biomasa se pone en contacto con el gas de fluidización en la sección de lecho fluido 20a durante un periodo de tiempo que es eficaz para efectuar la oxidación parcial y la descomposición térmica de la biomasa. En general, el periodo de tiempo no supera los 3 segundos.

15 El residuo carbonoso que permanece en la sección de lecho fluido 20a reacciona con el oxígeno entrante 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 subestequiométrica, y la temperatura de la sección de lecho fluido 20a se mantiene entre 600 °C aproximadamente y 700 °C aproximadamente. El oxígeno que se introdujo en la sección de lecho fluido 20a esencialmente se consume en la sección de lecho fluido 20a. También se produce carbono como resultado de la descomposición térmica de la biomasa. A medida que la biomasa continúa descomponiéndose y se oxida parcialmente en la sección de lecho fluido 20a, las partículas de carbono que se formaron como resultado de la descomposición térmica también comienzan a consumirse como consecuencia de la oxidación parcial de dichas partículas, con lo que las partículas de carbono se reducen y son arrastradas en el gas de fluidización en forma de partículas carbonizadas. En general, dichas partículas carbonizadas arrastradas tienen un tamaño inferior a 200 micrómetros. Las partículas carbonizadas contienen materiales inorgánicos, tales como sales (por ejemplo, cloruros alcalinos), presentes inicialmente en la alimentación de biomasa, a excepción de los trozos más grandes de material inorgánico que se acumula en la sección de lecho fluido 20a. El material sólido inorgánico en exceso, que no es arrastrado en el gas de fluidización, y que puede estar recubierto con carbono, se extrae de la sección de lecho fluido 20a a través del conducto 21. Un sensor de presión diferencial (no mostrado) activa un sistema de válvulas (no mostrado) que permite el ajuste del nivel de material de lecho fluidizado en la sección de lecho fluido 20a para mantener una fluidización uniforme del material del lecho fluidizado.

30 Los gases, tales como CO₂, CO, e hidrógeno, y el vapor, y los vapores de las especies intermedias descritas anteriormente, que se producen por la oxidación parcial y la descomposición térmica de la biomasa, así como el resto del gas de fluidización, constituyen un gas de síntesis primario que pasa de la sección de lecho fluido 20a a la sección de margen libre 20b del gasificador 20. Las partículas carbonizadas también son arrastradas en los gases y vapores a medida que pasan desde la sección de lecho fluido 20a a la sección de margen libre 20b.

40 En la sección de lecho fluido 20a tiene lugar cierto craqueo de la especie intermedia; sin embargo, se requieren temperaturas superiores para el craqueo y reformado eficaz con vapor de los vapores de las especies intermedias, y para convertir el carbono residual en las partículas carbonizadas arrastradas.

45 El material de biomasa parcialmente oxidada, ahora en forma del material de gas de síntesis primario descrito anteriormente, se pone en contacto con gas oxidante adicional en la sección del margen libre 20b. El gas oxidante, que es una mezcla de oxígeno y vapor, o una mezcla de oxígeno, vapor y dióxido de carbono como se ha descrito anteriormente, se introduce en la sección de margen libre 20b a través de los conductos 17a y 17b.

50 El material de biomasa parcialmente oxidada se pone en contacto con el gas oxidante en la sección de margen libre 20b a una temperatura y durante un periodo de tiempo que son eficaces para convertir el material de biomasa parcialmente oxidada a un gas de síntesis. En general, la biomasa parcialmente oxidada se pone en contacto con el gas oxidante en la sección de margen libre 20b a una temperatura de 800 °C aproximadamente a 850 °C aproximadamente, y durante un periodo de tiempo de 4 segundos aproximadamente a 8 segundos aproximadamente. El gas oxidante se introduce en la sección ampliada de margen libre 20b de los conductos 17a y 17b de modo que se mantiene una velocidad de 0,3 m/s aproximadamente a 0,7 m/s aproximadamente.

55 En la sección de margen libre 20b, el carbono en el carbonizado se convierte completamente por el vapor en el gas oxidante, lo que genera hidrógeno y monóxido de carbono, mientras que el reformado con vapor de los intermedios proporciona más hidrógeno y monóxido de carbono. Los materiales inorgánicos en el carbonizado (tales como cloruros alcalinos, por ejemplo) se calientan a temperaturas que son superiores a sus puntos de fusión. Dichos materiales se funden y se mantienen fundidos en las partículas carbonizadas. La deposición de materiales inorgánicos o de otro tipo sobre las paredes de la sección de margen libre 20b es mínima dado el régimen de flujo pistón existente y la encapsulación del material fundido dentro del carbonizado. Además, las partículas carbonizadas no vuelven a la sección de lecho fluido 20a del gasificador 20 debido a que la dinámica de fluidos del flujo pistón hace que sea imposible.

