

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 824 506**

51 Int. Cl.:

C01B 3/34 (2006.01)

C10J 3/72 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.12.2017** **E 17208262 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.09.2020** **EP 3498665**

54 Título: **Método para la producción de gas de síntesis**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.05.2021

73 Titular/es:

CLARIANT INTERNATIONAL LTD (100.0%)
Rothausstrasse 61
4132 MuttENZ, CH

72 Inventor/es:

DREISER, CHRISTIAN;
WACHSEN, OLAF;
LADE, OLIVER;
BRAND, STEFAN y
STEFANIDIS, GEORGIOS

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 824 506 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

Método para la producción de gas de síntesis

La presente invención se refiere a un método para la producción de gas de síntesis. En particular, la presente invención está dirigida a un método de producción de gas de síntesis utilizando un plasma caliente, tal como un plasma de microondas, gasificación de desechos sólidos o líquidos, con inclusión de biomasa.

La gasificación se define comúnmente como conversión termoquímica de materiales sólidos o líquidos basados en carbono en un producto gaseoso combustible. Las tecnologías de gasificación establecidas, tales como gasificadores de lecho fijo, lecho fluidizado o flujo arrastrado sopladados con aire u oxígeno, operan en un intervalo de 800°C a 1400°C y utilizan un agente de gasificación para la conversión. El producto, conocido comúnmente como gas de síntesis, contiene monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H₂) así como impurezas tales como alquitranes, compuestos orgánicos volátiles o semi-volátiles, azufre, amoníaco, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, cloruro de hidrógeno y cenizas. Los altos niveles de impurezas requieren depuración intensiva en costes del gas de síntesis para su procesamiento ulterior. Las tecnologías comunes de gasificación están dedicadas a especies de materiales y distribución estrecha del tamaño de partícula, así como contenido bajo de humedad, costes de pretratamiento y complejidad crecientes. Adicionalmente, la operación a temperaturas altas requiere un quemador, combustible, tuberías y otras instalaciones. El precalentamiento requerido de los gasificadores comunes da como resultado tiempos importantes de puesta en marcha y éstos son por consiguiente eficientes únicamente cuando operan constantemente durante periodos de tiempo largos.

Una alternativa es la gasificación por medio de plasma, el cual es generado por una fuente de energía externa. El plasma, tales como gas fuertemente ionizado, contiene un número importante de partículas cargadas eléctricamente y está clasificado como el cuarto estado de la materia. Dado que el plasma contiene un número igual de cargas libres positivas y negativas, es eléctricamente neutro.

Los procesos en plasma pueden clasificarse en líneas generales en procesos en plasma térmico y caliente. Los plasmas térmicos y de antorcha de arco operan a temperatura muy alta o requieren la utilización de electrodos con una vida útil limitada, aumentando los requerimientos de materiales y los intervalos de mantenimiento (WO 2012/39751 A2, US 2010/0199557 A1).

Los sistemas de plasma caliente, tales como el plasma de microondas, pueden estar muy lejos del equilibrio termodinámico al proporcionar concentraciones extremadamente altas de especies químicamente activas a temperaturas másicas concurrentes bajas. Otras ventajas del plasma de microondas son el funcionamiento sin electrodos o combustibles adicionales y conversión en una atmósfera con bajo contenido de oxígeno (EP 2 163 597 A1).

Las tecnologías de gasificación comunes convierten materias primas fósiles, tales como el carbón, en gas de síntesis. La incineración de desechos peligrosos para la reducción o destrucción masiva de patógenos y toxinas antes de su enterramiento en vertederos es muy conocida, incluyendo la aplicación de plasma (CN 204824145 U, WO 2011/14118 A2). Los conceptos de desechos para energía utilizan la energía térmica del proceso de conversión como calor o convierten los combustibles en electricidad en una central eléctrica. Sin embargo, con respecto a la cambiante situación mundial de las materias primas, está aumentando el interés en la utilización de nuevos materiales y fuentes de energía como alternativa a los materiales fósiles. La utilización primaria de la biomasa, como energía neutra en CO₂, por combustión para obtener energía y calor, así como la conversión en biocombustibles como el biodiesel se realizan en gran escala. Un método para utilización de biomasa o desechos para obtención de productos de conversión tales como gas de síntesis para productos de valor añadido, sigue siendo un desafío debido a los inconvenientes mencionados anteriormente de las tecnologías de gasificación y las variaciones en la calidad de las materias primas de base biológica, así como la necesidad de una fuente de hidrógeno adicional, necesaria para los procesos de conversión ulteriores.

