

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 720 508**

51 Int. Cl.:

C10J 3/00 (2006.01)

C10J 3/72 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.09.2014 PCT/US2014/055904**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.03.2015 WO15042055**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.09.2014 E 14776805 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.02.2019 EP 3046996**

54 Título: **Proceso de descomposición térmica para reducir la formación de aglomerados**

30 Prioridad:

17.09.2013 US 201361878940 P
10.09.2014 US 201414482318

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.07.2019

73 Titular/es:

JUPENG BIO (HK) LIMITED (100.0%)
1/F, Hing Lung Commercial Building
68-74 Bonham Strand
Sheung Wan, Hong Kong, CN

72 Inventor/es:

OCFEMIA, KIM CARLO S. y
BELL, PETER SIMPSON

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 720 508 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

Proceso de descomposición térmica para reducir la formación de aglomerados.

5 Un proceso proporciona la reducción de la formación de aglomerados durante la descomposición térmica de una materia prima de material carbonoso. Más específicamente, el proceso es eficaz para reducir la formación de aglomerados al controlar las cantidades de oxígeno y el tiempo de residencia de la materia prima, al mejorar la dispersión de oxígeno.

10 Antecedentes

Los procesos de descomposición térmica, a menudo denominados gasificación, incluyen procesos que son eficaces para convertir la materia prima carbonosa, como desechos sólidos municipales (MSW) o carbón, en un gas combustible. El gas se puede utilizar para generar electricidad, vapor o como materia prima básica para producir productos químicos y combustibles líquidos. Los documentos WO 2007/131241, GB 2476899 y EP 1696177, por ejemplo, describen cada uno la gasificación de materia prima carbonosa en gasificadores horizontales.

El proceso de descomposición térmica incluye la alimentación de materia prima carbonosa en una cámara calentada (el gasificador) junto con una cantidad controlada y/o limitada de oxígeno y, opcionalmente, vapor. Contrariamente a la incineración o combustión, que operan con exceso de oxígeno para producir CO₂, H₂O, SO_x y NO_x, los procesos de descomposición térmica producen una composición de gas crudo que incluye CO y H₂. Más específicamente, el proceso de descomposición térmica implica una oxidación parcial o una oxidación con poco aire de material carbonoso en el que se suministra una cantidad de oxígeno subestequiométrica al proceso de gasificación para promover la producción de monóxido de carbono como se describe en el documento WO 2009/154788. El éxito de un proceso de gasificación depende en gran medida de la calidad del gas de síntesis producido. El contenido incrementado de monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H₂) es deseable en el gas de síntesis producido.

Los medios para lograr un proceso de descomposición térmica varían de muchas maneras, pero tienden a depender de varios factores de ingeniería importantes: la atmósfera (nivel de contenido de oxígeno o aire o vapor) en el gasificador; el diseño del gasificador; los medios de calefacción internos y externos; y la temperatura de funcionamiento del proceso. Los factores que afectan la calidad del gas producido incluyen: composición de la materia prima, preparación y tamaño de partícula; tasa de calentamiento del gasificador; tiempo de residencia; la configuración de la planta, que incluye si emplea un sistema de alimentación seca o de suspensión, la geometría de flujo de reactivo-materia prima, el diseño del sistema de eliminación de cenizas secas o escoria mineral; si utiliza un método de transferencia y generación de calor directa o indirecta; y el sistema de limpieza de gas de síntesis. La gasificación se realiza, en general, a una temperatura en el intervalo de aproximadamente 650 °C a 1200 °C, ya sea al vacío, a presión atmosférica o a presiones de hasta aproximadamente 100 atmósferas.

A medida que la materia prima se calienta en un proceso de descomposición térmica, los materiales carbonosos en la materia prima se convierten en CO, CO₂ y H₂. La sustancia mineral en la materia prima junto con cualquier material carbonoso no convertido o carbono no convertido forman ceniza. En los gasificadores que operan a alta temperatura (> 1200 °C) o en sistemas con una zona de alta temperatura, la materia mineral inorgánica se fusiona o se vitrifica para formar una sustancia similar al vidrio fundido llamada escoria.

45 La cantidad y la composición de las cenizas (por ejemplo, el contenido de carbono) pueden tener un impacto sobre el buen funcionamiento del proceso de descomposición, así como sobre la eliminación de las cenizas. La fusión y aglomeración de las cenizas en el gasificador puede causar escombros y la formación de clínker que puede llevar a un bloqueo parcial o completo del gasificador.

50 Resumen

Un proceso proporciona un mejor rendimiento del gasificador al reducir la formación de aglomerados durante la descomposición térmica de una materia prima de material carbonoso. La formación reducida de aglomerados en el gasificador permite un mayor tiempo de funcionamiento del gasificador y facilita la limpieza del gasificador. El proceso reduce la formación de aglomerados mientras mantiene una calidad de gas de síntesis útil para la posterior fermentación de gas de síntesis.

Un proceso de descomposición térmica no catalítica incluye proporcionar una materia prima generalmente sólida a una unidad de descomposición térmica y mover la materia prima a través de al menos una zona de gasificación en la unidad de descomposición térmica con al menos un pistón de transferencia. El proceso incluye mover el pistón de transferencia a una velocidad efectiva para proporcionar un tiempo de retención de materia prima en la zona de gasificación de aproximadamente 0,25 horas a aproximadamente 3 horas. El proceso incluye proporcionar oxígeno y, opcionalmente, un gas adicional a un frente del pistón de transferencia a una tasa de 0,24 a 0,73 g-mol/h-cm² (0,5 a 1,5 lb-mol/h-pie²). Cuando el proceso incluye el uso del gas adicional, el oxígeno y el gas adicional suministrados al frente del pistón de transferencia tienen una relación en peso de aproximadamente 3:1 a aproximadamente 1:2.

En realizaciones preferidas, el proceso de descomposición térmica incluye, además, mover la materia prima desde la al menos una zona de gasificación a al menos una zona de combustión y mover la materia prima a través de la al menos una zona de combustión con al menos un pistón de ceniza. El al menos un pistón de ceniza se mueve a una tasa efectiva para proporcionar un tiempo de retención de la materia prima en la zona de combustión de aproximadamente 0,5 horas a aproximadamente 10 horas. El proceso incluye el transporte de gas desde la al menos una zona de gasificación y al menos una zona de combustión hasta una zona de destrucción de alquitrán para formar un gas de síntesis. El proceso de descomposición térmica es eficaz para proporcionar un gas de síntesis que tenga un contenido de CO de aproximadamente el 20% en moles o más y para proporcionar un gas de síntesis que tenga una relación CO/CO₂ de al menos 0,75.

Breve descripción de las figuras

Lo anterior y otros aspectos, características y ventajas de varios aspectos del proceso serán más evidentes a partir de las siguientes figuras.

La Figura 1 es un diagrama esquemático de un aparato de descomposición térmica que incluye una zona de gasificación y una zona de combustión.

La Figura 2 es un diagrama esquemático de un aspecto de un aparato de descomposición térmica que incluye una zona de gasificación y una zona de combustión, en donde la zona de gasificación incluye cuatro secciones o chimeneas.

La Figura 3 es un diagrama esquemático de un aspecto de un aparato de descomposición térmica que incluye una zona de gasificación, una zona de combustión y una zona de reducción de alquitrán, en donde la zona de gasificación incluye cinco secciones o chimeneas.

La Figura 4A ilustra una vista lateral de un pistón de transferencia y la Figura 4B ilustra una vista frontal de un frente del pistón de transferencia.

La Figura 5 ilustra el flujo de material a través de una unidad de descomposición térmica.

La Figura 6 muestra una vista en perspectiva de un pistón de transferencia.

La Figura 7 muestra la composición de gas de síntesis derivada de diferentes fuentes.

Los caracteres de referencia correspondientes indican los componentes correspondientes en las distintas vistas de los dibujos. Los expertos en la técnica apreciarán que los elementos en las figuras se ilustran por simplicidad y claridad y no necesariamente han sido dibujados en escala. Por ejemplo, las dimensiones de algunos de los elementos en las figuras pueden ser exageradas con respecto a otros elementos para ayudar a mejorar la comprensión de varios aspectos del presente proceso y aparato. Además, los elementos comunes pero bien entendidos que son útiles o necesarios en aspectos comercialmente viables a menudo no se representan para facilitar una visión menos obstruida de estos diversos aspectos.

Descripción detallada

La siguiente descripción no se debe interpretar en un sentido limitativo, sino que se hace simplemente con el propósito de describir los principios generales de las realizaciones de ejemplo. El alcance de la invención debe determinarse con referencia a las reivindicaciones.

Definiciones

A menos que se defina lo contrario, los siguientes términos, como se usan a lo largo de esta especificación para la presente divulgación, se definen de la siguiente manera y pueden incluir la forma singular o plural de las definiciones que se definen a continuación:

El término "aproximadamente" que modifica cualquier cantidad se refiere a la variación en esa cantidad encontrada en condiciones reales, por ejemplo, en el laboratorio, planta piloto o instalación de producción. Por ejemplo, una cantidad de un ingrediente o medida empleada en una mezcla o cantidad cuando se modifica por "aproximadamente" incluye la variación y el grado de cuidado típicamente empleado en la medición en una condición experimental en una planta de producción o laboratorio. Por ejemplo, la cantidad de un componente de un producto cuando se modifica por "aproximadamente" incluye la variación entre lotes en varios experimentos en la planta o laboratorio y la variación inherente en el método analítico. Ya sea modificadas o no por "aproximadamente", las cantidades incluyen equivalentes de esas cantidades. Cualquier cantidad establecida en este documento y modificada por "aproximadamente" también se puede emplear en la presente descripción como la cantidad no modificada por "aproximadamente".

“Material carbonoso”, como se usa en el presente documento, se refiere a material rico en carbono, como carbón y productos petroquímicos. Sin embargo, en esta especificación, material carbonoso incluye cualquier material de carbono, ya sea en estado sólido, líquido, gas o plasma. Entre los numerosos artículos que pueden considerarse material carbonoso, la presente divulgación contempla: material carbonoso, producto líquido carbonoso, reciclaje de líquidos industriales carbonosos, residuos sólidos municipales carbonosos (MSW o msw), residuos urbanos carbonosos, material agrícola carbonoso, material forestal carbonoso, residuos de madera carbonosos, materiales de construcción carbonosos, material vegetal carbonoso, residuos industriales carbonosos, residuos de fermentación carbonosos, productos petroquímicos carbonosos, coproductos derivados de la producción de alcohol carbonoso, carbón carbonoso, neumáticos, plásticos, residuos de plástico, alquitrán de coque, Fibersoft, lignina, licor negro, polímeros, polímeros de desecho, tereftalato de polietileno (PETA), poliestireno (PS), lodos de lavado, residuos animales, residuos de cultivos, cultivos energéticos, residuos de procesamiento forestal, residuos de procesamiento de madera, residuos de ganado, residuos de aves, residuos de procesamiento de alimentos, residuos de procesos fermentativos, coproductos de etanol, granos gastados, microorganismos gastados, o sus combinaciones.

El término “fibersoft” o “Fibersoft” o “fibrosoft” o “fibrousoft” significa un tipo de material carbonoso que se produce como resultado del ablandamiento y la concentración de varias sustancias; en un ejemplo, el material carbonáceo se produce mediante autoclave al vapor de diversas sustancias. En otro ejemplo, la fibra puede incluir autoclave a vapor de desechos municipales, industriales, comerciales y médicos que dan como resultado un material fibroso blando.

La expresión “residuos sólidos municipales” o “MSW” o “msw” significa residuos que pueden incluir desechos domésticos, comerciales, industriales y/o residuales.

La expresión “singás” o “gas de síntesis” significa gas de síntesis que es el nombre dado a una mezcla de gases que contiene cantidades variables de monóxido de carbono e hidrógeno. Ejemplos de métodos de producción incluyen el reformado con vapor de gas natural o hidrocarburos para producir hidrógeno, la gasificación de carbón y en algunos tipos de instalaciones de gasificación de residuos a energía. El nombre proviene de su uso como intermedios en la creación de gas natural sintético (SNG) y para producir amoníaco o metanol. El gas de síntesis es combustible y se usa a menudo como una fuente de combustible o como un intermedio para la producción de otros productos químicos.

“Ton” o “tonelada” se refiere a una tonelada corta de los Estados Unidos, es decir, de aproximadamente 907,2 kg (2000 lb).

Además del carbono y el hidrógeno, las materias primas incluirán cierta cantidad de material no combustible inorgánico, a menudo referido por el término “ceniza”, que se separa durante la combustión completa o parcial de la materia prima. A ciertas temperaturas, la ceniza puede fundirse para formar aglomerados o “escoria”. El proceso por el cual se forma la escoria se denomina “escorificación”.

Diseño y operación del gasificador

Con referencia ahora a la Figura 1, el aparato 10 de descomposición térmica incluye una zona 103 de gasificación y una zona 200 de combustión. La zona de gasificación puede incluir una entrada para agregar gas (por ejemplo, gas que contiene oxígeno, vapor, dióxido de carbono), entrada 102; y la zona de combustión puede incluir una entrada para agregar gas, la entrada 202. La zona 103 de gasificación recibe la materia prima de material 101 carbonoso. Un pistón 710 de transferencia mueve un lecho de material de la materia prima a través del aparato de descomposición térmica. Un frente del pistón 715 de transferencia puede recibir gas (por ejemplo, gas que contiene oxígeno, vapor, dióxido de carbono) y puede permitir que el gas salga por su frente.

Se puede eliminar una corriente de ceniza 205 sólida de la zona 200 de combustión. Un pistón 720 de transferencia de ceniza puede sacar la ceniza del gasificador. Un frente de pistón 725 de transferencia de ceniza puede recibir gas (por ejemplo, gas que contiene oxígeno, vapor, dióxido de carbono) y permitir que el gas salga por su frente. Se puede eliminar una corriente 105 de gas de síntesis de la zona 103 de gasificación.

Con referencia ahora a la Figura 2, el aparato 11 de gasificación incluye una zona 113 de gasificación y una zona 230 de combustión. Como se muestra en este aspecto, la zona 113 de gasificación incluye cuatro chimeneas de gasificación: chimenea I 310, chimenea II 320, chimenea III 330 y chimenea IV 340. En otros aspectos, la zona de gasificación puede incluir de 1 a 10 chimeneas. Una o más de las chimeneas de gasificación pueden incluir un pistón 710 de transferencia. Un frente de pistón 715 de transferencia puede recibir gas y permitir que el gas salga por su frente.