65 Un gas de síntesis en bruto, formado por reacción del material de biomasa parcialmente oxidada con el gas oxidante en la sección de margen libre 20b como se ha descrito anteriormente, se extrae de la sección de margen libre 20b a través del conducto 19, y se pasa hacia el mezclador 3, donde el gas de síntesis en bruto se mezcla con gas oxidante, tal como se ha descrito anteriormente, procedente del conducto 17. El gas de síntesis en bruto y el gas

- oxidante a continuación se pasan desde el mezclador 3 a través del conducto 8 y hacia el reformador térmico 22. El reformador térmico 22 tiene una configuración de reactor de flujo tubular simple, y puede estar en forma de tubo de acero al carbono refractario y aislante. En el reformador térmico 22 se produce la conversión adicional de todo el carbono en las partículas carbonizadas, y de los materiales hidrocarbonados intermedios que quedan en el gas de síntesis en bruto. En general, esta conversión adicional se lleva a cabo poniendo en contacto el gas de síntesis en bruto con el gas oxidante a una temperatura de 925 °C aproximadamente a 1000 °C aproximadamente, y durante un periodo de tiempo de 1 segundo aproximadamente a 3 segundos aproximadamente.
- El gas de síntesis en bruto a continuación se extrae del reformador térmico 22 a través del conducto 23, y se pasa al mezclador 4. También se introduce gas oxidante en el mezclador 4 del conducto 18. La mezcla de gas de síntesis en bruto y gas oxidante a continuación se pasa a través del conducto 25 y hacia el reformador térmico 24. En el reformador térmico 24, se produce la conversión adicional del carbono y los intermedios. En general, el reformador térmico 24 tiene la misma configuración que el reformador térmico 22, y se hace funcionar bajo las mismas condiciones que el reformador térmico 22.
- En los reformadores térmicos 22 y 24, se produce una mayor conversión de carbono y de los hidrocarburos intermedios restantes en el gas de síntesis en bruto, para proporcionar un gas de síntesis que también incluye metano residual y solo pequeñas cantidades de hidrocarburos que tienen dos o más átomos de carbono.
- El gas de síntesis a continuación se extrae del reformador térmico 24 a través del conducto 26, y se pasa hacia el mezclador 5, y se enfría en el mezclador 5 con agua del conducto 27 a una temperatura inferior a 750 °C. El gas de síntesis enfriado a continuación se hace pasar a través del conducto 28 en uno o más ciclones, representados esquemáticamente como 29.
- En los ciclones 29, las partículas restantes que tienen un tamaño superior a 10 micrómetros se separan del gas de síntesis y se extraen de los ciclones 29 a través del conducto 31. Dichas partículas están compuestas esencialmente de materiales inorgánicos recubiertas con carbono.
- El gas de síntesis se extrae de los ciclones 29 a través del conducto 30, y se pasa a la unidad de recuperación de calor 32, en la que el gas de síntesis se somete a un enfriamiento adicional. Dicho enfriamiento se realiza haciendo pasar un fluido frío, tal como agua o un aceite térmico, en el conducto 33 a través de la unidad de recuperación de calor 32. El fluido en el conducto 33 sale de la unidad de recuperación de calor 32 como fluido caliente, y el gas de síntesis enfriado se extrae de la unidad de recuperación de calor 32 a través del conducto 34, y se pasa hacia el depurador Venturi 35. El depurador Venturi 35 incluye una parte de garganta y un separador de partículas (no mostrado). En el depurador Venturi 35, se eliminan todos los alquitranes y al menos el 95 % de los finos de partículas que quedan en el gas de síntesis. Además, el gas de síntesis se lava con agua alcalina procedente del conducto 36, que disuelve cualquier rastro de HCl o H₂S que quede en el gas de síntesis y formando las sales de sodio correspondientes.
- El agua que contiene las sales de sodio, alquitrán, y finos de partículas se extrae del depurador Venturi 35 a través del conducto 42 y se pasa al separador de alquitrán 43. El alquitrán y los finos se extraen del separador de alquitrán 43 a través del conducto 44 y se pasan al mezclador 45. El agua se extrae del separador de alquitrán 43 a través del conducto 48, y se hace pasar a través del enfriador 38 y hacia el conducto 37 y la bomba 6. Una parte del agua se extrae del conducto 37 y la bomba 6, y se pasa hacia el conducto 49 como agua de purga. Dicha agua de purga se puede someter a un tratamiento adicional y a continuación se envía al conducto 27 como agua usada para enfriar el gas de síntesis en bruto procedente del conducto 26 antes del tratamiento de ciclón. El agua que queda en el conducto 37 se somete a un ajuste de pH alcalino, y se hace pasar al conducto 36 para su reciclado al depurador Venturi 35.
- El gas de síntesis se extrae del depurador Venturi 35 a través del conducto 39 y se pasa al depurador 40. En el depurador 40, el gas de síntesis se pone en contacto con agua, a pH neutro, procedente del conducto 58. En el depurador 40, todo el amoníaco restante, así como todo el alquitrán y los finos, en el gas de síntesis se extrae del gas de síntesis.
- El gas de síntesis tratado se extrae del depurador 40 a través del conducto 41. Dicho gas de síntesis se puede someter, si se desea, a acondicionamiento, reformado y/o eliminación de dióxido de carbono posteriores, antes de su uso como combustible. Como alternativa, el gas de síntesis se puede usar como alimentación para la síntesis de otros materiales deseados, tales como metanol o etanol, por ejemplo.
- El agua, el amoníaco, los alquitranes, y los finos se extraen del depurador 40 a través del conducto 50 y se pasan al separador de alquitrán 51, en el que los alquitranes y los finos se separan del agua y del amoníaco. Los alquitranes y los finos se extraen del separador de alquitrán 51 a través del conducto 63 y se pasan al mezclador 45. Se forma una emulsión de alquitrán y agua en el mezclador 45 como resultado de la mezcla del alquitrán y los finos con agua procedente del conducto 64. El agua tiene un pH que se ajusta aproximadamente al de la biomasa que se introduce en la sección de lecho fluido 20a del gasificador 20. La emulsión de alquitrán y agua se extrae del mezclador 45 a través del conducto 46, y se pone en contacto con un gas de fluidización procedente del conducto 18b. La emulsión y el gas de fluidización a continuación se pasan a través de la bomba 2 y se introducen en la sección de lecho fluido

