(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 934 711**

(51) Int. CI.:

B01J 19/20 (2006.01)
C10L 5/40 (2006.01)
C10L 9/08 (2006.01)
C10J 3/82 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.04.2016 PCT/AU2016/050286**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **27.10.2016 WO16168894**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.04.2016 E 16782398 (8)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.11.2022 EP 3285920**

(54) Título: **Aparato y método de pirólisis**

(30) Prioridad:

20.04.2015 AU 2015901409

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.02.2023

(73) Titular/es:

RAINBOW BEE EATER IP PTY LTD. (100.0%)
4 Western Park Road
Somers, Victoria 3927, AU

(72) Inventor/es:

STANLEY, IAN y
BURGESS, PETER

(74) Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

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

Aparato y método de pirólisis

Campo de la invención

La presente invención se refiere al campo de la pirólisis. Más particularmente, la invención se refiere a un aparato y un método para la pirólisis y procesamiento de biomasa.

Antecedentes de la invención

La biomasa es material biológico que puede derivarse de organismos vivos recientes, incluyendo material vegetal y animal. Ejemplos de materiales de los que se puede derivar biomasa son la madera de los bosques, material sobrante de procesos agrícolas y forestales, y desechos orgánicos derivados de humanos, procesos industriales y animales. La biomasa puede utilizarse como fuente renovable de combustible para producir calor o electricidad. La composición de la biomasa es en gran parte carbono, hidrógeno y oxígeno. La biomasa también puede emplearse como materia prima para otros combustibles, incluida la producción de gas de síntesis, a través de su pirólisis.

La pirólisis es la descomposición termoquímica de materia orgánica a temperaturas elevadas. La pirólisis debe ocurrir en una atmósfera sin oxígeno (o gas reactivo) para asegurar que el material orgánico no sufra combustión. A estas temperaturas elevadas y en ausencia de oxígeno, el material orgánico sufre una descomposición química para formar gas de síntesis y el subproducto, biocarbón. El biocarbón puede utilizarse para generar energía o puede, de manera alternativa, utilizarse como un agente modificador del suelo. Otra característica útil de la pirólisis de materia orgánica es que las emisiones potenciales de efecto invernadero permanecen en estado sólido (biocarbón) y, por lo tanto, no se liberan a la atmósfera, haciendo que sea un proceso más respetuoso con el medio ambiente.

Un problema que se encuentra actualmente en la pirólisis es que el polvo, aceites y alquitranes a menudo están presentes en el gas de síntesis generado. Como resultado, el gas de síntesis deberá purificarse antes de poder utilizarse. Otro problema asociado con la pirólisis a gran escala es que es difícil pirolizar biomasa de forma continua. Muchos sistemas de pirólisis son sistemas secuenciales, mediante los cuales la biomasa se carga en una cámara, se inicia la pirólisis, se genera gas de síntesis y se abre la cámara para eliminar el biocarbón antes de que se pueda añadir una nueva carga de biomasa. Las desventajas de este sistema incluyen la pérdida de gas de síntesis cuando se abre la cámara, el tiempo necesario para recargar la cámara y la baja eficacia energética debido al enfriamiento frecuente y al aumento gradual del calor.

Además, la biomasa con alto contenido de humedad puede ser difícil de pirolizar porque se requiere energía térmica adicional para eliminar la humedad antes de que pueda ocurrir la pirólisis. En este sentido, se requiere que la biomasa con alto contenido de humedad se seque o trate por separado antes de introducirla en la cámara de pirólisis. Debido a este requisito, muchas biomasas con alto contenido de humedad se pasan por alto para su uso en pirólisis cuando se puede acceder a biomasa con bajo contenido de humedad. Debido a esto, muchos tipos de biomasa se pasan por alto como posibles fuentes de combustible y no se tiene en cuenta su valor energético.