Cada chimenea de gasificación incluye una entrada para agregar gas: la entrada de gas 111 a la chimenea I, la entrada de gas 121 a la chimenea II, la entrada de gas 131 a la chimenea III y la entrada de gas 141 a chimenea IV. La zona de combustión incluye una entrada para agregar gas: entrada de gas 202. Se puede agregar una materia prima de material 101 carbonoso en la chimenea I (chimenea de entrada) de la zona 113 de gasificación. Se puede eliminar una corriente de ceniza 205 sólida de la zona 230 de combustión. Se puede utilizar un pistón 720 de

transferencia de ceniza para sacar la ceniza del gasificador. Un frente del pistón 725 de transferencia de ceniza puede recibir gas y permitir que el gas salga por su frente. Se puede eliminar una corriente 105 de gas de síntesis de la zona 113 de gasificación.

5 Haciendo referencia ahora a la Figura 3, el aparato de gasificación 13 incluye una zona 143 de gasificación, una zona 500 de combustión, una zona 300 de conexión o garganta y una zona 400 de reducción de alquitrán. La zona 143 de gasificación incluye cinco chimeneas de gasificación: chimenea I 110, chimenea II 120, chimenea III 130, chimenea IV 140 y chimenea V 150. Cada chimenea de gasificación incluye una entrada para agregar gas: entrada 611 de gas a la chimenea I, entrada 621 de gas a la chimenea II, entrada 631 de gas a la chimenea III, entrada 641 de gas a la chimenea IV y entrada 651 de gas a la chimenea V. La zona de combustión incluye una entrada para agregar gas: entrada 202 de gas. La zona 300 de conexión o garganta incluye una entrada para agregar gas: entrada 301 de gas.

15 Se puede agregar una alimentación de material 101 carbonoso a la chimenea I (chimenea de entrada) de la zona 143 de gasificación. Una o más de las chimeneas de gasificación pueden incluir un pistón 710 de transferencia. Un frente del pistón 715 de transferencia puede recibir gas y permitir que el gas salga en su frente. Se puede eliminar una corriente de ceniza 205 sólida de la zona 500 de combustión. Se puede utilizar un pistón 720 de transferencia de ceniza para sacar la ceniza del gasificador. Un frente del pistón 725 de transferencia de ceniza puede recibir gas y permitir que el gas salga por su frente. Se puede eliminar una corriente de gas de síntesis 405 de la zona 400 de reducción de alquitrán.

25 En la Figura 4A, se muestra una vista lateral más detallada de un pistón de ceniza. Una zona 103 de gasificación puede incluir un pistón 710 de transferencia. El material de alimentación desde la chimenea de alimentación 820 se pone en contacto con el frente del pistón 715 de transferencia. Una varilla 800 de encendido se extiende desde el frente del pistón 715 de transferencia y se introduce en el material de alimentación. La varilla de encendido puede crear un vacío en el material delante del frente del pistón 715 de transferencia. El gas introducido debajo de las varillas 800 de encendido puede difundirse a través del material en una ruta 803 de difusión de gas.

30 La Figura 4B ilustra una vista frontal del pistón 710 de transferencia. El pistón 710 de transferencia incluye un frente del pistón 715 de transferencia y varillas 800 de encendido que se extienden desde el frente del pistón 715 de transferencia. En este aspecto, el pistón 715 de transferencia puede incluir de aproximadamente 1 a aproximadamente 10 varillas 800 de encendido, en otro aspecto, de aproximadamente 2 a aproximadamente 8 varillas de encendido, en otro aspecto, de aproximadamente 3 a aproximadamente 6 varillas de encendido, y en otro aspecto, de aproximadamente 4 a aproximadamente 5 varillas de encendido. En otro aspecto, el frente del pistón 715 de transferencia puede incluir boquillas 810 de gas situadas generalmente debajo de cada varilla 800 de encendido.

40 La Figura 5 ilustra aspectos más detallados de una unidad de descomposición térmica 15. En este aspecto, la materia prima 101 se mueve a un crisol 820 de alimentación y luego a un crisol principal de una zona 103 de gasificación. Un pistón 710 de transferencia mueve el material a través de la zona 103 de gasificación. Una varilla 800 de encendido puede extenderse desde el pistón 710 de transferencia al material. El material se mueve hacia un colector 850 de cenizas. La ceniza 205 sólida se transporta hacia un receptor 860 de cenizas mediante un pistón 720 de transferencia de cenizas. En un aspecto, la materia prima 101 sigue una trayectoria 840 de material a través de la unidad 15 de descomposición térmica. En otro aspecto, el gas 900 puede suministrarse al pistón 710 de transferencia y/o al pistón 720 de transferencia de cenizas. Se puede eliminar una corriente 105 de gas de síntesis de la zona 103 de gasificación.

50 En un aspecto, un dispositivo móvil se mueve a una velocidad efectiva para proporcionar un tiempo de retención de la materia prima 101 en la zona 103 de gasificación de aproximadamente 0,25 horas a aproximadamente 3 horas, en otro aspecto, de aproximadamente 0,25 a aproximadamente 2 horas, en otro aspecto, de aproximadamente 0,25 horas a aproximadamente 1,5 horas, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 1,25 horas, y en otro aspecto, de aproximadamente 0,75 a aproximadamente 1 hora. Un dispositivo móvil puede incluir, por ejemplo, un pistón de transferencia, alimentación de tornillo y combinaciones de los mismos. Como se muestra en la Figura 5, el dispositivo de transferencia es un pistón 710 de transferencia.

55 En la Figura 6, se muestra una vista en perspectiva del pistón de transferencia. Como se muestra, el pistón 710 de transferencia incluye las varillas 800 de encendido que se extienden desde el frente del pistón 715 de transferencia y se extienden hasta el material de alimentación. Las varillas 800 de encendido son efectivas para crear un área de difusión de gas efectiva en la materia prima. El área de difusión de gas efectiva se puede determinar de acuerdo con la siguiente fórmula.

60 Área efectiva de difusión de gas = $(A_1 + A_2 + A_3) \times$ (número de varillas de encendido)

65 donde

ES 2 720 508 T3

$$A_1 = (\text{HVARILLA}) \times (\text{LVARILLA})$$

$$A_2 = (\text{HVARILLA}) \times (\text{LVARILLA})$$

$$5 \quad A_3 = (\text{HVARILLA}) \times (\text{DVARILLA}) - 1/2(\pi D^2 \text{VARILLA}/4)$$

donde HVARILLA es la altura de la varilla de encendido, medida desde la parte inferior del frente del pistón de transferencia hasta el punto medio de la varilla de encendido; y

10 LVARILLA es la longitud de la varilla de encendido.

En este aspecto, el proceso es eficaz para proporcionar un área de difusión de gas efectiva para una sola varilla de encendido ($A_1 + A_2 + A_3$) de aproximadamente 0,009 m² a aproximadamente 0,037 m² (aproximadamente 0,1 pie² a aproximadamente 0,4 pie²), en otro aspecto, aproximadamente 0,012 m² a aproximadamente 0,035 m² (aproximadamente 0,125 pie² a aproximadamente 0,375 pie²), en otro aspecto, aproximadamente 0,014 m² a aproximadamente 0,033 m² (aproximadamente 0,15 pie² a aproximadamente 0,35 pie²), y en otro aspecto, aproximadamente 0,019 m² a aproximadamente 0,028 m² (aproximadamente 0,2 pie² a aproximadamente 0,3 pie²).

Materia prima: de acuerdo con el proceso, la materia prima suministrada al gasificador forma un lecho de material móvil dentro del gasificador. Una temperatura del lecho de material produce escoriificación. En este aspecto, el proceso es eficaz para mantener una temperatura del lecho de material que no exceda aproximadamente los 1260 °C (aproximadamente 2300 °F) en cualquier punto del lecho de material; en otro aspecto, la temperatura del lecho de material no excede aproximadamente los 1204 °C (aproximadamente 2200 °F), en otro aspecto, aproximadamente los 1149 °C (aproximadamente 2100 °F), en otro aspecto, aproximadamente los 1093 °C (aproximadamente 2000 °F), en otro aspecto, aproximadamente los 1038 °C (aproximadamente 1900 °F), en otro aspecto, aproximadamente los 982 °C (aproximadamente 1800 °F), en otro aspecto, aproximadamente los 927 °C (aproximadamente 1700 °F), en otro aspecto, aproximadamente los 871 °C (aproximadamente 1600 °F), en otro aspecto, aproximadamente los 816 °C (aproximadamente 1500 °F), y en otro aspecto, la temperatura del lecho de material no excede aproximadamente los 760 °C (aproximadamente 1400 °F). La temperatura se puede medir por cualquier método conocido, incluyendo, por ejemplo, el uso de termocuplas que se insertan en el lecho de material. La temperatura del gas de síntesis crudo se puede medir en una sección de la garganta (por ejemplo, 300 en la Figura 3).

En diversos aspectos, el lecho de material tiene una temperatura y el gas de síntesis crudo puede tener las siguientes temperaturas.

temperatura del lecho de material

de aproximadamente 260 °C a aproximadamente 1093 °C
(de aproximadamente 500 °F a aproximadamente 2000 °F)
de aproximadamente 260 °C a aproximadamente 927 °C
(de aproximadamente 500 °F a aproximadamente 1700 °F)
de aproximadamente 316 °C a aproximadamente 816 °C
(de aproximadamente 600 °F a aproximadamente 1500 °F)
de aproximadamente 371 °C a aproximadamente 677 °C
(de aproximadamente 700 °F a aproximadamente 1250 °F)
de aproximadamente 427 °C a aproximadamente 538 °C
(de aproximadamente 800 °F a aproximadamente 1000 °F)
de aproximadamente 454 °C a aproximadamente 510 °C
(de aproximadamente 850 °F a aproximadamente 950 °F)

temperatura del gas de síntesis crudo

de aproximadamente 204 °C a aproximadamente 871 °C
(de aproximadamente 400 °F a aproximadamente 1600 °F)
de aproximadamente 204 °C a aproximadamente 760 °C
(de aproximadamente 400 °F a aproximadamente 1400 °F)
de aproximadamente 260 °C a aproximadamente 677 °C
(de aproximadamente 500 °F a aproximadamente 1250 °F)
de aproximadamente 316 °C a aproximadamente 538 °C
(de aproximadamente 600 °F a aproximadamente 1000 °F)
de aproximadamente 343 °C a aproximadamente 454 °C
(de aproximadamente 650 °F a aproximadamente 850 °F)
de aproximadamente 371 °C a aproximadamente 427 °C
(de aproximadamente 700 °F a aproximadamente 800 °F)

En otro aspecto, el lecho de material tiene una temperatura promedio de aproximadamente 427 °C a aproximadamente 538 °C (aproximadamente 800 °F a aproximadamente 1000 °F), en otro aspecto, aproximadamente 454 °C a aproximadamente 510 °C (de aproximadamente 850 °C a aproximadamente 950 °F), en otro aspecto, de aproximadamente 468 °C a aproximadamente 496 °C (aproximadamente 875 °F a aproximadamente 925 °F), y en otro aspecto, de aproximadamente 482 °C (aproximadamente 900 °F). La variación de la temperatura a través del lecho de material es menor que aproximadamente 167 °C (aproximadamente 300 °F), en otro aspecto, menor que aproximadamente 139 °C (aproximadamente 250 °F), en otro aspecto, menor que aproximadamente 111 °C (aproximadamente 200 °C) °F), en otro aspecto, menor que aproximadamente 83 °C (aproximadamente 150 °F), y en otro aspecto, menor que aproximadamente 55 °C (aproximadamente 100 °F). Se puede determinar una temperatura promedio midiendo la temperatura del lecho de material en las ubicaciones en el lecho de material indicado a continuación y luego promediando esas temperaturas.

50 1 a 6 ubicaciones a aproximadamente 50 mm (aproximadamente 2 pulgadas) frente al pistón de transferencia;

1 a 6 ubicaciones a aproximadamente 360 mm (aproximadamente 14 pulgadas) frente al pistón de transferencia;

ES 2 720 508 T3

1 a 6 ubicaciones a aproximadamente 510 mm (aproximadamente 20 pulgadas) frente al pistón de transferencia;

1 a 6 ubicaciones a aproximadamente 660 mm (aproximadamente 26 pulgadas) frente al pistón de transferencia y

5 1 a 6 ubicaciones a aproximadamente 810 mm (aproximadamente 32 pulgadas) frente al pistón de transferencia

Materia prima/oxígeno: se introduce una alimentación de material carbonoso en el gasificador. Se suministra un primer gas molecular que contiene oxígeno a la zona de gasificación y, por lo tanto, la alimentación del material carbonoso se trata con oxígeno molecular para iniciar y facilitar la transformación química del material carbonoso.

10 Una porción de la alimentación de material carbonoso se gasifica para producir un primer producto gaseoso. El suministro de oxígeno al gasificador se controla para promover preferentemente la formación de monóxido de carbono a partir de material carbonoso. Se suministra una cantidad subestequiométrica de oxígeno para promover la producción de monóxido de carbono. En un aspecto, se proporciona oxígeno a la zona de gasificación a una velocidad de aproximadamente 0,24 a aproximadamente 0,73 g-mol/h-cm² (aproximadamente 0,5 a aproximadamente 1,5 lb-mol/h -pie²), y en otro aspecto, de aproximadamente 0,37 a aproximadamente 0,61 g-mol/h-cm² (de aproximadamente 0,75 a aproximadamente 1,25 lb-mol/h -pie²).

20 En otro aspecto, se proporciona oxígeno a la zona de gasificación a una tasa efectiva para proporcionar una relación de O₂ a área:carbono de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 0,5, y en otro aspecto, de aproximadamente 0,2 a aproximadamente 0,4. En este aspecto, las relaciones efectivas se determinaron de acuerdo con los siguientes parámetros.

Incluye 4 boquillas de gas por pistón de transferencia.

25 El diámetro de la varilla era de 38 mm (0,125 pies).

La elevación de la varilla era de 51 mm (0,167 pies).

La alimentación sólida era de 36 kg/h (80 lb/h).