En los procesos de biocombustibles existentes, una gran cantidad de biomasa consistente principalmente en lignina es difícil de convertir en combustible y se utiliza, v.g. térmicamente por secado intensivo antes de la combustión. Una conversión de valor añadido por gasificación en gas de síntesis y posible conversión ulterior en combustible o electricidad sería beneficiosa para el funcionamiento global de tales plantas de biocombustible.

Se conocen ya varios métodos y dispositivos para la conversión catalítica en plasma de materiales.

El documento WO 2015/051893 A1 da a conocer un método y dispositivo de este tipo para convertir eductos que contienen hidrocarburos, tales como hidrocarburos gaseosos o líquidos, por medio de un plasma en materiales de base química.

WO 2016/040969 A1 da a conocer un método y un dispositivo para la producción de gas de síntesis a partir de un material de desecho que contiene carbono, por ejemplo, a partir de material de desecho orgánico sólido. En este método, dicho material de desecho se introduce en una cámara de reacción y se somete en ella a pirólisis térmica. El gas de síntesis y los materiales residuales sólidos se descargan de la cámara de reacción y se procesan ulteriormente sometiéndolos a tratamiento en plasma.

EP 2 915 869A1 da a conocer un gasificador de flujo arrastrado que utiliza temperaturas en plasma integrado inferiores a 3500°C en el compartimiento de gasificación. Este sistema puede utilizarse para procesar materiales sólidos o líquidos, tales como serrín, a fin de convertir este material en gas de síntesis.

5 DE 10 2011 051 906 A1 da a conocer un método y un dispositivo para la gasificación de carbón o de materiales sólidos que contienen carbono junto con vapor de agua y dióxido de carbono. Este método comprende la introducción de vapor de agua y dióxido de carbono en un reactor de gasificación, la introducción del material sólido en forma de partículas en dicho reactor y formación de un lecho fluidizado a partir de estos materiales, y el tratamiento de dichos materiales en dicho reactor con un plasma rotativo.

10 EP 1 419 220 B1 da a conocer una pirólisis y vitrificación en plasma de material orgánico, tal como material de desecho sólido de diversas fuentes. El reactor comprende un lecho carbono-catalizador que se calienta por medio de un plasma generado por varios generadores de arco de plasma que están dispuestos en círculo alrededor de dicho lecho carbono-catalizador.

US 2008/0296294 A1 da a conocer un aparato y un método para producción de hidrógeno a partir de hidrocarburos gaseosos, líquidos o sólidos que implican la utilización de una antorcha vapor-plasma.

15 Si bien estos métodos y dispositivos conocidos permiten la generación de gas de síntesis a partir de material de desecho, existe todavía necesidad de una tecnología de gasificación altamente eficiente que sea flexible con respecto a la calidad y cantidad del material de alimentación, el tamaño de partícula y el contenido de humedad.

Por consiguiente, es deseable un método para la conversión en condiciones flexibles de materiales de desecho en gas de síntesis, preferiblemente de biomasa en gas de síntesis mediante gasificación en plasma.

20 Adicionalmente, se desea un método de conversión de material de desecho en gas de síntesis que sea fácil de implementar y utilice reactores disponibles fácilmente.

La presente invención se refiere a un proceso para la producción de gas de síntesis mediante gasificación en plasma de materiales sólidos o líquidos que contienen carbono o hidrocarburos, que comprende las etapas:

- 25 (i) proporcionar un material de alimentación sólido y/o líquido que comprende material en forma de partículas que contiene carbono o hidrocarburos o una mezcla de ambos,
- (ii) proporcionar un gas portador y combinarlo con el material de alimentación sólido o líquido,
- (iii) alimentar dicho material de alimentación sólido o líquido y dicho gas portador como corriente de alimentación a un reactor que comprende una cámara de reacción o a un vaporizador que está dispuesto aguas arriba de dicho reactor,
- 30 (iv) introducir en el reactor un gas turbulento que gira alrededor de la corriente de alimentación y cubre las paredes interiores del reactor,
- (v) tratar dicha corriente de alimentación aguas abajo de la introducción del gas turbulento en el reactor con un plasma caliente para generar una corriente de producto que comprende gas de síntesis a partir de dicho material que contiene carbono o hidrocarburos en la cámara de reacción,
- 35 (vi) retirar la corriente de producto de la cámara de reacción, y
- (vii) separar los componentes sólidos de los componentes gaseosos de la corriente de producto.