La publicación US 2008/006520 A1 describe una barrena de alimentación que tiene un tubo que se extiende hasta una pared de la cámara del reactor de pirólisis, y un tornillo de la barrena se extiende desde dentro del tubo a través de la pared hasta, o adyacente a, la cámara del reactor de pirólisis. La solución para evitar el escape de gas de la cámara del reactor de pirólisis (es decir, formar un sello de aire) es comprimir la materia prima antes de entrar en la cámara del reactor de pirólisis proporcionando una cresta elevada en el interior de un extremo del tubo de barrena.

La publicación WO 94/10507 A1 describe un transportador de tornillo para formar biomasa granulada de modo que pueda fluir a través de un recipiente en forma de embudo y alimentarse a una cámara de pirólisis. La solución para evitar el escape de gas del reactor de pirólisis es recoger la biomasa granulada dentro del recipiente en forma de embudo que, junto con un cuchillo de corte, forma un sello de gas.

La publicación CN 203 866 250 U describe un tornillo de alimentación que se extiende hasta y continuamente con un tornillo de un reactor de pirólisis. La solución para evitar el escape de gas del reactor de pirólisis se proporciona mediante el uso de un contenedor sellable que tiene dos válvulas de sellado.

Sería ventajoso proporcionar un aparato de pirólisis y un método de uso del mismo que aborde uno o más de estos inconvenientes o proporcione una alternativa comercial útil.

Compendio de la invención

En un primer aspecto, la invención reside en un aparato de pirólisis (100) que comprende:

a. una cámara de pirólisis (110) que tiene un primer extremo (111) y un segundo extremo (112) y que comprende un transportador de tornillo de pirólisis sin centro (114) que se extiende desde el primer extremo (111) al menos parcialmente hacia el segundo extremo (112) de la cámara de pirólisis (110) y configurada para formar un lecho de biomasa;

b. una entrada de alimentación (120) adyacente al primer extremo (111) de la cámara de pirólisis (110);

c. una salida de biocarbón (130) adyacente al segundo extremo (112) de la cámara de pirólisis (110);

d. una salida de gas (140) en comunicación fluida con la cámara de pirólisis (110) y ubicada adyacente al primer extremo (111); y

e. al menos un puerto de inyección de gas (115) ubicado adyacente al segundo extremo (112),

en donde la entrada de alimentación (120) comprende un transportador de tornillo de alimentación sin centro (122) y un espacio entre un extremo del transportador de tornillo de alimentación sin centro (122) y la cámara de pirólisis (110), en donde el segundo extremo (112) de la cámara de pirólisis (110) está libre de salidas de gas, y en donde el transportador de tornillo de alimentación sin centro (122) está configurado para formar un tapón de biomasa (124) en el espacio entre el extremo del transportador de tornillo de alimentación sin centro (122) y la cámara de pirólisis (110).

La salida de biocarbón (130) puede comprender además un transportador de tornillo de biocarbón sin centro (132).

Puede haber un espacio entre un extremo del transportador de tornillo de biocarbón sin centro (132) y una evacuación de la salida de biocarbón (130).

El aparato de pirólisis (100) puede comprender además una válvula de biocarbón (134) en comunicación con la salida de biocarbón (130).

En un segundo aspecto, la invención reside en un método de procesamiento de biomasa que incluye las etapas de:

a. proporcionar un aparato de pirólisis (100) que comprende:

i. una cámara de pirólisis (110) que tiene un primer extremo (111) y un segundo extremo (112) y que comprende un transportador de tornillo de pirólisis sin centro (114) que se extiende desde el primer extremo (111) al menos parcialmente hacia el segundo extremo (112) de la cámara de pirólisis (110) y configurada para formar un lecho de biomasa, y en donde el segundo extremo (112) de la cámara de pirólisis (110) está libre de salidas de gas;

ii. una entrada de alimentación (120) adyacente al primer extremo de la cámara de pirólisis (110), en donde la entrada de alimentación (120) comprende un transportador de tornillo de alimentación sin centro (122) y un espacio entre un extremo del transportador de tornillo de alimentación sin centro (122) y la cámara de pirólisis (110), en donde el transportador de tornillo de alimentación sin centro (122) está configurado para formar un tapón de biomasa (124) en el espacio entre el extremo del transportador de tornillo de alimentación sin centro (122) y la cámara de pirólisis (110);