30 El % en peso de carbono era de 40,1, o 14,55 kg/h (32,08 lb/h), o 1,212 kg-mol/h (2,673 (lb-mol/h))

Pistón de transferencia O ₂ kg/h (lb/h)	Pistón de transferencia O ₂ kg-mol/h (lb-mol/h)	Largo del pistón de transferencia m (ft)	Área efectiva m ² (ft ²)	O ₂ a área kg/h-m ² (lb/h-pie ²)	O ₂ a área kg-mol/h- m ² (lb-mol/h-pie ²)	O ₂ a carbono kg/kg	O ₂ a carbono (mol/mol)
5,4 (12)	0,17 (0,38)	0,101 (0,333)	0,043 (0,465)	125,92 (25,791)	3,935 (0,806)	0,374	0,140
8,2 (18)	0,25 (0,56)	0,101 (0,333)	0,043 (0,465)	188,89 (38,687)	5,903 (1,209)	0,561	0,210
10,9 (24)	0,34 (0,75)	0,101 (0,333)	0,043 (0,465)	251,85 (51,582)	7,870 (1,612)	0,748	0,281
5,4 (12)	0,17 (0,38)	0,305 (1,0)	0,126 (1,354)	43,27 (8,862)	1,352 (0,277)	0,374	0,140
8,2 (18)	0,25 (0,56)	0,305 (1,0)	0,126 (1,354)	64,90 (13,292)	2,026 (0,415)	0,561	0,210
10,9 (24)	0,34 (0,75)	0,305 (1,0)	0,126 (1,354)	86,53 (17,723)	2,705 (0,554)	0,748	0,281

35 Gas adicional: pueden crearse puntos calientes indeseables en la unidad de descomposición térmica en una o más de la zona de gasificación y la zona de combustión, o chimeneas contenidas dentro, debido a la distribución desigual del gas que contiene oxígeno molecular en la alimentación de material carbonoso. Esto puede causar mala calidad en el gas de síntesis bruto producido. Los puntos calientes también pueden causar la fusión localizada de las cenizas. La formación de puntos calientes puede reducirse o prevenirse proporcionando uno o más gases adicionales a la zona de gasificación y/o la zona de combustión. En este aspecto, el gas adicional puede incluir CO₂, vapor, nitrógeno, metano y mezclas de los mismos. Se proporcionan oxígeno y un gas adicional en una relación en peso de aproximadamente 3:1 a aproximadamente 1:2, y en otro aspecto, una relación en peso de aproximadamente 3:2 a aproximadamente 1:1.

En un aspecto, para prevenir puntos calientes indeseables, la alimentación de material carbonoso se puede tratar con vapor junto con oxígeno molecular en la zona de gasificación. La alimentación de material carbonoso se puede tratar con gas CO₂ junto con oxígeno molecular en la zona de gasificación. La alimentación de material carbonoso se puede tratar con vapor junto con oxígeno molecular en la zona de combustión. La alimentación de material carbonoso puede tratarse con gas CO₂ junto con oxígeno molecular en la zona de combustión. Por lo tanto, el primer gas molecular que contiene oxígeno puede incluir uno o más de vapor y dióxido de carbono y el segundo gas molecular que contiene oxígeno puede incluir uno o más de vapor y gas dióxido de carbono.

Zona de combustión: en un aspecto, se utilizan uno o más pistones de transferencia (pistones de eliminación de cenizas) en la zona de combustión para eliminar cenizas sólidas. Se pueden emplear varios métodos para eliminar las cenizas sólidas de la zona de combustión. En un aspecto, se usa un sello de agua en el que un pistón de extracción de cenizas empuja las cenizas sólidas hacia una piletta con agua, usando agua como un sello para minimizar, preferiblemente evitar, la fuga de aire en la zona de combustión. La ceniza húmeda se saca del agua utilizando una cinta transportadora. En otro aspecto, la ceniza se elimina a través de un sistema de bloqueo de tolva para minimizar, preferiblemente evitar la fuga de aire en la zona de combustión. Por ejemplo, las puertas dobles de ceniza que comprenden una puerta de ceniza superior y una puerta de ceniza inferior se pueden usar para proporcionar el sello. En un aspecto, manteniendo la puerta de ceniza inferior cerrada para proporcionar un sello, la puerta de ceniza superior se abre para permitir que la ceniza caiga hacia abajo en una zona de no combustión en la que la ceniza puede enfriarse. Para eliminar la ceniza, la puerta superior de la ceniza se cierra primero para proporcionar el sello y luego la puerta inferior de la ceniza se abre y un pistón de extracción de ceniza empuja la ceniza enfriada hacia fuera del gasificador. Este método elimina la ceniza seca y puede tener ventajas si la ceniza tiene un uso directo, ya que no se requiere secado antes de dicho uso directo de la ceniza. En un aspecto, la materia prima se mueve a través de la zona de combustión a una velocidad efectiva para proporcionar un tiempo de retención de la materia prima en la zona de combustión de aproximadamente 0,5 horas a aproximadamente 10 horas, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 horas a aproximadamente 8 horas, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 horas a aproximadamente 7 horas, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 horas a aproximadamente 6 horas, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 horas a aproximadamente 5 horas, en otro aspecto, de aproximadamente 1 hora a aproximadamente 4 horas, y en otro aspecto, de aproximadamente 2 horas a aproximadamente 3 horas.

Se produce gas de síntesis crudo que puede incluir monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂). Es deseable tener más CO y menos CO₂ en el gas de síntesis crudo. En un aspecto, la relación molar de CO/CO₂ en dicho gas de síntesis crudo es mayor que aproximadamente 0,75. En un aspecto, la relación molar de CO/CO₂ en dicho gas de síntesis crudo es mayor que aproximadamente 1,0. En un aspecto, la relación molar de CO/CO₂ en dicho gas de síntesis crudo es mayor que aproximadamente 1,5. El gas de síntesis puede incluir monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂). Es deseable tener más CO y menos CO₂ en el gas de síntesis caliente. En un aspecto, la relación molar de CO/CO₂ en dicho gas de síntesis caliente es mayor que aproximadamente 0,75. En un aspecto, la relación molar de CO/CO₂ en dicho gas de síntesis caliente es mayor que aproximadamente 1,0. En un aspecto, la relación molar de CO/CO₂ en dicho gas de síntesis caliente es mayor que aproximadamente 1,5.

Además de contener materia mineral no carbonosa, la ceniza sólida puede incluir carbono no convertido o materia carbonosa no convertida. En un aspecto, el contenido de carbono de dicha ceniza sólida es inferior a aproximadamente el 10% en peso. En un aspecto, el contenido de carbono de ceniza sólida es inferior al 5% en peso. En un aspecto, la relación entre el contenido de carbono de ceniza sólida y el contenido de carbono de la alimentación de material carbonoso es inferior a aproximadamente 0,1. En un aspecto, la relación entre el contenido de carbono de ceniza sólida y el contenido de carbono de la alimentación de material carbonoso es inferior a aproximadamente 0,01.

El contenido de carbono de las cenizas y el contenido de carbono de la alimentación de material carbonoso se refiere al carbono o un producto químico que contiene carbono. En este aspecto, pueden utilizarse numerosas técnicas conocidas para medir el contenido de carbono. Algunos ejemplos de técnicas que se pueden usar para medir el carbono incluyen y no están limitadas a pruebas de pérdida por ignición (LOI), análisis termogravimétrico (TGA), métodos ópticos basados en sonda láser, métodos que utilizan radiación de microondas, métodos que usan resonancia magnética nuclear (RMN), y diversos métodos ASTM (ver, por ejemplo, la norma ASTM D6316).

Ejemplos

Ejemplo 1: Efecto de la ubicación de la boquilla de oxígeno en el perfil de temperatura del lecho del material

Se operó una unidad de descomposición térmica utilizando madera de roble del noroeste de Arkansas. Las temperaturas del lecho se controlaron donde las boquillas de gas estaban ubicadas directamente debajo de la varilla de empuje y donde las boquillas de gas estaban ubicadas entre las varillas de empuje.

Los resultados fueron los siguientes:

ES 2 720 508 T3

*CO ₂ : O ₂	Temperatura (°C (°F)) delante del pistón de transferencia			
	Configuración previa de la boquilla (boquillas de O ₂ – entre varillas)		Configuración modificada de la boquilla (boquillas de O ₂ debajo de las varillas)	
	Min	Max	Min	Max
0	982 (1,800)	> 1260 (>2,300) [†]	704 (1,300)	982 (1,800)
0,5	816 (1,500)	1093 (2,000)	593 (1,100)	871 (1,600)
1	649 (1,200)	982 (1,800)	593 (1,000)	704 (1,300)

Notas: * Especifica la cantidad de CO₂ que se mezcló con una relación de O₂ antes de la inyección en la unidad de descomposición térmica en las boquillas del frente del pistón de transferencia.

[†] Se alcanzó el límite máximo de la sonda de temperatura de 1260 °C (2300 °F), por lo que se desconoce la temperatura máxima real.

Ejemplo 2: Descomposición térmica de una fuente de material derivado de MSW (Prueba 1)

5 Se utilizó una fuente de material de MSW del Centro de Energía Renovable 1 de Palm Beach (PBREF 1). Esta fue una instalación de energía de residuos a partir de desechos (EfW) diseñada para reducir el volumen de desechos en el condado de Palm Beach, Florida, mientras generaba electricidad y recuperaba metales del flujo de desechos. Este material derivado de MSW puede clasificarse como RDF-2 según la norma ASTM E 856.

10 Material derivado de MSW sin procesar: se tomaron muestras del lote a granel para caracterización física. Los resultados de la selección de la muestra indicaron un 51% en peso de la fracción retenida por el tamiz de 50 mm (2”), por lo que el material fue generalmente mayor que 50 mm (2”). Alrededor del 10% en peso de la fracción pasó a través de un tamiz de 6 mm (1/4”) que indica que había una cantidad significativa de partículas pequeñas/finas. La siguiente tabla muestra las fracciones relativas.

15 Distribución de tamaño de partícula RDF (Nota: Los porcentajes son en base húmeda)

Tamaño de malla	Masa retenida (%)
> 50 mm (> 2 pulgadas)	51
25 mm (1 pulgada)	18
13 mm (1/2 pulgadas)	12
6 mm (1/4 pulgadas)	10
< 6 mm (< 1/4 pulgadas)	9

20 Como se muestra en la siguiente tabla, la fracción retenida de la selección con una malla de 50 mm (2”) fue de aproximadamente el 41% en peso de papel y cartón, 15% en peso de biomasa, 35% en peso de plásticos, 5% en peso de caucho y látex y 1% de espuma de poliestireno.

Clasificación de 50 mm (2 pulgadas) de tamaño

Clasificación	Porcentaje en peso (%)
Papel y cartón	41
Biomasa	15
Plástico	38
Plástico rígido	12
Plástico duro	7
Película	19
Caucho y látex	5
Poliestireno extrudido	1

Nota: los porcentajes son en base seca (se asume que el papel y el cartón eran del 50% de MC y la biomasa era del 40% de MC).

ES 2 720 508 T3

5 Material derivado de MSW triturado y secado: Se tomaron dos muestras de 0,0189 m³ (5 galones) y se analizaron para determinar el tamaño y la composición de las partículas. La distribución del tamaño de partículas posterior a la trituración y al secado se muestra a continuación. Las piezas de material mayores de 50 mm (2 pulgadas) de tamaño nominal eran del 20% en peso. La fracción del tamaño de 25 mm a 50 mm (1 pulgadas a 2 pulgadas) tuvo el porcentaje más alto que representa el 28% en peso, seguida de la fracción de 13 mm a 25 mm (1/2 pulgadas a 1 pulgadas) que representó el 25% en peso. La fracción de 6 mm a 13 mm (1/4 pulgadas a 1/2 pulgadas) era de aproximadamente el 12% en peso y la fracción de < 6 mm (<1/4 pulgadas) era del 15% en peso.

10 Distribución del tamaño de partícula de MSW después de la trituración (Nota: los porcentajes son en base húmeda)

Tamaño de la malla	Masa retenida (%)
> 50 mm (> 2 pulgadas)	20
25 mm (1 pulgadas)	28
13 mm (1/2 pulgadas)	25
6 mm (1/4 pulgadas)	12
< 6 mm (< 1/4 pulgadas)	15

15 Los resultados de la clasificación manual de las fracciones de 25 mm a 50 mm (1 pulgada a 2 pulgadas) y la fracción > 50 mm (> 2 pulgadas) se muestran en la tabla a continuación. Hubo una mayor cantidad de material plástico en la fracción de tamaño > 50 mm (> 2 pulgadas) en comparación con la fracción de tamaño de 25 mm a 50 mm (fracción de 1 pulgada a 2 pulgadas). Los componentes que probablemente provenían de fuentes biogénicas representaron aproximadamente el 51% en peso del material triturado y seco. Los objetos dispersos, como latas, placas y marcos de aluminio, vidrio y otras piezas inorgánicas se encontraron mezclados con los desechos, pero en general en cantidades en peso mucho menores.

20 Composición de las diferentes fracciones de tamaño.

Componente	25 mm a 50 mm (1 a 2 pulgadas) (% en peso)	> 50 mm (> 2 pulgadas) (% en peso)	> 25 mm (> 1 pulgada) (% en peso)
Papel y cartón	34,6	13,9	24,2
Biomasa	9,8	4,3	7,0
Plástico	26,4	58,9	42,6
Látex y caucho	0,1	0	0,1
Espuma	2,8	0,9	1,9
Alfombra	4,5	0	0,8
Textiles	7,0	14,6	10,8
Combustible total	85,2	92,6	87,4
Metal y sustancias inertes	12,8	2,5	7,7
Alambre	0,4	4,0	2,2
Fracción biogénica, base en peso	60	35	48

Nota: La fracción biogénica se basa en el peso de partículas y no en una base carbonada.

25 Las propiedades del material de MSW de PBREF en comparación con las propiedades del mantillo INPB y la madera de roble NWA se muestran en la Tabla que sigue. El valor de calentamiento del material de MSW (18864 kJ/kg (8,110 BTU/lb)) estaba entre el del mantillo INPB (17589 kJ/kg (7,562 BTU/lb)) y el de la madera de roble NWA (19601 kJ/kg (8,427 BTU/lb)). El contenido de ceniza fue muy alto y representó aproximadamente el 25% de la masa seca. El contenido de materia volátil del material de MSW fue relativamente más bajo que el de la madera de roble NWA y el mantillo INPB: 63,3% en peso para MSW vs 86,2% en peso para madera de roble NWA y 69,0% para material de mantillo INPB. El material de MSW fue alto en Cl y S y se midió en 1,0% en peso y 0,3% en peso, respectivamente. El Cl fue más de cien veces mayor que el de la madera de roble NWA y cerca de cinco veces más

ES 2 720 508 T3

que el mantillo INPB. El contenido de S fue aproximadamente 25 veces mayor que el de la madera de roble NWA y el doble del mantillo INPB. Los niveles de potasio y Na en MSW y el mantillo INPB fueron bastante cercanos, pero $N_{Kjeldahl}$ fue más del doble en el material derivado de MSW.