40 En el proceso de esta invención pueden utilizarse diversos materiales sólidos y/o líquidos que contienen carbono o que contienen hidrocarburos. Ejemplos de posibles materiales de alimentación son biomasa, carbón, hidrocarburos, materia orgánica, desechos urbanos, polímeros, materiales que contienen celulosa, materiales que contienen lignina, tales como lignina bruta Sunliquid®, y mezclas de los mismos.

Ejemplos de materiales de alimentación preferidos son

Lignina pura:

- Composición elemental en %: 61.68 C, 5.58 H, 26.93 O, 1.29 N, 2.06 S, 2.19 cenizas
- 45 - Humedad 3.03% en peso
- Tamaño medio de partícula 75 µm

Lignina bruta Clariant Sunliquid®

- Composición elemental en %: 47.5 C, 6 H, 31.3 O, 1.2 N, 0.1 S, 13.9 cenizas
- 50

- Humedad 3% en peso
- Tamaño medio de partícula 400 μm (fracción de tamizado < 1000 μm) y 100 μm (fracción de tamizado < 200 μm)

Celulosa (Sigma Aldrich)

- 5
 - Composición elemental en %: 44.7C, 6.31 H, 48.75 O, 0.19 N, 0.01 S, 0.04 cenizas
 - Humedad 0.94% en peso
 - Tamaño medio de partícula 50 μm
- 10 El material de alimentación utilizado en el método de esta invención es un material en forma de partículas.
 Típicamente, el tamaño medio de partícula del material de alimentación sólido o líquido está comprendido entre 0.01 mm y 10 mm, preferiblemente entre 0.01 mm y 2 mm, todavía más preferiblemente entre 0.02 mm y 2 mm y muy preferiblemente entre 0.05 mm y 1 mm.
- 15 El material de alimentación utilizado en el método de esta invención puede ser seco o húmedo. Preferiblemente, se utiliza un material de alimentación húmedo, especialmente un material de alimentación que contiene agua. Típicamente, el contenido de agua u otro líquido del material de alimentación está comprendido entre 0.05% en peso y 95% en peso, preferiblemente entre 0.05% en peso y 80% en peso, todavía más preferiblemente entre 0.05% en peso y 50% en peso, y muy preferiblemente entre 0.1% en peso y 30% en peso, refiriéndose a la cantidad total de material de alimentación.
- 20 En una realización preferida del proceso de la invención, el material de alimentación sólido y/o líquido que contiene carbono o hidrocarburos se combina con un líquido seleccionado del grupo que consiste en agua, disolventes orgánicos o combinaciones de los mismos. Preferiblemente, se añade agua al material de alimentación sólido y/o líquido que contiene carbono o hidrocarburos.
- 25 En otra realización preferida del proceso de la invención, el material de alimentación sólido o líquido se hace pasar por un vaporizador que está dispuesto aguas arriba de la cámara de reacción. En esta realización, se utiliza preferiblemente material de alimentación líquida que se vaporiza antes del tratamiento con plasma en la cámara de reacción.
- 30 El material de alimentación sólido y/o líquido en forma de partículas que contiene carbón o hidrocarburos se combina con un gas portador. Este gas tiene la función de transportar el material de alimentación en forma de partículas al reactor. Se pueden utilizar diversos tipos de gas portador. Ejemplos de gas portador son gases inertes, gases que contienen oxígeno o gas de síntesis. Preferiblemente, se utilizan gases que contienen oxígeno. Éstos son típicamente oxígeno o preferiblemente aire. Otros gases preferidos son gases que comprenden oxígeno y otros gases, tales como nitrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrocarburos, gas de síntesis, preferiblemente gas derivado de la corriente de producto del proceso de inventiva, o aire que contiene vapor de agua.
- 35 El gas portador puede combinarse con el material de alimentación antes de su introducción en el reactor o en la entrada del reactor. El gas portador puede añadirse al material de alimentación por una o más tuberías que descargan el gas portador en la corriente del material de alimentación. La o las tuberías pueden estar equipadas con toberas en el punto de descarga.
- 40 En el proceso de esta invención se utiliza un gas turbulento que protege las paredes del dispositivo de gasificación contra las especies reactivas generadas por el tratamiento con plasma contenidas en el material de alimentación. La composición del gas turbulento puede ser la misma que la composición del gas portador. Preferiblemente, el gas turbulento debería ser inerte, dado que no participa en la reacción. Ello reduciría el contenido de NO_x y de CO_2 de la corriente de producto y reduciría también las pérdidas térmicas, dado que el CO_2 y el vapor de agua absorben/emiten radiación. Gases inertes preferidos son nitrógeno o gases nobles, v.g. argón. No obstante, también puede utilizarse
- 45 aire o una combinación de vapor de agua y aire como gas turbulento.
- En el proceso de esta invención, el gas turbulento puede introducirse en el reactor a la entrada del reactor o en una posición aguas abajo del mismo, pero por encima del punto en que se trata el material de alimentación con el plasma caliente. El gas turbulento puede añadirse al reactor por una o más tuberías que descargan el gas turbulento en el reactor, de tal manera que la corriente material de alimentación-gas portador esté confinada por el gas turbulento.
- 50 Preferiblemente, están disponibles varias tuberías que introducen el gas turbulento en el reactor de manera circular, de tal modo que el gas turbulento crea un confinamiento de la corriente material de alimentación-gas portador y se mueve de manera helicoidal entre la pared interna del reactor y la corriente material de alimentación-gas portador. Preferiblemente, las tuberías que introducen el gas turbulento en el reactor están equipadas con toberas en el punto de descarga.
- 55 Las condiciones típicas para el gas portador y el gas turbulento utilizadas en realizaciones preferidas del proceso de