20a del gasificador 20 a través del conducto 47, con lo que el alquitrán y la biomasa fresca o en bruto se someten a oxidación parcial en las condiciones descritas anteriormente.

5 El agua y el amoníaco se extraen del separador de alquitrán 51 a través del conducto 52, y pasan al separador 54, en el que el amoníaco se separa del agua. El amoníaco se extrae del separador 54 a través del conducto 53. Entonces el amoníaco se puede procesar adicionalmente para eliminar cualquier resto de agua, o se puede enviar, junto con la biomasa pretratada, a la sección de lecho fluido 20a del gasificador 20.

10 El agua se extrae del separador 54 a través del conducto 55. Si se desea, el agua se puede pasar al calderín 60 para facilitar la eliminación de todo el amoníaco que pueda quedar en el agua. El agua y el amoníaco se calientan en el calderín 60 haciendo pasar un fluido caliente, tal como un aceite térmico caliente, a través del calderín 60 en el conducto 62. El fluido calienta el agua y amoníaco, y sale del calderín 60 a través del conducto 62 en forma de fluido frío. El agua calentada y el amoníaco se extraen del calderín 60 a través del conducto 61 y se recirculan al separador 54, en el que el amoníaco se separa del agua calentada.

15 Cuando se completa la separación del amoníaco y el agua, el agua se extrae del separador 54 a través del conducto 55, pasa a través del conducto 56, se enfría en el enfriador 57, y se hace pasar a través de la bomba 7 y hacia el conducto 58. Una parte del agua en el conducto 58 se extrae como agua de purga a través del conducto 59. Dicha agua de purga se puede someter a un tratamiento adicional, y a continuación se enviará al conducto 27 para enfriar el gas de síntesis en bruto en el conducto 26. El agua que queda en el conducto 58 se pasa al depurador 40 para la depuración del amoníaco, alquitranes, y finos, del gas de síntesis.

20 Las descripciones de todas las patentes y publicaciones, incluyendo solicitudes de patente publicadas, se incorporan en este documento por referencia en la misma medida en que si se incorporase cada patente y publicación individual por referencia.