5 Propiedades de MSW (PBREF) en comparación con el mantillo INPB y el roble NWA.

Propiedad	RDF (PBREF)	Mantillo INPB	Astillas de madera de roble NWA
Análisis final (base seca)			
C (% en peso)	40,080	36,170	48,590
H (% en peso)	5,400	3,930	6,310
O (% en peso)	27,000	46,610	44,270
N (% en peso)	1,040	0,970	<0,500
S (% en peso)	0,298	0,151	0,012
Cl (% en peso)	0,998	0,214	0,008
Ceniza (% en peso)	25,180	12,660	0,820
K (% en peso)	0,325	0,407	£0,046
Na (% en peso)	0,452	0,586	<0,002
$N_{Kjeldahl}$ (% en peso)	0,626	0,265	0,078
Análisis proximal			
Sustancia volátil (% en peso)	63,26	68,96	86,19
Ceniza (% en peso)	25,18	12,66	0,82
Carbono fijo (% en peso)	9,56	18,38	12,99
Valor de calentamiento kJ/kg (Btu/lb)	18864 (8,110)	17589 (7,562)	19601 (8,427)

10 Análisis del olor del material derivado de MSW: los compuestos típicamente asociados con los olores percibidos se identificaron y cuantificaron para medir los niveles de emisión de olores del secado del material derivado de MSW. Se tomaron muestras del aire de escape del secador y se analizaron los compuestos con umbrales de olor muy bajos. Las listas de compuestos diana incluyen aminas, ácidos carboxílicos, compuestos reducidos en azufre y compuestos orgánicos volátiles olorosos (COV).

15 Los resultados analíticos indicaron que el olor se debía en parte a la presencia de ácidos carboxílicos generados por la descomposición de los componentes vegetativos. Se encontraron bajos niveles de ácidos acético, butírico, caproico y caprílico. No se detectaron aminas, amoníaco ni compuestos reducidos en azufre, pero se identificaron trazas de hidrocarburos, alcoholes, cetona y acetaldehído.

20 Ensayos en plantas piloto: Transición al material derivado de MSW: La prueba piloto se inició facilitando lentamente MSW en el proceso al mezclarlo con astillas de madera de roble NWA. Se usaron las proporciones de mezcla de MSW a astillas de madera del 25% en peso, 50% en peso, 75% en peso y luego 100% en peso. La mezcla se realizó mezclando las cantidades apropiadas de MSW y la tolva de la trituradora de astillas de madera (Komar Quad Shear Shedder Modelo QR2224-30, Komar Industries, Inc., Groveport, Ohio).

25 Con un 25% en peso de RDF - 75% de astillas de madera, el transporte de la materia prima mezclada fue bastante continuo, excepto en un par de casos en que la salida de la secadora estaba tapada. En estas ocasiones, la abertura de descarga del secador tuvo que ser limpiada manualmente para permitir que el material cayera.

30 La frecuencia de taponamiento aumentó después de la transición al 50% en peso de MSW - 50% de la mezcla de astillas de madera. Esto dio lugar a períodos de menor inestabilidad en la operación del gasificador debido a las interrupciones posteriores en el flujo de alimentación, pero no hubo un problema operativo importante.

35 Con un 75% en peso de MSW - 25% de astillas de madera, se encontró una mayor incidencia de problemas de transporte. La salida de la descarga del secador tenía que limpiarse constantemente debido a la mayor tasa de taponamiento del material. El transportador N.º 4 se atascó debido a que una pieza larga de aluminio distorsionada

ES 2 720 508 T3

obstruyó el material que causaba el empaquetamiento del área entre la cinta transportadora y la cubierta del transportador. La estabilización del gasificador fue muy difícil debido a las constantes interrupciones en el flujo de alimentación sólida.

5 Se hicieron modificaciones en el sistema de transporte para abordar los problemas. La salida del secador de materia prima se amplió al aumentar la abertura en 150 mm (6 pulgadas); para evitar que el material se enganche en el lado superior de la salida de descarga. La altura del material en la correa del secador también se estableció un par de pulgadas más abajo para garantizar que el material se movería sin restricciones a través de la salida de descarga. La distancia entre la cinta y la cubierta del transportador N.º 4 se incrementó al elevar la altura de la cubierta en 100 mm (4 pulgadas).

15 Las pruebas piloto que utilizaron material derivado del 100% de MSW como materia prima se ejecutaron con éxito sin que se encontraran problemas operativos importantes mientras duraban estas pruebas. Se realizaron varios ajustes dentro del período de las pruebas para encontrar la mejor combinación de parámetros operativos en función de: (i) la estabilidad de la operación del gasificador afectada por: tiro, altura del lecho y grado de agregación del material y (ii) calidad del gas de síntesis. Los parámetros operativos incluyeron: velocidad de alimentación sólida, longitud de las varillas de pistón de transferencia, longitud de la carrera de la memoria pistón de transferencia, intervalo de la carrera del pistón de transferencia, intervalo de la carrera del pistón de ceniza, tasas de flujo de O₂ y tasas de flujo de CO₂.

20 Longitud de la varilla de encendido del pistón de transferencia: el uso de una varilla de 100 mm (4") (con las boquillas de O₂ colocadas debajo de las varillas) en lugar de 300 mm (12") resultó en una mejor calidad de gas de síntesis. A 300 mm (12") de longitud de la varilla, el pico promedio de CO fue de aproximadamente el 25%, mientras que a 100 mm (4") de la longitud de la varilla, el pico de CO promedio fue de alrededor del 34%. No se observó una diferencia significativa en la concentración de H₂. El efecto sobre la calidad del gas de síntesis puede explicarse por la mayor pérdida de calor por el uso de una varilla larga y fría (área de superficie más grande) en comparación con una varilla corta y fría.

30 Longitud de la carrera del pistón de transferencia: las observaciones piloto indicaron que al tocar el pistón de transferencia al menos 180 mm (7") (en combinación con el flujo de CO₂:O₂ 1:1 en las boquillas del pistón de transferencia) se eliminó la formación de grandes agregados en la chimenea principal. Se sabe que los agregados bloquean el flujo de material a través de la cámara inferior del gasificador. Parecía que al tocar el pistón más que la longitud de la formación de agregados entre los golpes del pistón se producían "roturas" entre las piezas de agregados. La discontinuidad provocada por las "rupturas" parecía haber eliminado la formación de grandes agregados.

40 Intervalo de la carrera del pistón de transferencia: el recorrido del pistón de transferencia cada 11 minutos se encontró satisfactorio para mantener la chimenea principal del gasificador en un 30% -40% (altura del lecho con respecto a la distancia desde el piso de la chimenea al techo del gasificador), lo que garantiza una alta utilización. También se encontró que el frotamiento frecuente ayudaba a mejorar la estabilidad de la calidad del gas de síntesis al inducir un flujo de sólidos relativamente más continuo a través del gasificador.

45 Caudal de CO₂: los resultados de medición de la temperatura del lecho mostraron que la temperatura frente al pistón se puede mantener por debajo de la temperatura de fusión de la ceniza del material derivado de MSW (1204 °C (2200 °F)) utilizando una relación de flujo de CO₂ a O₂ de 1:1 en las boquillas del pistón de transferencia. El uso de este índice de flujo parece haber ayudado a reducir la gravedad de la agregación (en función del tamaño y la dureza). El uso de relaciones de flujo de CO₂ a O₂ inferiores dio como resultado temperaturas superiores a 1204 °C (2200 °F) en el área directamente frente al pistón de transferencia.

50 A continuación se resumen algunos ejemplos de algunos parámetros operativos preferidos sobre la base de la estabilidad de la operación del gasificador y la calidad del gas de síntesis.

Material de alimentación	100% de material derivado de MSW (PBREF)	
Tasa de alimentación sólida (seca)	27-36 (60-80)	kg/h (lb/h)
Pistón de transferencia de O ₂	8,2 (18)	kg/h (lb/h)
Pistón de transferencia de CO ₂	8,2 (18)	kg/h (lb/h)
Longitud de carrera del pistón de transferencia	180 (7)	mm (pulgadas)
Intervalo de carrera del pistón de transferencia	11	minutos
Longitud de la varilla de encendido del pistón de transferencia	100 (4)	mm (pulgadas)

(continuación)

Material de alimentación	100% de material derivado de MSW (PBREF)	
Horno de cenizas de O ₂	4,5 (10)	kg/h (lb/h)
Horno de cenizas de CO ₂	2,3 (5)	kg/h (lb/h)
Intervalo de carrera del pistón de ceniza	180	minutos

5 Al igual que con otros materiales de alimentación, se encontró que mantener la chimenea principal del gasificador en un 30%-40% lleno (con base en el porcentaje de distancia desde el piso de la chimenea hasta el techo de la cámara inferior del gasificador) proporciona el funcionamiento más estable del gasificador. Mantener el material en el colector de cenizas bajo, preferiblemente entre el 30% y el 50% (en base a la altura total del colector), minimiza la gravedad de la agregación en el colector de cenizas (es decir, menor y menor número de piezas de agregados).

10 La utilización estimada de la alimentación del gasificador cuando se gasifica material derivado de MSW al 100% se calculó mediante la ecuación que se muestra a continuación. Se hace referencia a la utilización como el porcentaje del total de componentes sin ceniza en la alimentación que se convierte y sale de la cámara inferior del gasificador como parte de la corriente de gas. La utilización se calculó utilizando la siguiente ecuación, asumiendo que una cantidad despreciable de componentes de ceniza en la alimentación va a la corriente de producto gaseoso.

$$\text{Utilización (\%)} = \frac{\left[F \times \left(1 - \frac{A}{100}\right) \right] - \left[R - \left(F \times \frac{A}{100} \right) \right]}{\left[F \times \left(1 - \frac{A}{100}\right) \right]} \times 100$$

15

donde

- 20 F – tasa de alimentación promedio en el gasificador
 A – ceniza en porcentaje en la alimentación
 R – tasa residual promedio (residuos eliminados del gasificador)

25 La siguiente tabla muestra la utilización de la alimentación (en base a la fracción sin ceniza) en la ejecución piloto de MSW. El porcentaje de ceniza utilizado en el cálculo se derivó de los resultados del análisis proximal residual del gasificador que parecía ser más consistente con el balance en masa general. Los resultados muestran que la utilización fue relativamente alta (98%).

Utilización de alimentación sólida en porcentaje.

Materia prima	Tasa de alimentación promedio kg/h (lb/h)	Tasa residual promedio kg/h (lb/h)	Porcentaje de ceniza en la alimentación (%)	Utilización (%)
Material derivado de MSW (PBREF)	29,5 (65)	6,4 (14)	*20	98
Nota: *El porcentaje de ceniza se estimó con base en el porcentaje de ceniza de los residuos del gasificador.				

30 Composición del gas de síntesis: sobre base seca, la composición promedio del gas de síntesis de gasificación de material derivado de MSW fue del 34% en moles de CO, 15% en moles de H₂, 38% en moles de CO₂ y 14% en moles de N₂ (según la mejor combinación de parámetros operativos)). Esta fue una mejora significativa con respecto a la prueba piloto inicial en MSW donde la mejor composición de gas de síntesis promedio fue sólo del 19% en moles de CO y 10% en moles de H₂. La modificación en la configuración de las boquillas del pistón de transferencia (es decir, la configuración de 'boquilla debajo de la varilla' en lugar de la 'boquilla entre varillas') mostró un impacto positivo significativo en la operabilidad y la estabilidad de la gasificación cuando se utiliza material derivado de MSW como alimentación y, como resultado, hizo una gran mejora en la calidad del gas de síntesis producido.

40 La Figura 7 muestra cómo el gas de síntesis del material derivado de MSW se compara con el gas de síntesis de la madera de roble NWA gasificante, ambos conjuntos de datos se derivaron del uso de la configuración de la boquilla del pistón de transferencia modificada y también con el mantillo INPD. Las concentraciones de CO del gas de síntesis de dos materiales fueron bastante cercanas (aproximadamente 13% más altas en madera de roble NWA que en MSW). Esto pareció ser consistente con las características de los dos materiales donde MSW tenía un valor de calentamiento ligeramente más bajo que el de la madera de roble NWA (18864 kJ/kg versus 19601 kJ/kg) (8,110

BTU/lb versus 8,447 BTU/lb). El nivel de H₂ en el gas de síntesis de roble NWA fue un 39% más alto que el del gas de síntesis de MSW.

5 H₂S, COS, HCl y HCN se detectaron en el gas de síntesis de MSW. La siguiente tabla muestra cómo se comparan los niveles con los del gas de síntesis del mantillo de paja de pino y la madera de roble. El sistema de lavado húmedo parece haber eliminado efectivamente el NH₃ en el gas de síntesis depurado en seco. Tener en cuenta que el NH₃ se detectó a un nivel alto en el agua de enfriamiento y no se detectó en el gas de síntesis depurado en húmedo. La eliminación de HCl y HCN en el sistema de lavado húmedo, por otro lado, parece haber sido limitada.

10

Componente	Material derivado de MSW (PBREF)	Mantillo de paja de pino	Astillas de madera de roble NWA
H ₂ S (ppm)	126	94,5	3,2
COS (ppm)	47,8	37,8	14,3
HCN (ppm)	3,64	A/D (<1,73)	ND (<2,53)
HCl (ppm)	1,85	3,88	ND (<1,35)
NH ₃ (ppm)	A/D (<0,624)	A/D (0,69)	ND (<1,19)

Componente	Material derivado de MSW (PBREF)
NH ₃ (mg/mL)	0,3
HCl (ug/mL)	36,8
HCN (ug/mL)	6,6

15 Los compuestos orgánicos se identificaron provisionalmente en el gas de síntesis de MSW. Similar al gas de síntesis de gasificación de astillas de madera de roble NWA, el gas de síntesis tratado de MSW tenía pequeñas cantidades de compuestos hidrocarbonados. Se identificó tentativamente una variedad más amplia de compuestos que se eliminaron del gas de síntesis en el agua del depurador húmedo.