esta invención son como sigue:

- flujo de gas portador: 5 - 10 NI/min
- flujo de gas turbulento: 20-30 NI/min
- composición del gas turbulento y el gas portador: ratio aire/N₂ = 0.4 en volumen
- flujo total de gas (portador + turbulento): 25 - 35 NI/min

El plasma utilizado en el proceso de esta invención es un plasma caliente que está muy lejos del equilibrio termodinámico, sea porque la temperatura de los iones es diferente de la temperatura de los electrones, o porque la distribución de velocidad de una de las especies no sigue una distribución Maxwell-Boltzmann.

Un plasma caliente puede generarse utilizando diversos métodos, tales como la utilización de una descarga de arco deslizante, un lápiz de plasma, una aguja de plasma, un chorro de plasma, una descarga de barrera dieléctrica, una descarga de barrera resistiva, una descarga piezoeléctrica directa, una descarga luminiscente o, preferiblemente, utilizando una generación de plasma de microondas.

Un plasma de microondas puede ser un plasma caliente a aproximadamente la presión atmosférica o superior, pero no a baja presión.

Preferiblemente, el plasma caliente es un plasma generado por microondas dentro de un intervalo de presión entre 1 y 5 bar, preferiblemente entre 1.1 y 2 bar.

En una realización preferida del proceso de inventiva, el plasma se excita con un campo de microondas contenido en una guía de ondas.

Las condiciones típicas para las condiciones de gasificación en realizaciones preferidas del proceso de esta invención que utilizan plasma generado por microondas son las siguientes:

- alimentación sólida = menor que 1.5 g/s, preferiblemente 0.09 - 0.13 g/s
- ratio O₂ a alimentación sólida = menor que 1.0 molar, preferiblemente 0.1 - 0.5 molar y muy preferiblemente alrededor de 0.3 molar
- la ratio de equivalencia ER está comprendida entre 0.2 y 0.5, preferiblemente alrededor de 0.4 (ratio real de aire a combustible dividida por la ratio teórica (estequiometría))
- potencia neta de las microondas = menor que 6000 W, preferiblemente 1000 - 3000 W, y muy preferiblemente 1860 - 2500 W, controlada, por ejemplo, por una temperatura media de pared menor que 1000°C, preferiblemente 300 - 800°C, y muy preferiblemente alrededor de 500°C
- presión media en la cámara de reacción 1-5 bar, preferiblemente alrededor de 1.2 bar
- temperatura del gas a la salida de la cámara de reacción = 600 - 1500°C, preferiblemente 1100 - 1150°C