iii. una salida de biocarbón (130) adyacente al segundo extremo (112) de la cámara de pirólisis (110);

iv. una salida de gas (140) en comunicación fluida con la cámara de pirólisis (110) y ubicada sustancialmente adyacente al primer extremo (111); y

v. al menos un puerto de inyección de gas (115) ubicado adyacente al segundo extremo (112);

b. introducir biomasa desde la entrada de alimentación (120) hasta el primer extremo (111) de la cámara de pirólisis (110);

c. mover la biomasa desde el primer extremo (111) de la cámara de pirólisis (110) hasta el segundo extremo (112) de la cámara de pirólisis (110) para pirolizar la biomasa y producir gas de síntesis y biocarbón;

d. retirar el biocarbón de la cámara de pirólisis (110) a través de la salida de biocarbón (130); y

e. provocar que el gas de síntesis se mueva en una dirección generalmente desde el segundo extremo (112) hasta el primer extremo (111) para ser eliminado a través de la salida de gas (140),

para así procesar la biomasa.

La salida de biocarbón (130) puede comprender además un transportador de tornillo de biocarbón sin centro (132).

Puede haber un espacio entre un extremo del transportador de tornillo de biocarbón sin centro (132) y una evacuación de la salida de biocarbón (130).

Se puede formar un gradiente de temperatura en la cámara de pirólisis (110).

El aparato de pirólisis (100) puede comprender además una válvula de biocarbón (134) en comunicación con la salida de biocarbón (130).

El gas puede seleccionarse entre oxígeno o aire atmosférico.

Se puede formar un tapón de biocarbón (133) en la salida de biocarbón (130).

Se puede formar una biomasa densamente empaquetada en la cámara de pirólisis (110).

El gas de síntesis puede ser filtrado por la biomasa densamente empaquetada.

El método puede ser un método de procesamiento continuo de biomasa.

Otras características y ventajas de la presente invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada.

Breve descripción de los dibujos

Para ayudar a comprender la invención y permitir que un experto en la técnica ponga la invención en práctica, las realizaciones preferidas de la invención se describirán a modo de ejemplo solo con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 es una vista en planta del aparato de pirólisis;

la figura 2 es un proceso de formación de un tapón de biomasa; y

la figura 3 es un proceso de formación de un tapón de biocarbón.

Descripción detallada de la invención

Las realizaciones de la presente invención residen principalmente en un aparato de pirólisis y un método de procesamiento de biomasa para producir gas de síntesis y biocarbón. Por consiguiente, el aparato y las etapas del método se han ilustrado en forma esquemática concisa en los dibujos, que muestran solo aquellos detalles específicos que son necesarios para comprender las realizaciones de la presente invención, pero sin oscurecer la descripción con detalles excesivos que serán fácilmente evidentes para los expertos en la técnica que se benefician de la presente descripción.

En esta memoria descriptiva, adjetivos tales como primero y segundo, y similares pueden usarse únicamente para distinguir un elemento o acción de otro elemento o acción sin que necesariamente requieran o impliquen tal relación u orden real. Palabras tales como "comprende" o "incluye" pretenden definir una inclusión no exclusiva, de tal manera que un método o aparato que comprende una lista de elementos no incluya solo esos elementos sino que pueda incluir otros elementos no enumerados expresamente, incluyendo elementos que son inherentes a tal método o aparato.

El término "biomasa", como se emplea en esta memoria, se refiere a materiales orgánicos renovables que pueden utilizarse como combustibles. Las biomasas específicas incluyen, a modo de ejemplo no limitante, productos forestales, productos agrícolas, materia animal, paja, astillas de madera y recortes de vid.