20 Inspección del gasificador y los conductos, tuberías y equipo corriente abajo: no se observó ningún daño aparente en el gasificador. Hubo un poco de descamación (parecida a alquitrán endurecido) en el frente del pistón de transferencia y principalmente en la base de las varillas, pero estos depósitos se desprendieron fácilmente durante la limpieza. Las superficies metálicas de los cilindros de transferencia y las soldaduras parecían estar intactas; sin signos de fugas de agua de refrigeración. Todas las boquillas de oxígeno estaban limpias.

25 No se encontró ningún bloqueo importante a lo largo del conducto y el equipo corriente abajo. El conducto de la cámara superior del gasificador al refrigerador de gas de síntesis estaba limpio. Había depósitos de partículas en el revestimiento interno del conducto horizontal, pero nada inusual en términos de la cantidad que se había depositado. Los análisis de composición mostraron que el depósito era una mezcla muy compleja. Las fases significativas incluyeron un 28% de cualquier cantidad de CaSO₄, un 23% de NaCl (también un 6% de KCl), un 18% de sal de zinc, K₂ZnCl₄ y un 15% de un mineral de Ca-Al-Si relacionado con ladrillos refractarios.

30 Todos (un total de cuatro) de los tubos de refrigeración de gas de síntesis estaban claros. Había un poco de hollín y depósitos cristalinos en el frente de la entrada, pero muy poco. Las superficies internas de la línea de reciclaje de gas frío se cubrieron con hollín y se cubrieron con un poco de material cristalino. Se encontró que el depósito contenía 61% de NH₄Cl y 36% de una sal de hierro, (NH₄)₂FeCl₅, H₂O, más un pequeño porcentaje de NaCl. No hubo otras fases cristalinas aunque hubo algún contenido amorfo. Los elementos adicionales observados (por ejemplo, azufre) pueden estar en fase amorfa.

40 Ejemplo 3: Descomposición térmica de una fuente de material derivado de MSW (prueba 2)

Se realizó una segunda prueba piloto en el material derivado de MSW de PBREF: (i) para determinar la repetibilidad de los resultados utilizando el mejor conjunto de parámetros operativos encontrados en la prueba de prueba piloto 1 y (ii) para evaluar la estabilidad del proceso durante un tiempo de ejecución más largo (7 días).

45 No se observó una diferencia significativa entre el material de MSW que se recibió y se utilizó en el Ejemplo 2 y el segundo lote de material de MSW de PBREF que se usó en este Ejemplo, ya que ambos están compuestos principalmente de papel, cartón, plásticos y biomasa.

ES 2 720 508 T3

Categoría RDF ASTM: el material derivado de MSW de PBREF se considera un material RDF-2 basado en las categorías aplicables de ASTM E 856. El material derivado de MSW de PBREF se considera un material RDF-2 basado en las categorías aplicables de ASTM E 856.

5 Distribución del tamaño de partícula (PSD): Se recolectaron un total de seis (6) muestras de 0,0189 m³ (cinco galones) para evaluar la distribución del tamaño de partícula del material que ingresa en el gasificador de la planta piloto. Cada volumen de muestra fue recolectado, por el personal de la planta piloto, del material que cae en la tolva de alimentación al gasificador, que está después del secador de alimentación de sólidos. Las partículas se habían
10 secado a menos del 5 por ciento de humedad (promedio de 2,3% en peso). El volumen de muestra se recolectó durante un período de tiempo para no interrumpir significativamente la velocidad de alimentación al gasificador.

15 La distribución de tamaño de partícula del segundo lote de material derivado de MSW se muestra en la Tabla a continuación. Las piezas de material mayores a 50 mm (2 pulgadas) de tamaño nominal fueron el 19% en peso. Las fracciones combinadas de 13 mm a 25 mm y 25 mm a 50 mm (1/2 pulgada a 1 pulgada y 1 pulgada a 2 pulgadas) representaron la mitad del material desmenuzado y seco, cada fracción al 25% en peso. La fracción de 6 mm a 13 mm (1/4 pulgada a 1/2 pulgadas) fue de aproximadamente el 16% en peso y la fracción de <6 mm (< 1/4 pulgadas) fue del 15% en peso. Estos resultados fueron muy similares a los resultados de la distribución del tamaño de partícula del material utilizado en la primera prueba piloto.

Resultados del tamaño de distribución de partículas	Promedio	Desviación estándar
	(% en peso)	(% en peso)
> 2 pulgadas (< 50 mm)	19	8,0
1 a 2 pulgadas (25 a 50 mm)	25	2,6
1/2 a 1 pulgada (13 a 25 mm)	25	4,0
1/4 a 1/2 pulgada (6 a 13 mm)	16	2,0
< 1/4 pulgadas (< 6 mm)	15	2,2

20 Clasificación de componentes y fracción biogénica: La fracción biogénica del material desmenuzado y desmenuzado de material con un tamaño de partícula superior a 25 mm (1 pulgada) se determinó utilizando el método de clasificación manual de acuerdo con la norma EN 15440. Se utilizaron submuestras de la evaluación de la distribución del tamaño de partícula para evaluar las fracciones que eran biogénicas, no biogénicas e inertes
25 (metales, rocas, etc.). Después del tamizado, las partículas de más de 50 mm (2 pulgadas) y las partículas de 25 a 50 mm (1 a 2 pulgadas) se evaluaron en forma manual y visual.

30 Las partículas plásticas fueron segregadas por lo que parecían ser diferentes tipos de plástico. Cuando fue posible, las partículas se separaron manualmente en el tipo de material básico. No se realizó ninguna evaluación analítica adicional sobre las partículas de plástico para determinar el tipo de plástico. Los textiles se separaron entre lo que parecía ser natural (caftán/lana/cuero) y lo que parecía ser natural (caftán/lana/cuero) versus lo que parecía ser sintético (alfombra, poliéster, etc.).

35 La siguiente tabla muestra una comparación cuantitativa de los componentes clasificables en el material derivado de MSW triturado y seco (Ejemplo 2 MSW comparado con el Ejemplo 1 MSW). Los resultados indican que los dos lotes separados de material derivado de MSW de PBREF fueron bastante similares. De acuerdo con las características del MSW utilizado en el Ejemplo 21, el MSW utilizado en el Ejemplo 3 mostró más plásticos en la fracción > 50 mm (> 2 pulgadas) y se encontraron más componentes de papel y cartón en los 25 mm a 50 mm (1 pulgada a 2 pulgadas) de fracción de tamaño.

40 La fracción biogénica total (con base en el porcentaje en peso de componentes que probablemente provengan de fuentes biogénicas - biomasa/madera, papel y cartón, y textiles) de MSW utilizado en el Ejemplo 3 fue de aproximadamente el 61% en peso para los 25 mm a 50 mm (1 de pulgada a 2 pulgadas) y del 34% en peso para la fracción de 50 mm (2 pulgadas) y mayor, que es bastante similar a la fracción biogénica encontrada en MSW
45 utilizado en el Ejemplo 2.

ES 2 720 508 T3

Categorías de materiales básicos	Ejemplo 3 MSW				Ejemplo 2 MSW	
	25 a 50 mm (1 a 2 pulgadas)		> 50 mm (> 2-pulgadas)		25 a 50 mm (1 a 2 pulgadas)	> 50 mm (> 2 pulgadas)
	Promedio	DE	Promedio	DE		
	(% en peso)	(% en peso)	(% en peso)	(% en peso)	(% en peso)	(% en peso)
Plástico	23,9	3,9	38,1	10,7	26,4	58,9
Envolturas	0,3	0,4	1,9	2,8	ND	ND
Espuma y poliestireno extrudido	1,5	0,6	0,6	1,0	2,8	0,9
Textiles, sintéticos	4,2	2,8	4,1	3,7	4,5	0,0
Caucho/látex	2,0	2,0	14,6	11,9	0,1	0,1
Pelusa	3,1	1,4	3,5	1,8	ND	ND
Biomasa/madera	15,9	4,2	16,4	18,5	9,8	4,3
Papel y cartón	40,8	6,7	11,4	4,1	34,6	13,9
Textiles	4,7	1,8	6,0	5,3	7,0	14,6
Metal	3,7	1,6	3,4	5,6	12,8	2,5
Alambres	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	4,0
Fracción biogénica total	61,4		33,8		51,4	32,8

Notas: DE - Desviación estándar; ND - No determinado

La fracción biogénica se basa en el porcentaje en peso de los componentes que son probablemente de origen biogénico y no a base de carbono.

5 Propiedades del material derivado de MSW: Las propiedades del material derivado de MSW que se usó en el Ejemplo 3 en comparación con las utilizadas en el Ejemplo 2 se muestran en la Tabla que sigue. El contenido de C, H, O, N y S fue muy similar en una base seca y libre de cenizas. El contenido de C fue aproximadamente del 52,5% en peso para el Ejemplo 2 y aproximadamente del 53,6% para el Ejemplo 1. El contenido de H fue del 7,5% para el Ejemplo 2 y aproximadamente del 7,2% para el Ejemplo 1. El contenido de O fue del 37,6% para el Ejemplo 2 y aproximadamente del 36.1% para el Ejemplo 1. El contenido de N fue del 1,1% para la prueba 2 y aproximadamente del 1,4% para el Ejemplo 1. El contenido de azufre fue aproximadamente del 0,4% para ambos ensayos. La única excepción fue el contenido de Cl en el que el material utilizado en el segundo ensayo parece haber tenido menos de

10 la mitad que en el MSW utilizado en el Ejemplo 2.

Propiedad	MSW (PBREF)			
	Ejemplo 2		Ejemplo 3	
	(base seca)	(base seca, sin cenizas)	(base seca)	(base seca, sin cenizas)
Análisis final				
C (% en peso)	40,08	53,57	44,83	52,54
H (% en peso)	5,40	7,22	6,43	7,54
O (% en peso)	27,00	36,09	32,11	37,63
N (% en peso)	1,04	1,39	0,95	1,11
S (% en peso)	0,30	0,40	0,32	0,38
Cl (% en peso)	1,00	1,33	0,45	,053
Ceniza (% en peso)	25,18	-	14,67	-

(continuación)

Propiedad	MSW (PBREF)			
	Ejemplo 2		Ejemplo 3	
	(base seca)	(base seca, sin cenizas)	(base seca)	(base seca, sin cenizas)
Análisis final				
K (% en peso)	0,32		0,24	
Na (% en peso)	0,45		0,66	
N _{kjeldahl} (% en peso)	0,63		0,96	
Análisis proximal				
Materia volátil (% en peso)	63,26		71,70	
Ceniza (% en peso)	25,18		14,67	
Carbono fijo (% en peso)	09,56		13,63	
Valor de calentamiento kJ/kg (Btu/lb)	18,864 (8,110)		19,669 (8,456)	
Densidad aparente kg/m ³ (lb/yd ³)	152 (256)		166 (280)	

5 Sobre la base de las muestras tomadas para análisis de laboratorio externos, el contenido de cenizas de MSW utilizado en el Ejemplo 3 fue menor que el de MSW utilizado en el Ejemplo 2, que fue del 15% en peso frente al 25% en peso, respectivamente. Esto puede explicar, en su mayor parte, la diferencia en el contenido de materia volátil, contenido de carbono fijo y valor de calentamiento (en base seca) entre los dos lotes separados de MSW que se utilizaron en las pruebas piloto.

10 Operación del gasificador: los parámetros operativos del gasificador utilizados en el Ejemplo 3 se basaron en la mejor combinación de parámetros (sobre la base de la estabilidad de la operación del gasificador y la calidad del gas de síntesis) que se identificaron a partir de las pruebas en el Ejemplo 2. Estos parámetros operativos del gasificador se muestran en la Tabla de abajo.

Parámetros operativos del gasificador

Material de alimentación	Materiales derivados de MSW al 100% (PBREF) segundo lote	
	Tasa de alimentación sólida (seca)	27-36 (60-80)
Pistón de transferencia de O ₂	8,2 (18)	kg/h (lb/h)
Pistón de transferencia de CO ₂	8,2 (18)	kg/h (lb/h)
Longitud de carrera del pistón de transferencia	180 (7)	mm (pulg)
Intervalo de carrera del pistón de transferencia	11	minutos
Longitud de la varilla de encendido del pistón de transferencia	100 (4)	mm (pulg)
Horno de cenizas de O ₂	4,5 (10)	kg/h (lb/h)
Horno de cenizas de CO ₂	2,3 (5)	kg/h (lb/h)
Intervalo de carrera del pistón de ceniza	180	minutos

15 Este ensayo se concluyó después de ocho días de ejecución continua. No se encontró ningún problema operativo importante mientras duraba la prueba, excepto en la última parte, donde parecía haber alguna limitación de flujo corriente abajo del gasificador. La evaluación posterior a la prueba del equipo corriente abajo mostró que el

mezclador de gas de síntesis y bicarbonato, que está instalado justo antes de la cámara de filtros, había acumulado material a un nivel suficiente para provocar una restricción de flujo. La velocidad del gas a través del mezclador era demasiado baja para sacar las partículas del recipiente del mezclador y hacia la unidad de la cámara de filtros. El material acumulado parecía ser una combinación de bicarbonato y hollín.

La agregación de material se observó dentro de la cámara inferior del gasificador, pero no fue lo suficientemente grave como para causar puentes o bloqueos. La agregación se observó tanto en la chimenea principal como en el sumidero de ceniza. Parecía que el mantenimiento de al menos 180 mm (7") de la carrera del pistón de transferencia era suficiente para limitar la longitud de la formación de material agregado.

Utilización de la alimentación: la siguiente tabla muestra la utilización de la alimentación (en base a la fracción sin ceniza) que se logró en la segunda prueba piloto. El porcentaje de ceniza utilizado en el cálculo se derivó de los resultados del análisis proximal residual del gasificador en lugar del análisis de alimentación sólida porque era más consistente con el balance de masa general. Los resultados muestran que la utilización fue relativamente alta. Aproximadamente el 98% del componente no ceniza de la alimentación sólida se gasificó.

Utilización de la alimentación sólida en porcentaje

Materia prima	Tasa de alimentación promedio kg/h (lb/h)	Tasa residual promedio kg/h (lb/h)	Porcentaje de ceniza en la alimentación (%)	Utilización (%)
Material derivado de MSW (PBREF)	32 (70)	7.9(17.5)	*24.4	98

*El porcentaje de ceniza se estimó con base en el porcentaje de ceniza de los residuos del gasificador.