Después del tratamiento de la corriente de alimentación con el plasma caliente, el gas de síntesis producido, el gas portador, el gas turbulento y el material que no ha reaccionado se retiran de la cámara de reacción, seguido por la separación del material que no ha reaccionado de los componentes gaseosos del medio que fluye a través del reactor.

Esto puede realizarse haciendo pasar el medio fluyente por un medio de filtro que separa los componentes sólidos de los componentes gaseosos o invirtiendo la dirección de flujo de los componentes gaseosos y recogiendo los componentes sólidos.

Preferiblemente, el reactor es un tubo interior vertical, a través del cual la corriente material de alimentación-gas portador confinada por el gas turbulento fluye desde arriba hacia abajo y se trata con el plasma caliente durante esta etapa. En el fondo de este tubo interior se invierte la dirección de flujo de los componentes gaseosos de esta corriente y los componentes gaseosos se introducen en un tubo de salida que envuelve el tubo interior del reactor. Los componentes gaseosos salen del reactor fluyendo desde la parte inferior del tubo de salida a la parte superior del tubo de salida y se descargan desde ésta. En cambio, los componentes sólidos de la corriente, por ejemplo, cenizas y sólidos no convertidos, que salen del tubo interior del reactor, se recogen por debajo de la salida de dicho tubo interior del reactor. Estos componentes sólidos se mueven de arriba abajo controlados por gravedad y se descargan en el fondo del ensamblaje del reactor.

En una realización preferida del proceso de esta invención, la corriente gaseosa de material de alimentación y la corriente de gas portador se introducen en un reactor tubular vertical por un medio de alimentación de material de alimentación y por un medio de alimentación de gas portador que están instalados en la parte superior del reactor

tubular, aguas abajo del medio de alimentación de material de alimentación y del medio de alimentación de gas portador, y el gas turbulento se introduce en el reactor tubular por un medio de alimentación de gas turbulento y aguas abajo del medio de alimentación de gas turbulento se tratan las corrientes de gas con un plasma caliente.

Los componentes gaseosos descargados del reactor comprenden gas de síntesis, gas portador, gas turbulento y opcionalmente otros componentes gaseosos de la corriente, por ejemplo, vapor de agua. Una vez que se ha descargado la corriente gaseosa del reactor, dicha corriente se somete a tratamiento. Por ejemplo, la corriente gaseosa descargada puede tratarse en una operación de depuración del gas que elimina las partículas de polvo residuales y/o puede tratarse para eliminar oxígeno residual utilizando una parte del hidrógeno presente en el gas de síntesis.