25 Sin embargo, se ha de entender que el ámbito de la presente invención no está limitado a las realizaciones específicas descritas anteriormente. La invención se puede poner en práctica de forma distinta a la descrita en particular y aun así estar dentro del ámbito de las reivindicaciones adjuntas.

30

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para producir gas de síntesis a partir de biomasa, que comprende:
 - 5 (a) poner en contacto dicha biomasa con un agente oxidante que comprende oxígeno y vapor, en el que dicho oxígeno está presente en una cantidad eficaz para oxidar dicha biomasa y para calentar dicha biomasa a una temperatura de al menos 500 °C y no superior a 750 °C;
 - (b) tratar al menos una parte de dicha biomasa oxidada producida en la etapa (a) con un agente oxidante que comprende oxígeno y vapor en una primera etapa para calentar dicha biomasa oxidada a una temperatura que es de al menos 800 °C y no superior a 850 °C; y
 - 10 (c) tratar al menos una parte de dicha biomasa oxidada con un agente oxidante que comprende oxígeno y vapor en una segunda etapa para calentar dicha biomasa a una temperatura que es de al menos 900 °C y no superior a 1000 °C, produciendo así gas de síntesis; y
 - (d) recuperar dicho gas de síntesis producido en la etapa (c).
- 15 2. 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.
- 20 3. El proceso de la reivindicación 2 en el que, en la etapa (a), dicha biomasa se calienta a una temperatura de 600 °C a 725 °C.
- 25 4. El proceso de la reivindicación 1 en el que, en la etapa (a), dicha biomasa se pone en contacto con dicho oxígeno a una relación ponderal de oxígeno a biomasa de 0,20 a 0,35 de la relación ponderal estequiométrica necesaria para la combustión completa de dicha biomasa.
5. El proceso de la reivindicación 4 en el que, en la etapa (a), dicha biomasa se pone en contacto con dicho oxígeno a una relación ponderal de oxígeno a biomasa de 0,20 a 0,30 de la relación ponderal estequiométrica necesaria para la combustión completa de dicha biomasa.
- 30 6. El proceso de la reivindicación 5 en el que, en la etapa (a), dicha biomasa se pone en contacto con dicho oxígeno a una relación ponderal de oxígeno a biomasa de 0,25 a 0,30 de la relación ponderal estequiométrica necesaria para la combustión completa de dicha biomasa.
- 35 7. El proceso de la reivindicación 1 en el que, en la etapa (a), dicha biomasa se pone en contacto con dicho oxígeno y dicho vapor en un lecho fluidizado de material en forma de partículas.
8. El proceso de la reivindicación 1 en el que, en la etapa (a), dicha biomasa se pone en contacto con oxígeno y vapor en ausencia de nitrógeno.
- 40 9. El proceso de la reivindicación 1 en el que, en las etapas (b) y (c), dicha biomasa oxidada se pone en contacto con oxígeno y vapor en ausencia de nitrógeno.
- 45 10. El proceso de la reivindicación 1 en el que, en la etapa (c) dicha biomasa oxidada se calienta a una temperatura de entre 925 °C y 975 °C.
- 50 11. El proceso de la reivindicación 1 en el que dicho gas oxidante, en la etapa (a), además comprende dióxido de carbono.
12. El proceso de la reivindicación 11 en el que dicho dióxido de carbono está presente en dicho gas oxidante en la etapa (a) en una cantidad que no supera el 20 % en volumen.
13. El proceso de la reivindicación 12 en el que dicho dióxido de carbono está presente en dicho gas oxidante en la etapa (a) en una cantidad de entre el 10 % en volumen y el 20 % en volumen.
- 55 14. El proceso de la reivindicación 13 en el que el oxígeno está presente en dicho gas oxidante en la etapa (a) en una cantidad de entre el 30 % en volumen y el 40 % en volumen, el dióxido de carbono está presente en dicho gas oxidante en la etapa (a) en una cantidad de entre el 10 % en volumen y el 20 % en volumen, y el resto de dicho gas oxidante en la etapa (a) es esencialmente vapor.
- 60 15. El proceso de la reivindicación 1 en el que dicho gas oxidante, en las etapas (b) y (c), además comprende dióxido de carbono.
- 65 16. El proceso de la reivindicación 15 en el que dicho dióxido de carbono está presente en dicho gas oxidante en las etapas (b) y (c) en una cantidad que no supera el 20 % en volumen.
17. El proceso de la reivindicación 16 en el que dicho dióxido de carbono está presente en dicho gas oxidante en las etapas (b) y (c) en una cantidad de entre el 10 % en volumen y el 20 % en volumen.