Composición de gas de síntesis: sobre una base seca, la composición promedio de 7 días de gas de síntesis de gasificación de material derivado de MSW fue 32% en moles de CO, 14% en moles de H₂, 36% en moles de CO₂ y 18% en moles de N₂. Los resultados de la composición de gas de síntesis del Ejemplo 2 no fueron significativamente diferentes de los mejores resultados del Ejemplo 2.

H₂S, COS, HCl y HCN se detectaron en el gas de síntesis después de la extinción, de acuerdo con los resultados del Ejemplo 2. En general, los niveles fueron mayores en el Ejemplo 3 en comparación con el Ejemplo 2, excepto por el HCl, que no se detectó en el Ejemplo 3. El NH₃ parece haber sido eliminado de manera efectiva en el depurador húmedo ya que no se detectó en el gas de síntesis inactivado.

Componente	Ejemplo 3	Ejemplo 2
H ₂ S (ppm)	306	126
COS (ppm)	55,6	47.8
HCN (ppm)	6,51	3,64
HCl (ppm)	ND(<1,45)	1,85
NH ₃ (ppm)	ND(<0,74)	ND(<0,62)

Una fracción del total de HCN en el gas de síntesis se eliminó en el sistema de lavado húmedo. La concentración de HCN en agua de enfriamiento fue de 9,79 ug/ml.

Componente	Material derivado de MSW (PBREF)	
	Ejemplo 3	Ejemplo 2
NH ₃ (ug/mL)	152	302
HCl (ug/mL)	39,90	36,80
HCN (ug/mL)	9,79	6,60

Los compuestos orgánicos también se identificaron provisionalmente para estar presentes en el gas de síntesis en el Ejemplo 3, que incluía 2-metil-1-propeno y benceno. Benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX) se cuantificaron específicamente. El benceno estaba a 852 ppbv y no se detectaron tolueno y xileno. Se detectó etileno a 12,9 ppm.

Se identificó tentativamente una variedad más amplia de compuestos que se eliminaron del gas de síntesis en el agua del depurador húmedo, incluido el acetaldehído, el hexano, el benceno, el xileno y el metiletilbenceno.

5 Inspección del gasificador y los conductos, tuberías y equipo corriente abajo: no se observó ningún daño aparente en el gasificador. Había descamaciones (parecidas a alquitrán endurecido) en el frente del pistón de transferencia y en la base de las varillas, pero estos depósitos se desprendieron fácilmente durante la limpieza. Las superficies metálicas del pistón de transferencia y las soldaduras parecían estar intactas; sin signos de fugas de agua de refrigeración. Todas las boquillas de oxígeno estaban limpias. No se encontró ningún bloqueo a lo largo del conducto desde la cámara superior hasta la entrada del enfriador de gas de síntesis. El conducto horizontal hacia el refrigerador de gas de síntesis estaba limpio, pero había algunos depósitos amarillentos en el revestimiento cerámico. Los depósitos parecían ser la misma mezcla compleja que se encontró en el conducto del Ejemplo 1, que comprendía CaSO₄, NaCl, KCl, sal de zinc, K₂ZnCl₄, mineral de Ca-Al-Si relacionado con ladrillos refractarios.

15 Los tubos de enfriamiento de gas de síntesis estaban limpios, excepto uno, que parecía haber sido cubierto con una "escama" que se había caído del conducto superior. Esto puede haber contribuido al problema de flujo que se produjo durante la última parte de la ejecución de la prueba. Este problema probablemente se asoció con la ubicación del punto de reciclaje de gas frío, que se encuentra directamente sobre la entrada del enfriador de gas de síntesis. Había un poco de hollín y depósitos cristalinos en el frente de entrada del enfriador de gas de síntesis. El grosor del depósito parecía típico para la duración de la prueba de gasificación, como se encontraría en las ejecuciones de madera.

25 La mayoría de las superficies internas de la placa de la celda de la cámara de filtros y la placa de cubierta y el carrete de salida estaban cubiertas con un depósito cristalino. El análisis de la composición mostró que el depósito era casi completamente NH₄Cl con trazas de óxidos de Fe. La presencia de NH₄Cl corriente abajo de la cámara de filtros indicó que el sistema de lavado seco no estaba eliminando efectivamente HCl. Es probable que esto esté relacionado con el hecho de que el bicarbonato de sodio no tuvo suficiente contacto con el gas de síntesis, ya que en su mayor parte solía asentarse en el fondo del recipiente del mezclador debido a la baja velocidad de la corriente de gas y no se trasladaba a la cámara de filtros.

30 Efecto de gas de síntesis de MSW en la fermentación: Se estableció un fermentador de estado estable en el gas de síntesis de astillas de madera antes de cambiar a gas de síntesis RDF. A lo largo de la fermentación de gas de MSW (-200 horas), el fermentador mostró un descenso inicial tanto en la conversión de hidrógeno como en la producción de etanol, luego se estabilizó a una menor productividad de etanol (10% menos que en el punto de partida), y finalmente el fermentador mejoró gradualmente todo el camino de regreso. Los indicadores clave de rendimiento (conversión de gas, productividad del etanol, consumo específico de hidrógeno) en el punto final no mostraron diferencias significativas con respecto al punto de partida.

Ejemplo 4: Evaluación del potencial de escorificación para material de tipo RDF

40 La materia prima se preparó mezclando 80:20 en peso de pellas de combustible densificado de ingeniería (dPEF) (Lundell Enterprises, Inc.) y astillas de madera (WC) del noroeste de Arkansas en lotes y pasando la mezcla a través de una trituradora para hacer un combustible derivado de desperdicios (RDF).

La composición incluía los siguientes componentes:

45

	Pellas de dPEF	WC	Mezcla 80:20 de dPEF molido y WC
Análisis final			
C (% en peso)	41,82	48,72	43,20
H (% en peso)	5,60	6,13	5,71
O (% en peso)	40,11	44,27	40,94
N (% en peso)	<0,50	<0,50	<0,50
S (% en peso)	<0,50	<0,50	<0,50
Cl (% en peso)	0,08	0,01	0,07
Ceniza (% en peso)	11,57	0,82	9,42
Análisis proximal			
Materia volátil (% en peso)	75,50	86,19	77,64
Ceniza (% en peso)	11,57	0,82	9,42

ES 2 720 508 T3

(continuación)

	Pellas de dPEF	WC	Mezcla 80:20 de dPEF molido y WC
Análisis final			
Carbono fijo (% en peso)	12,93	12,99	12,94
Valor de calentamiento kJ/kg (Btu/lb)	16803 (7224)	19601 (8427)	17361 (7464)

La materia prima se alimentó a un gasificador de acuerdo con los siguientes parámetros.

5

Oxígeno del frente del pistón de transferencia	
Tasa de flujo de O ₂	3,4 kg/h (7,5 lb/h)
Tasa de flujo de CO ₂	7,26 kg/h (16,0 lb/h)
Oxígeno del frente del pistón de cenizas	
Tasa de flujo de O ₂	8,16 kg/h (18,0 lb/h)
Tasa de flujo de CO ₂	7,26 kg/h (16,0 lb/h)
Pistón de transferencia	
Intervalo de carrera	7,0 minutos
Longitud de carrera	150 mm (6,0 pulgadas)
Horno de cenizas	
Intervalo de carrera	60,0 minutos

Los parámetros operativos del gasificador se variaron y la inspección visual del gasificador proporcionó los siguientes resultados.

Tasa de alimentación sólida kg/h (lb/h)	Tasa de alimentación de O ₂ frente del pistón de transferencia kg/h (lb/h)	Bandeja de agot. de tasa de alimentación de O ₂ kg/h (lb/h)	Tasa de alimentación de CO ₂ frente del pistón de transferencia kg/h (lb/h)	Bandeja de agot. de tasa de alimentación de CO ₂ kg/h (lb/h)	Long. de carrera del pistón de transferencia mm (in)	Intervalo de pistón de transferencia a (min)	Intervalo de carrera del pistón de cenizas (min)	Observación
36,3 (80,0)	3,4 (7,5)	8,2 (18,0)	7,3(16,0)	7,3 (16,0)	254(10,0)	8,0	90,0	Sin escorificación
36,3 (80,0)	3,4 (7,5)	8,2 (18,0)	3,6 (8,0)	7,3 (16,0)	254(10,0)	8,0	120,0	Sin escorificación
36,3 (80,0)	3,4 (7,5)	7,3 (16,0)	1,8 (4,0)	7,3 (16,0)	254(10,0)	8,0	120,0	Sin escorificación
36,3 (80,0)	3,4 (7,5)	7,3 (16,0)	0,0 (0,0)	7,3 (16,0)	254(10,0)	9,0	120,0	Sin escorificación
45,4 (100,0)	5,4(12,0)	7,3(16,0)	5,4(12,0)	7,3 (16,0)	254(10,0)	9,0	120,0	Sin escorificación
45,4 (100,0)	7,3(16,0)	7,3(16,0)	7,3(16,0)	7,3 (16,0)	254(10,0)	9,0	120,0	Sin escorificación
45,4 (100,0)	7,3(16,0)	6,4(14,0)	3,6 (8,0)	6,4 (14,0)	254(10,0)	10,0	180,0	Fusión del material en la chimenea

10

ES 2 720 508 T3

Ejemplo 5: Gasificación de material de alimentación

Materia prima

5

Se utilizaron las siguientes materias primas:

JBT: mezcla de 20% de madera, 40% de cartón, 40% de papel de oficina (base en peso seco)

10

VES: mezcla de 80% de cubos de combustible (Lundell Enterprises), 20% de madera (base en peso seco)

15

JBT se preparó en dos mezclas, A y B. JBT mix A incorporó madera que se tamizó para eliminar partículas finas. El cribado se realizó utilizando una red de trasmallo de 9,5 mm (3/8 pulgadas). JBT mix B incorporó madera molida que no había sido cribada. Ambas mezclas incluían astillas de madera (madera dura) para mejorar el tamaño de las partículas de madera.

20

La mezcla de VES se preparó utilizando cubos de combustible diseñados mediante procesos que se trituraron. Los cubos de combustible triturados (80%) se mezclaron luego con madera molida no cribada (20%). Se agregaron astillas de madera para mejorar el tamaño de las partículas de madera.

25

Las composiciones de materia prima fueron las siguientes:

	Madera molida - cribada kg (lb)	Madera molida – no cribada kg (lb)	Astillas de madera kg (lb)	Papel kg (lb)	Cartón kg (lb)	Cubos de combustible kg (lb)
JBT- A	680 (1500)	0	230 (500)	1800 (4000)	1800 (4000)	
JBT- B		680(1500)	230 (500)	1800 (4000)	1800 (4000)	
VES		680(1500)	230 (500)			3600 (8000)

25

El análisis se realizó en cada uno de los componentes de la materia prima. Los resultados fueron los siguientes:

	Papel triturado	Cartón triturado	Cubos de combustible	Madera molida y cribada	Madera molida con partículas finas	Astillas de madera
Análisis final						
C (% en peso)	39,51	46,51	41,82	52,72	53,05	49,48
FI (% en peso)	5,20	5,85	5,60	5,08	5,74	5,51
O (% en peso)	46,28	45,88	40,11	41,45	40,65	43,13
N (% en peso)	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
S (% en peso)	<0,05	0,02	<0,05	<0,05	<0,05	0,01
Cl (% en peso)	0,33	0,02	0,08	0,01	0,02	0,00
Ceniza (% en peso)	8,69	1,54	11,57	0,74	0,54	1,52
Análisis proximal						
Materia volátil (% en peso)	75,27	82,74	75,50	85,65	85,42	86,19
Ceniza (% en peso)	8,69	1,54	11,57	0,74	0,54	1,52
Carbono fijo (% en peso)	12,84	15,72	12,93	13,61	14,04	12,99
Valor de calentamiento kJ/kg (Btu/lb)	14361 (6174)	18959 (8151)	16803 (7224)	19873 (8544)	20585 (8850)	19601 (8427)

ES 2 720 508 T3

El análisis calculado de la mezcla de materia prima fue el siguiente:

Componentes	JBT-A	JBT-B	VES
C (% en peso)	44,55	44,60	44,07
H (% en peso)	5,43	5,53	5,79
O (% en peso)	45,00	44,88	40,11
N (% en peso)	0,50	0,50	0,50
S (% en peso)	0,11	0,11	0,50
Cl (% en peso)	0,14	0,14	0,07
Ceniza (% en peso)	4,28	4,25	9,41

5 Operación del gasificador

Para cada materia prima, el gasificador se hizo funcionar para mantener una altura constante del lecho y optimizar la composición de CO.