- 10 El proceso de la presente invención proporciona varios beneficios. Sorprendentemente, se ha descubierto ahora que
- este proceso proporciona una alternativa de gas de síntesis sostenible y "verde" mediante la producción de diversos materiales de alimentación en forma de partículas, incluida biomasa renovable y energía renovable
 - el proceso es tolerante a diversas materias primas, que incluyen tamaño de partícula y humedad; puede procesarse alimentación "húmeda", por lo que, la ratio H_2/CO se puede ajustar haciendo posibles las tecnologías Power-to-X (siendo X gas de síntesis, calor, electricidad u otros productos valiosos), dado que no se requiere fuente de H_2 adicional para el procesamiento ulterior aguas abajo
 - la puesta en marcha del proceso es muy rápida; por tanto, se hace posible el tratamiento pico de materiales de alimentación y también de la generación de electricidad, esta tecnología permite la gestión de cargas pico, así como el almacenamiento químico de electricidad pico; puesta en marcha rápida beneficiosa en comparación con la gasificación convencional, dado que no es necesario el precalentamiento del gasificador
 - la energía de microondas puede utilizarse directamente a temperaturas relativamente bajas y la ausencia de necesidad de antorchas es beneficiosa para los requerimientos de materiales, y, además, dependiendo de los materiales de alimentación, no se requieren agentes oxidantes o combustibles adicionales
 - la depuración in situ con plasma oxígeno/aire es posible y rápida.
 - es posible un proceso autárquico para aplicación descentralizada en combinación v.g. con pilas de combustible de óxido sólido
 - el proceso no utiliza electrodo alguno para la generación del plasma
 - el proceso no precisa antorchas dado que el reactor propiamente dicho es la "antorcha"
 - el proceso utiliza temperaturas más bajas en comparación con el plasma de arco convencional. Esto implica una mayor eficiencia exergética, menos formación de carbono, menos emisión de NO_x y operación más segura
 - el proceso es flexible con respecto al gas portador (por ejemplo, aire, N_2 , CO_2 , vapor, reciclo de parte del producto). Esto hace posible una composición de producto ajustable, v.g. la ratio H_2/CO
 - el proceso permite un aumento de escala/disminución de escala flexible basado en el ajuste de la frecuencia de las microondas. Esencialmente, el sistema puede hacerse modular
 - el proceso permite una alta eficiencia de la conversión de energía eléctrica en calor (por ejemplo, alrededor de 90%) si el reactor se aísla adecuadamente
 - a diferencia de otros procesos de la técnica anterior, el proceso de la invención no requiere precalentamiento alguno del gas portador/turbulento o de los sólidos antes del procesamiento principal en el reactor de plasma
 - la alimentación de sólidos se conduce a través del reactor de plasma aguas arriba del punto de ignición y, por tanto, se trata a lo largo de toda la longitud de la zona de plasma, lo que intensifica la conversión del material de alimentación en el régimen operativo de tasas de flujo en el cual el plasma es estable. En los procesos de la técnica anterior, los sólidos entran en el reactor desde un puerto lateral aguas abajo del punto de ignición. Como resultado, el tiempo de contacto de los sólidos con el plasma es mucho menor y el tratamiento es menos intenso, dado que la región alrededor del punto de ignición es la más caliente y más reactiva.

En una realización preferida del proceso de la invención se utiliza un material de alimentación sólido que comprende material en forma de partículas que contiene hidrocarburos, preferiblemente lignina o un material que contiene lignina, muy preferiblemente madera.

- 50 En otra realización preferida del proceso de la invención, se alimenta un material en forma de partículas que contiene carbono o un material en forma de partículas que contiene hidrocarburos desde una vasija de almacenamiento por un

medio de transporte, preferiblemente por un transportador de tornillo, se combina con aire como gas portador y se introduce en la parte superior de un reactor tubular vertical.

En otra realización preferida del proceso de la invención, un material que contiene carbono o un material que contiene hidrocarburos se tritura antes de introducirlo en el reactor, y/o dicho material se humidifica por adición de agua o se reduce el contenido de agua de dicho material por secado de dicho material.

En otra realización preferida del proceso de la invención, después del tratamiento con el plasma caliente la corriente de producto se somete a un enfriamiento rápido, por ejemplo, mediante introducción de dicha corriente de producto en un tubo de enfriamiento. Dicho tubo puede estar equipado, por ejemplo, con medios de enfriamiento en el exterior de dicho tubo, por ejemplo, utilizando un tubo con aletas o utilizando un tubo que está equipado con medios de intercambio de calor.

En otra realización preferida del proceso de la invención, se produce gas de síntesis a partir de material de desecho sólido o líquido, con inclusión de biomasa, mediante gasificación en plasma de microondas utilizando un reactor tubular vertical. El material de desecho utilizado se alimenta desde una vasija de almacenamiento con un transportador de tornillo y entra en la configuración de plasma de microondas por la parte superior con un gas portador. El material de desecho requiere potencialmente molienda, secado o humectación de la composición aspirada antes del procesamiento. Se sopla un gas turbulento dentro del reactor por un conjunto de toberas para contener el plasma centrífugamente. El plasma se excita con un campo de microondas, contenido en una guía de

ondas. El material de desecho se convierte en gas de síntesis al entrar en contacto con el plasma. Los sólidos no convertidos y las cenizas se recogen bajo el reactor, mientras que los productos gaseosos salen del reactor y se someten a depuración del gas.

El proceso de la presente invención se puede realizar en un reactor que es conocido generalmente en la técnica anterior. Un ejemplo de un reactor se da a conocer en www.tudelft.nl/reinventthetoilet (folleto: syngas/gas cleaning).