18. El proceso de la reivindicación 17 en el que el oxígeno está presente en dicho gas oxidante en las etapas (b) y (c) en una cantidad de entre el 30 % en volumen y el 40 % en volumen, el dióxido de carbono está presente en dicho gas oxidante en las etapas (b) y (c) en una cantidad de entre el 10 % en volumen y el 20 % en volumen, y el resto de dicho gas oxidante en las etapas (b) y (c) es esencialmente vapor.

5

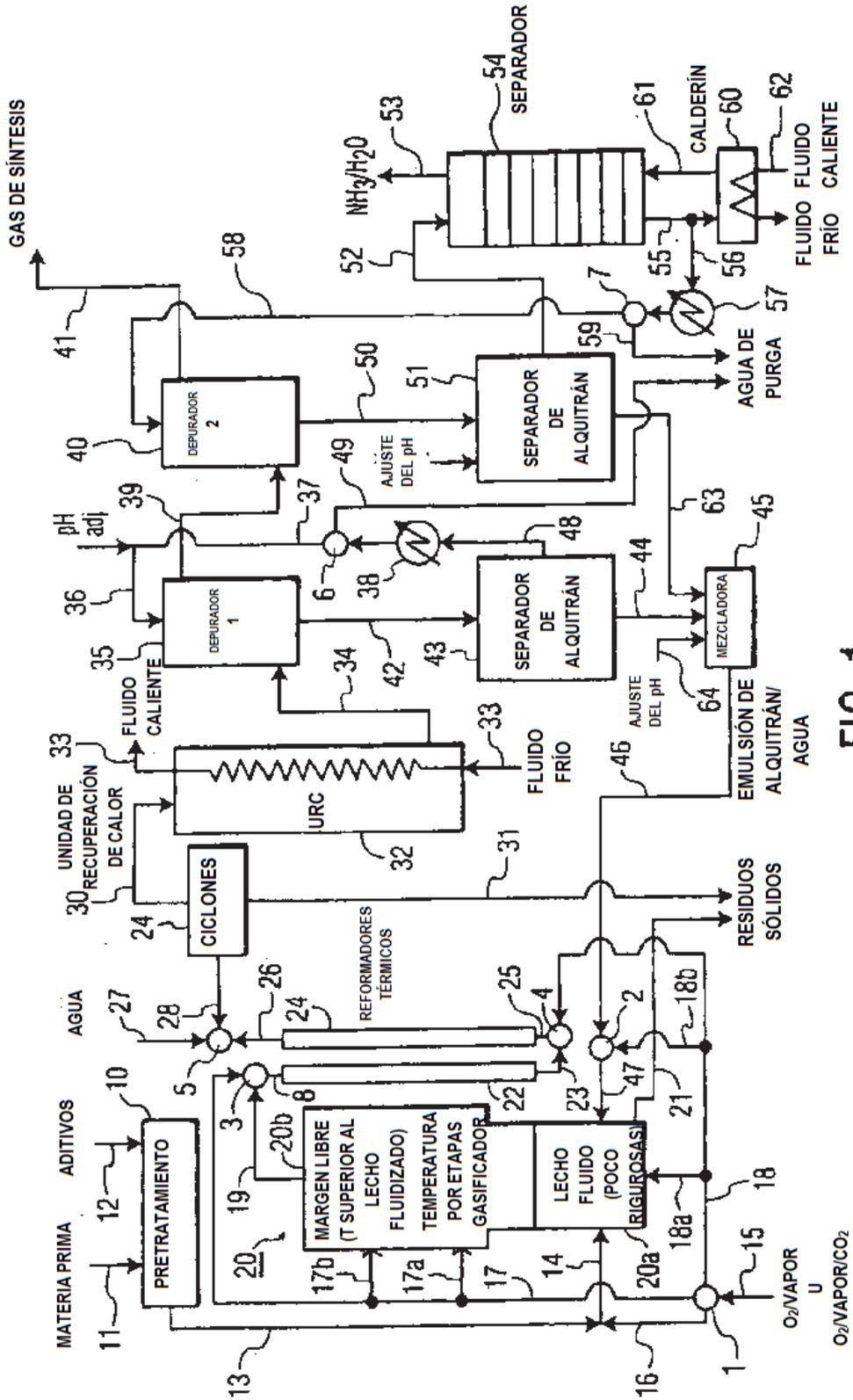


FIG. 1