- 10 JBT-A: la velocidad de alimentación al gasificador se estableció inicialmente en aproximadamente 36 kg/h (80 lb/h). El flujo de oxígeno en el frente de pistón de transferencia se ajustó a 7,3 kg/h (16 lb/h) y el oxígeno de la garganta fue de aproximadamente 15,0 kg/h (33 lb/h). No se proporcionó flujo de oxígeno en el colector de cenizas inicialmente. El pistón de transferencia se ajustó a una carrera de 150 mm (6 pulgadas) cada 25 minutos.
- 15 Los parámetros operativos del gasificador se ajustaron para lograr una composición de gas de síntesis estable y un lecho de material estable en el gasificador. Una carrera del pistón de transferencia de 250 mm (10 pulgadas) cada 8 minutos y ajustes de flujo de oxígeno de 8,2 kg/h (18 lb/h) en el frente del pistón de transferencia y 5,4 kg/h (12 lb/h) en el colector de cenizas proporcionaron una operación estable.
- 20 Durante las primeras etapas de la prueba, se encontraron algunos trozos grandes de escoria en el gasificador residual. Para reducir esta escoria, 3,6 kg/h (8 lb/h) de CO₂ se alimentaron con oxígeno en el frente del pistón de transferencia. La cantidad de escoria disminuyó después de la adición de CO₂. La cantidad de escoria formada no causó ningún problema en el gasificador.
- 25 JBT-B: la velocidad de alimentación al gasificador se estableció al inicio en aproximadamente 36 kg/h (80 lb/h). El flujo de oxígeno en el frente del pistón de transferencia se fijó en 8,2 kg/h (18 lb/h) y el oxígeno de la garganta fue de aproximadamente 19 kg/h (42 lb/h). No se proporcionó flujo de oxígeno en el colector de cenizas inicialmente. El pistón de transferencia se ajustó a un recorrido de 250 mm (10 pulgadas) cada 25 minutos.
- 30 Los parámetros operativos del gasificador se ajustaron para lograr una composición de gas de síntesis estable y un lecho de material estable en el gasificador. Una carrera del pistón de transferencia de 250 mm (10 pulgadas) cada 10 minutos y ajustes de flujo de oxígeno de 8,2 kg/h (18 lb/h) en el frente del pistón de transferencia y 4,5 kg/h (10 lb/h) en el colector de cenizas proporcionaron una operación estable.
- 35 Durante las primeras etapas de la prueba, se encontraron algunos trozos grandes de escoria en el gasificador residual. Para reducir esta escoria, 3,6 kg/h (8 lb/h) de CO₂ se alimentaron con oxígeno en el frente del pistón de transferencia. La cantidad de escoria disminuyó después de la adición de CO₂. La cantidad de escoria formada no causó ningún problema en el gasificador.
- 40 Las sustancias finas no tuvieron ningún efecto perjudicial en el funcionamiento del gasificador. No hubo una diferencia clara entre el lecho de material al utilizar JBT-A (sin sustancias finas) y JBT-B (con sustancias finas).
- 45 VES: la velocidad de alimentación al gasificador se estableció al inicio en aproximadamente 36 kg/h (80 lb/h). El flujo de oxígeno y el flujo de dióxido de carbono en el frente del pistón de transferencia se fijaron inicialmente en 8,2 kg/h (18 lb/h) y 3,6 kg/h (8 lb/h), respectivamente. El flujo de oxígeno a la garganta fue de aproximadamente 18 kg/h (40 lb/h) y el flujo de oxígeno al colector de cenizas (frente del pistón de ceniza) se estableció inicialmente a 4,5 kg/h (10 lb/h). El pistón de transferencia se ajustó a un recorrido de 250 mm (10 pulgadas) cada 25 minutos.
- 50 Durante la operación del gasificador, las escorias tendían a formarse en la chimenea principal (dentro de las varillas en encendido de lechos más alejados). La escoria empujada por el pistón de transferencia se extendió sobre el colector de cenizas e impidió que el material cayera en el colector, lo que dio como resultado una distribución desigual del material.

ES 2 720 508 T3

5 Durante la operación del gasificador, grandes trozos de escoria obstruyeron el pistón de cenizas e impidieron el movimiento hacia adelante o hacia atrás. El flujo de dióxido de carbono al pistón de transferencia y al pistón de cenizas aumentó a 7,3 kg/h (16 lb/h) y 3,6 kg/h (8 lb/h), respectivamente, pero los aumentos en el CO₂ no fueron suficientes para evitar la escoria.

Los ajustes de flujo de oxígeno y CO₂ para cada uno de los materiales de alimentación se pueden resumir de la siguiente manera:

Materia prima	Tasa de alimentación del gasificador kg/h (lb/h)	Chimenea principal tasa de alimentación de oxígeno kg/h (lb/h)	Colector de cenizas tasa de alimentación de oxígeno kg/h (lb/h)	Garganta tasa de alimentación de oxígeno kg/h (lb/h)	Tasa de alimentación de oxígeno total kg/h (lb/h)	Chimenea principal tasa de alimentación de CO ₂ kg/h (lb/h)	Colector de cenizas tasa de alimentación de CO ₂ kg/h (lb/h)	Tasa de alimentación de CO ₂ total kg/h (lb/h)
JBT-A	36 (80)	8,2 (18)	5,4(12)	~18 (~40)	32 (70)	3,6 (8)	0	3,6(8)
JBT-B	36 (80)	8,2 (18)	4,5(10)	~18 (~40)	31 (68)	3,6 (8)	0	8,2(18)
VES	36 (80)	8,2 (18)	5,4(12)	~20 (~44)	34 (74)	7,3(16)	3,6 (8)	11 (24)

10

La configuración del gasificador para cada uno de los materiales de alimentación se puede resumir de la siguiente manera:

Materia prima	Longitud de carrera de pistón de transferencia mm (in)	Ciclo de carrera de pistón de transferencia (min)	Ciclo de carrera de pistón de ceniza (h)
JBT-A	250(10)	8	5
JBT-B	250(10)	10	5
VES	130 (5)	15	4

15

Las composiciones de gas de síntesis fueron las siguientes para cada uno de los materiales de alimentación. (Los resultados reflejan la composición de gas de síntesis después de la filtración, el lavado húmedo y el secado, y después de la corrección de la purga de nitrógeno utilizada en la limpieza del sistema).

Materia prima	% de CO	% de H ₂	% CO ₂	% de N ₂
JBT-A	38	19	40	3
JBT-B	39	22	36	3
VES	38	18	36	7

20

Se calculó una estimación de la utilización de la alimentación del gasificador usando la siguiente ecuación.

$$\text{Utilización (\%)} = \frac{\left[F \times \left(1 - \frac{A}{100} \right) \right] - \left[R - \left(F \times \frac{A}{100} \right) \right]}{\left[F \times \left(1 - \frac{A}{100} \right) \right]}$$

25 donde

F = tasa de alimentación promedio en el gasificador

A = porcentaje de ceniza en la alimentación

R = tasa residual promedio (residuo eliminado del gasificador)

ES 2 720 508 T3

Se hace referencia a la utilización como el porcentaje del total de componentes no ceniza en la alimentación que se convierte y deja la cámara inferior del gasificador como gas. El cálculo se basa en el supuesto de que cantidades despreciables de componentes de ceniza en la alimentación salgan del gasificador con la corriente de producto de gas.

La utilización para cada materia prima fue la siguiente. La tasa de alimentación promedio y la tasa residual promedio se calcularon en base a los datos operativos. El componente no ceniza en el residuo se calculó basándose en la suposición de que la ceniza total en el residuo es equivalente a la ceniza total en la alimentación.

Materia prima	Tasa de alimentación kg/h (lb/h)	Ceniza en la alimentación (% en peso)	Tasa residual promedio kg/h (lb/h)	Utilización (%)
JBT-A	37,67 (83,04)	4,28	3,67 (8,10)	94,28
JBT-B	40,30 (88,85)	4,25	2,00 (4,40)	99,27
VES	35,74 (78,79)	9,41	4,00 (8,81)	98,04

El balance de ceniza fue el siguiente:

Materia prima	Tasa de alimentación promedio kg/h (lb/h)	Porcentaje de ceniza de alimentación (% en peso)	Tasa de ceniza de alimentación nkg/h (lb/h)	Tasa de eliminación promedio residual del gasificador kg/h (lb/h)	Porcentaje de ceniza residual del gasificador (% en peso)	Tasa de ceniza residual del gasificador kg/h (lb/h)	Diferencia de cenizas kg/h (lb/h)
JBT-A	37,67 (83,04)	4,28	1,61 (3,55)	3,67 (8,10)	52,73	1,94 (4,27)	0,33 (0,72)
JBT-B	40,30 (88,85)	4,25	1,71 (3,76)	2,00 (4,40)	75,75	1,51 (3,33)	0,20 (0,43)
VES	35,74 (78,79)	9,41	3,36 (7,41)	4,00 (8,81)	80,68	3,23 (7,11)	0,14(0,30)

Las tasas medias de alimentación y del gasificador residual se basan en los datos operativos de la planta piloto. Los datos de cenizas se basan en los resultados de análisis de cenizas de laboratorio de alimentos y muestras residuales. Las tasas de ceniza se calcularon multiplicando la tasa de flujo promedio por el porcentaje de ceniza. La diferencia de ceniza es el valor absoluto de la diferencia de velocidad de masa entre la ceniza en la alimentación y la ceniza en el gasificador residual.

Aunque la invención aquí divulgada se ha descrito por medio de realizaciones específicas, ejemplos y aplicaciones de la misma, los expertos en la técnica podrían realizar numerosas modificaciones y variaciones sin apartarse del alcance de la invención expuesta en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso de descomposición térmica no catalítica que comprende:

5 proporcionar una materia prima generalmente sólida a una unidad de descomposición térmica;

mover la materia prima a través de al menos una zona de gasificación en la unidad de descomposición térmica con al menos un pistón de transferencia, en donde el pistón de transferencia se mueve a una velocidad efectiva para proporcionar un tiempo de retención de material de alimentación en la zona de gasificación de 0,25 horas a 3 horas; y

10 y proporcionar oxígeno y, opcionalmente, un gas adicional al frente del pistón de transferencia y permitir que el oxígeno y el gas adicional opcional salgan por el frente del pistón de transferencia a una velocidad de 0,24 a 0,73 g-mol/h-cm² (0,5 a 1,5 lb-mol/h-pie²), en donde, cuando se proporciona el gas adicional, el oxígeno y el gas adicional provistos en el frente del pistón de transferencia están en una relación de 3:1 a 1:2.

2. El proceso de descomposición térmica de la reivindicación 1, en el que el gas adicional se selecciona del grupo que consiste en CO₂, vapor, nitrógeno, metano y mezclas de los mismos.

20 3. El proceso de descomposición térmica de la reivindicación 1, en el que la materia prima forma un lecho de material en movimiento en la unidad de descomposición térmica.

4. El proceso de descomposición térmica de la reivindicación 3, en el que el proceso es eficaz para mantener una temperatura del lecho de material que no exceda los 1260 °C (2300 °F) en cualquier punto del lecho de material, y preferiblemente en el que el proceso es eficaz para mantener una temperatura del lecho de material de 260 °C (500 °F) a 1093 °C (2000 °F).

5. El proceso de descomposición térmica de la reivindicación 3, en el que el proceso es eficaz para mantener una temperatura promedio del lecho de material de 427 °C (800 °F) a 538 °C (1000 °F) y una variación de temperatura a través del lecho de material de 149 °C (300 °F) o menos.

6. El proceso de descomposición térmica de la reivindicación 1, en el que se proporciona oxígeno a la zona de gasificación a una tasa efectiva para proporcionar una relación de O₂ a área:carbono de 0,1 a 0,5.

35 7. El proceso de descomposición térmica de la reivindicación 1, que comprende, además, mover el material de alimentación de al menos una zona de gasificación a al menos una zona de combustión; mover el material de alimentación a través de la al menos una zona de combustión con al menos un pistón de ceniza; y

40 transportar gas desde la al menos una zona de gasificación y al menos una zona de combustión hasta una zona de destrucción de alquitrán para formar un gas de síntesis.

8. El proceso de descomposición térmica de la reivindicación 7, en el que al menos un pistón de ceniza se mueve a una tasa efectiva para proporcionar un tiempo de retención de la materia prima en la zona de combustión de 0,5 horas a 10 horas.

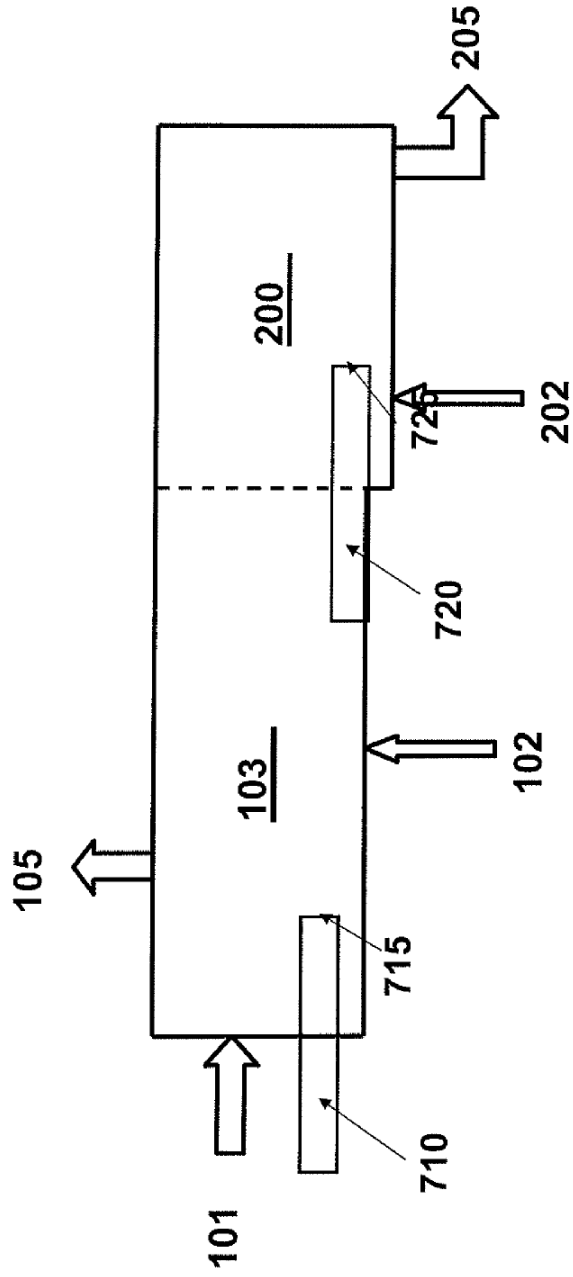
45 9. El proceso de descomposición térmica de la reivindicación 7, en el que el proceso es eficaz para proporcionar un gas de síntesis que tiene un contenido de CO del 20% en moles o más.

50 10. El proceso de descomposición térmica de la reivindicación 7, en el que el proceso es eficaz para proporcionar un gas de síntesis que tiene una relación CO/CO₂ de al menos 0,75.

11. El proceso de descomposición térmica de la reivindicación 1, en el que la materia prima se selecciona del grupo que consiste en material carbonoso, producto líquido carbonoso, reciclaje de líquidos industriales carbonosos, residuos sólidos municipales carbonosos (MSW o msw), residuos urbanos carbonosos, material agrícola carbonoso, material forestal carbonoso, residuos de madera carbonosos, materiales de construcción carbonosos, material vegetal carbonoso, residuos industriales carbonosos, residuos de fermentación carbonosos, productos petroquímicos carbonosos, coproductos derivados de la producción de alcohol carbonoso, carbón carbonoso, neumáticos, plásticos, residuos de plástico, alquitrán de coque, Fibersoft, lignina, licor negro, polímeros de desecho, tereftalato de polietileno (PETA), poliestireno (PS), lodos de lavado, residuos animales, residuos de cultivos, cultivos energéticos, residuos de procesamiento forestal, residuos de procesamiento de madera, residuos de ganado, residuos de aves, residuos de procesamiento de alimentos, residuos de procesos fermentativos, coproductos de etanol, granos gastados, microorganismos gastados, y sus combinaciones.