La corriente de gas de síntesis producida en el proceso de la presente invención puede utilizarse en una pila de combustible de óxido sólido, en otros procesos de conversión térmicos, químicos o catalíticos, o en combinaciones de los mismos.

Ejemplos

Los ejemplos que siguen se proponen para ilustrar el objeto de la invención sin restringirlo a los mismos.

En la tabla 1 siguiente se presentan ejemplos de composición del material de alimentación.

Tabla 1: Ejemplo de composiciones del material de alimentación

	Ej.1	Ej.2	Ej.3	Ej.4
Composición Molar (%)	Lignina Pura	Lignina bruta Clariant I	Lignina bruta Clariant II	Celulosa
C	61.68	47.5	47.5	44.7
H	5.58	6	6	6.31
O	26.93	31.3	31.3	48.75
N	1.29	1.2	1.2	0.19
S	2.06	0.1	0.1	0.01
Cenizas	2.19	13.9	13.9	0.04
Tamaño medio de partícula (µm)	75	400	100	50
Humedad (% en peso)	3.03	3	3	0.94

Ejemplo de métodos de utilización

Las composiciones del material de alimentación de los Ejemplos Ej. 1 a 4 pueden gasificarse utilizando las condiciones de gasificación ilustrativas siguientes.

Tabla 2: Ejemplo de condiciones de gasificación

	Ej. 1	Ej. 2	Ej. 3	Ej. 4	Ej. 5
flujo portador (NI/min)	5	5	5	7.5	10
flujo turbulento (NI/min)	30	25	20	27.5	25
flujo total (NI/min)	35	30	25	35	35
ratio aire/N2 (en volumen)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
alimentación sólida (g/s)	0.13	0.11	0.09	0.13	0.13
comentario	caso base	variación de flujo total		variación de ratio de flujo	

La gasificación descrita en la tabla 2 se ha realizado en un reactor de gasificación con la configuración siguiente:

- 5 La biomasa entra en el reactor por la parte superior con un gas portador. El reactor es un tubo interior dispuesto verticalmente. Dentro del reactor se sopla un gas turbulento por un conjunto de toberas para retener el plasma centrífugamente. El plasma se excita con un campo de microondas contenido en una guía de ondas. El contacto del plasma con la biomasa convierte el material de alimentación de biomasa en gas de síntesis. Las cenizas y los sólidos no convertidos se recogen en la parte baja del reactor, mientras que los productos gaseosos salen del reactor por un tubo exterior que envuelve el tubo interior. Los productos gaseosos se procesan por una depuración simple del gas,
- 10 después de lo cual el gas se acondiciona para un análisis por cromatografía de gases fuera de la línea.

La siguiente tabla muestra los resultados transitorios exento de N₂ para arranque rápido y condiciones de estado estacionario

Tiempo (segundos)	H ₂ [% molar]	CO [% molar]	CO ₂ [% molar]	O ₂ [% molar]	CH ₄ [% molar]
30	0.29	0.29	0.00	0.43	0.00
60	0.33	0.47	0.07	0.13	0.00
90	0.25	0.50	0.13	0.13	0.00
120	0.25	0.50	0.19	0.06	0.00
150	0.28	0.50	0.17	0.06	0.00
180	0.30	0.50	0.15	0.05	0.00

- 15 En la tabla siguiente, se muestran la composición exenta de N₂, O₂ y CH₄ de la corriente de producto gas de síntesis después de la gasificación utilizando el material de alimentación del Ej. 2 de la tabla 1 y las condiciones de gasificación de la tabla 2.