65 12. El proceso de descomposición térmica de la reivindicación 1, en el que de 1 a 10 varillas de encendido se extienden lejos del frente del pistón de transferencia, y preferiblemente en el que el frente del pistón de transferencia incluye boquillas de gas situadas generalmente debajo de cada varilla de encendido.

FIG. 1



10

FIG. 2

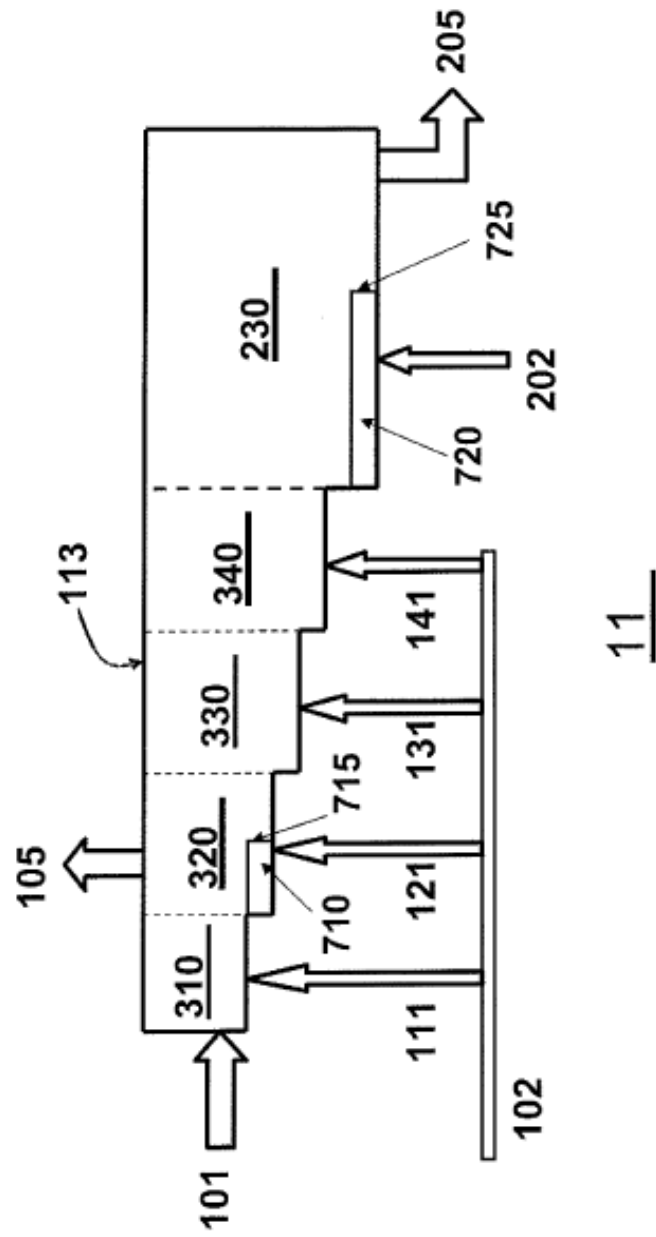
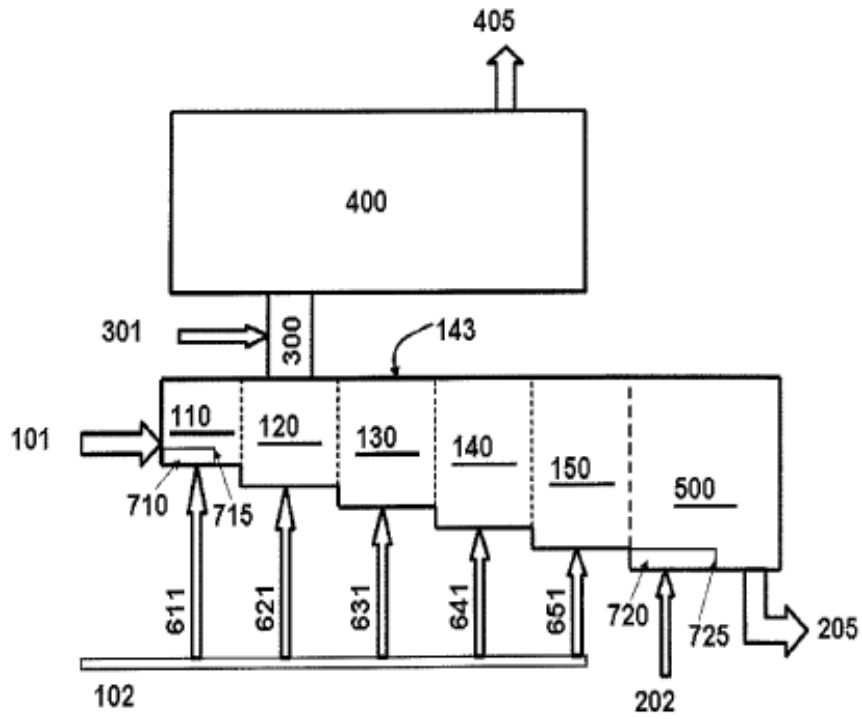


FIG. 3



13

FIG. 4A

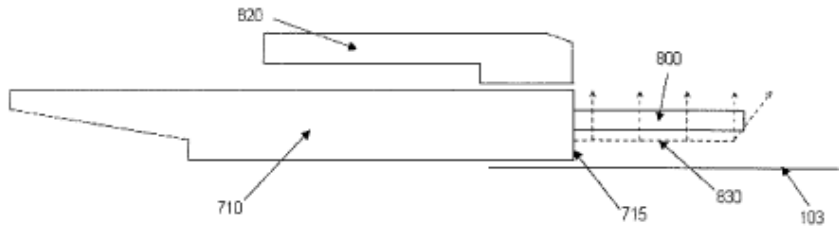


FIG. 4B

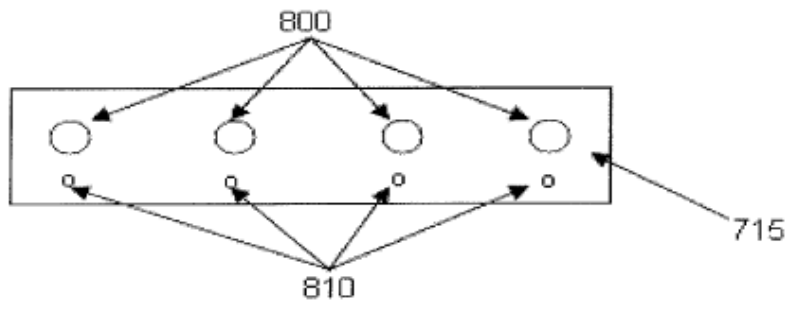
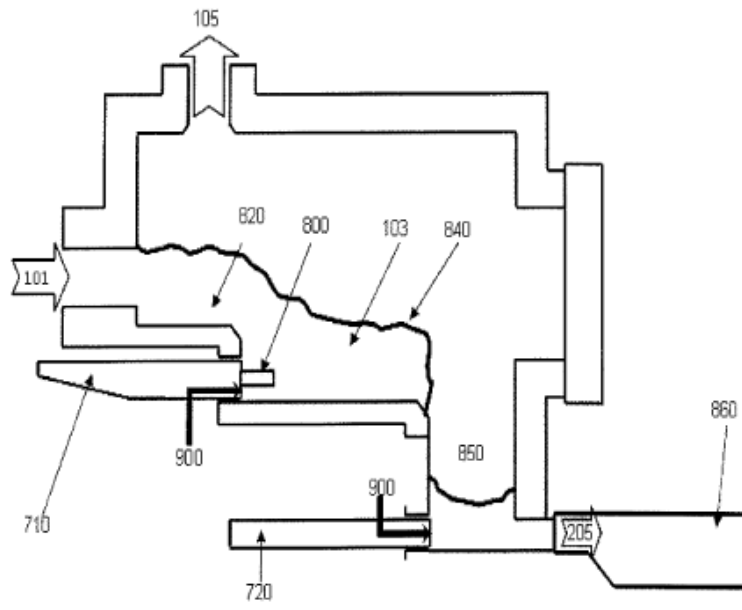
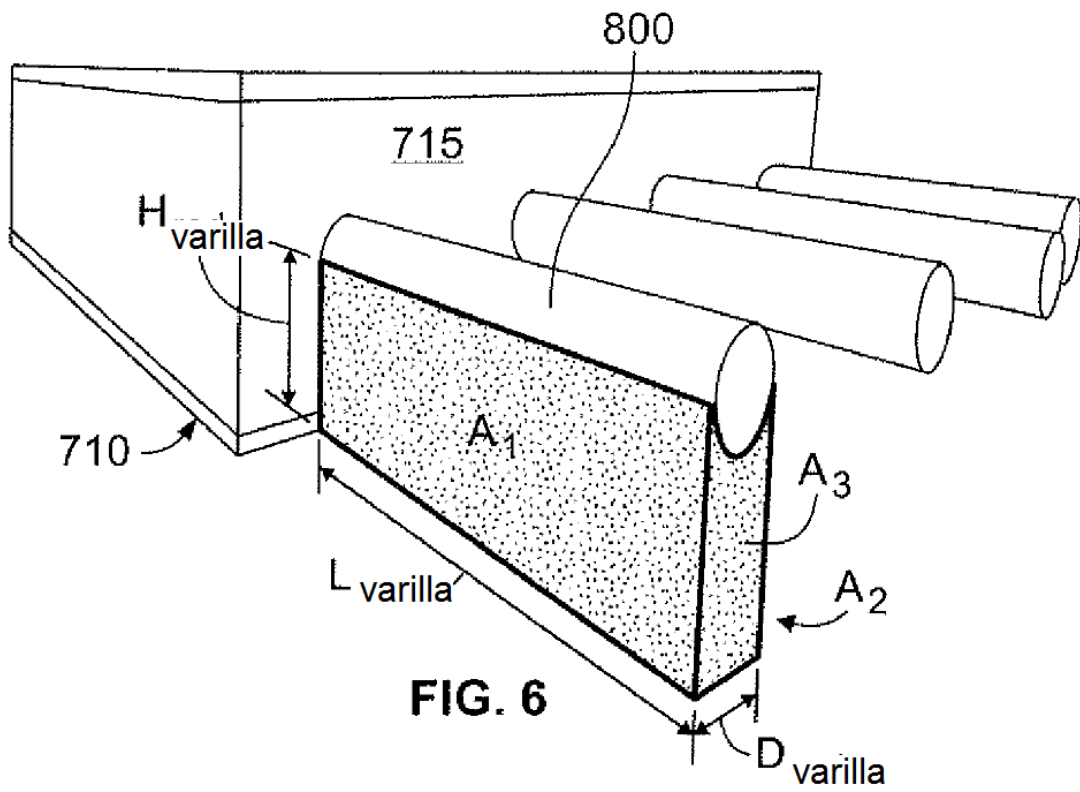


FIG. 5





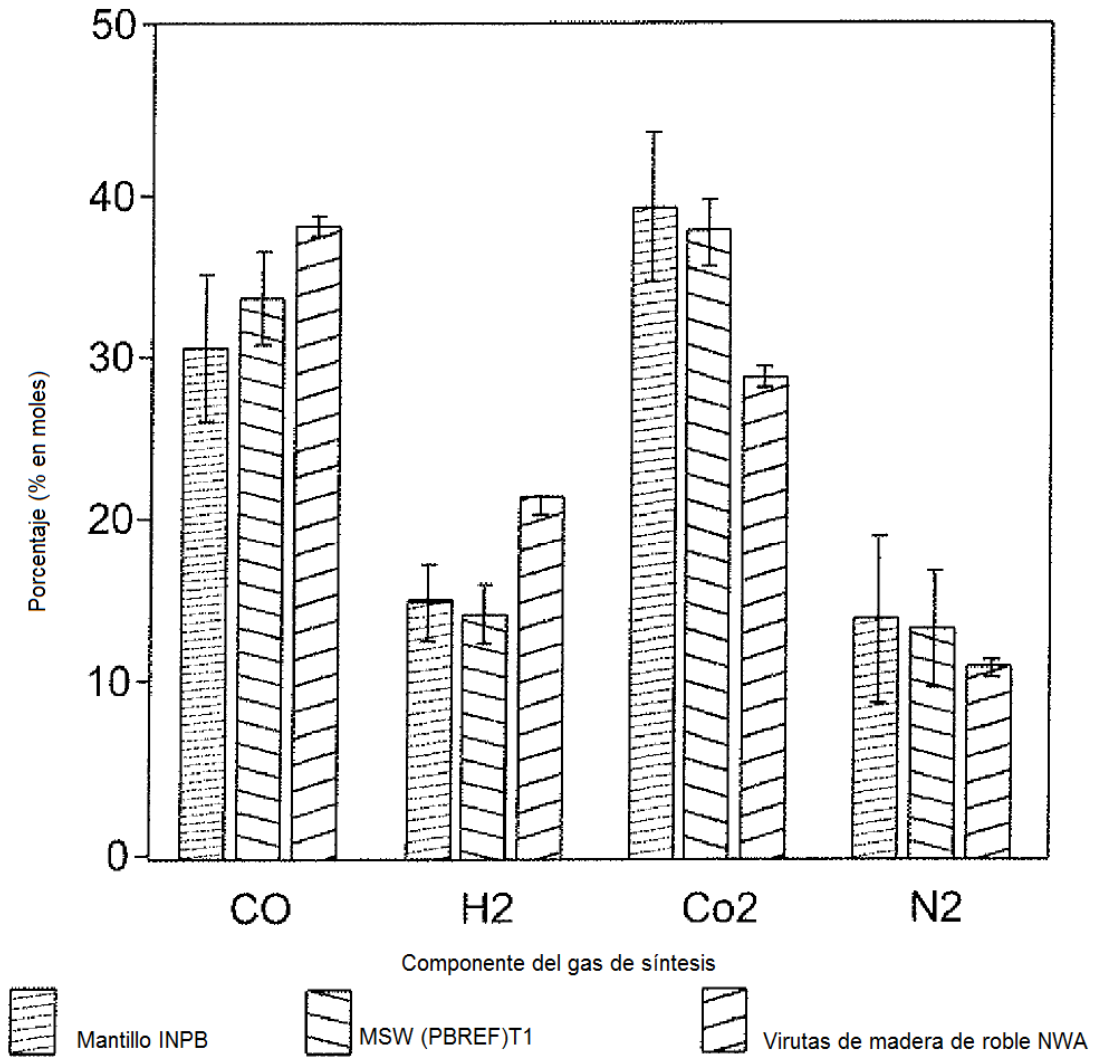


FIG. 7