Tabla 2: Condiciones de gasificación

	H ₂ [% molar]	CO [% molar]	CO ₂ [% molar]	H ₂ /CO ₂ -
Ej. 1	38.0	53.0	9.0	0.72
Ej. 2	34.7	50.3	15.0	0.69
Ej. 3	41.3	53.0	5.6	0.78
Ej. 4	36.6	55.7	7.8	0.66
Ej. 5	31.2	50.0	18.7	0.62

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para la producción de gas de síntesis mediante gasificación en plasma de material sólido y/o líquido que contiene carbono o hidrocarburos, que comprende las etapas de:
 - (i) proporcionar un material de alimentación sólido y/o líquido que comprende material en forma de partículas que contiene carbono o hidrocarburos o una mezcla de ambos,
 - (ii) proporcionar un gas portador y combinarlo con el material de alimentación sólido o líquido,
 - (iii) alimentar dicho material de alimentación sólido o líquido y dicho gas portador como corriente de alimentación a un reactor que comprende una cámara de reacción o a un vaporizador que está dispuesto aguas arriba de dicho reactor,
 - (iv) introducir un gas turbulento en el reactor que gira alrededor de la corriente de alimentación y cubre las paredes interiores del reactor,
 - (v) tratar dicha corriente de alimentación aguas abajo de la introducción del gas turbulento en el reactor con un plasma caliente para generar una corriente de producto que comprende gas de síntesis de dicho material que contiene carbono o hidrocarburos en la cámara de reacción,
 - (vi) eliminar la corriente de producto de la cámara de reacción, y
 - (vii) separar los componentes sólidos de los componentes gaseosos de la corriente de producto.
2. El proceso según la reivindicación 1, en el que el material de alimentación se selecciona de biomasa, carbón, hidrocarburos, materia orgánica, desechos urbanos, polímeros, materiales que contienen celulosa, materiales que contienen lignina y mezclas de los mismos.
3. El proceso según la reivindicación 2, en el que el material de alimentación comprende lignina o un material que contiene lignina, preferiblemente madera.
4. El proceso según al menos una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el material de alimentación utilizado tiene un diámetro medio de partícula entre 0.01 mm y 10 mm, preferiblemente entre 0.01 mm y 2 mm, todavía más preferiblemente entre 0.02 mm y 2 mm y muy preferiblemente entre 0.05 mm a 1 mm.
5. El proceso según la reivindicación 4, en el que el material de alimentación utilizado está seco o preferiblemente húmedo.
6. El proceso según la reivindicación 5, en el que el material de alimentación utilizado es un material de alimentación que contiene agua.
7. El proceso según al menos una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el gas portador es aire o aire que contiene vapor de agua.
8. El proceso según al menos una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el gas turbulento es un gas inerte, preferiblemente nitrógeno o un gas noble.
9. El proceso según al menos una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el gas turbulento es aire o aire que contiene vapor de agua.
10. El proceso según al menos una de las reivindicaciones 1 a 9, en el que el material de alimentación sólido o líquido se hace pasar por un vaporizador que está dispuesto aguas arriba de la cámara de reacción.
11. El proceso según al menos una de las reivindicaciones 1 a 10, en el que el plasma caliente es un plasma generado por microondas.
12. El proceso según la reivindicación 11, en el que el plasma generado por microondas se encuentra en un intervalo de presión entre 1 y 5 bar, preferiblemente entre 1,1 y 2 bar.
13. El proceso según al menos una de las reivindicaciones 1 a 12, en el que un material en forma de partículas que contiene carbono o un material en forma de partículas que contiene hidrocarburos se alimenta desde una vasija de almacenamiento por un medio de transporte, se combina con aire como gas portador y se introduce en la parte superior de un reactor tubular vertical.
14. El proceso según al menos una de las reivindicaciones 1 a 13, en el que un material que contiene carbono o un material que contiene hidrocarburos se tritura antes de la introducción del mismo en el reactor y/o en el que dicho material se humidifica por adición de agua o en el que el contenido de agua de dicho material se reduce por secado del material.

- 5 15. El proceso según al menos una de las reivindicaciones 1 a 14, en el que la corriente de gas del material de alimentación y la corriente de gas portador se introducen en un reactor tubular vertical por un medio de alimentación del material de alimentación y por un medio de alimentación del gas portador que están instalados en la parte superior del reactor tubular, aguas abajo del medio de alimentación del material de alimentación y del medio de alimentación del gas portador, se introduce el gas turbulento en el reactor tubular por un medio de alimentación de gas turbulento y, aguas abajo del medio de alimentación de gas turbulento, se tratan las corrientes de gas con un plasma caliente.
16. El proceso según al menos una de las reivindicaciones 1 a 15, en el que la corriente de producto después del tratamiento con el plasma caliente se somete a enfriamiento rápido.