La expresión "transportador de tornillo sin centro", como se emplea en esta memoria, se refiere a un mecanismo que utiliza una hoja de tornillo helicoidal giratoria, que puede denominarse paleta, para mover materiales granulares o líquidos a lo largo de una trayectoria. La bobina en espiral es accionada por un extremo y libre por el otro y carece del eje central de los transportadores de tornillo tradicionales. La expresión tal como se aplica en el presente documento se utiliza en el contexto de transportadores de tornillo sin centro que se utilizan para mover material a través de un "transportador de tornillo de pirólisis sin centro" de una cámara de pirólisis, para introducir material a dicho "transportador de tornillo de alimentación sin centro" de la cámara, y para aceptar y retirar material pirolizado de dicho "transportador de tornillo de biocarbón sin centro" de la cámara.

El término "aproximadamente", como se emplea en esta memoria, significa que la cantidad es nominalmente el número que sigue al término "aproximadamente", pero la cantidad real puede variar de este número preciso en un grado sin importancia.

El término 'biocarbón', como se emplea en esta memoria, puede intercambiarse con la expresión "carbón vegetal".

Con referencia a la figura 1, se muestra un aparato de pirólisis. El aparato de pirólisis 100 comprende una cámara de pirólisis 110 que tiene un primer extremo 111 y un segundo extremo 112. Una entrada de alimentación 120 está ubicada generalmente adyacente al primer extremo 111 y una salida de biocarbón 130 está ubicada generalmente adyacente al segundo extremo 112. Una salida de gas 140 está en comunicación fluida con el interior hueco de la cámara de pirólisis 110 y está ubicada sustancialmente adyacente a la entrada de alimentación 120 y, por tanto, adyacente al primer extremo 111.

La cámara de pirólisis 110 tiene preferiblemente la forma de una tubería o tubo y tiene un interior hueco u orificio 113 a lo largo de su longitud. La cámara de pirólisis 110 se puede construir de acero dulce u otros materiales adecuadamente resistentes a altas temperaturas. En una realización, la cámara de pirólisis 110 puede tener una longitud que es aproximadamente 8 a aproximadamente 12 veces mayor que su diámetro, preferiblemente de aproximadamente 10 veces su diámetro. La cámara de pirólisis 110 comprende ventajosamente un transportador de

tornillo de pirólisis sin centro 114 que, en la realización mostrada, se extiende a lo largo del orificio 113. El transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114 puede girar independientemente con respecto a la cámara de pirólisis 110. El transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114 actúa para mover la biomasa a lo largo de la cámara de pirólisis 110 desde el primer extremo 111 hasta el segundo extremo 112. El transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114 proporciona claras ventajas en funcionamiento sobre un transportador de tornillo de eje tradicional.

Los transportadores de tornillo o paletas tradicionales mueven la biomasa pero no contribuyen a un empaquetamiento más denso de esa biomasa. Esto significa que cualquier hueco o cavidad que normalmente se forma dentro de la biomasa durante la carga se mantiene en gran medida. Además, los transportadores de tornillo o paletas tradicionales requieren más energía para mover el material en comparación con el transportador de tornillo sin centro. El transportador de tornillo sin centro requiere menos energía porque hay menos fricción entre el transportador de tornillo sin centro y el material que se mueve. Esto mejora la eficacia del aparato de pirólisis 100. Además de esto, el uso de un transportador de tornillo sin centro reduce la probabilidad de que el material (biomasa o biocarbón) se atasque entre el exterior del transportador de tornillo sin centro y la pared asociada en virtud de que el material puede voltearse y caer al hueco del transportador de tornillo sin centro. Además de esto, la velocidad de rotación de los transportadores de tornillo sin centro también puede ser relativamente lenta y seguir siendo eficaz, lo que también reduce el desgaste del tornillo.

El presente transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114, que no está provisto de un eje central, proporciona más espacio para el constante volteo y reformado del lecho de biomasa y se ha descubierto que forma ventajosamente un lecho más denso con relativamente pocos huecos o cavidades. Esto proporciona ventajas significativas en el funcionamiento porque el lecho de biomasa densa actúa como un excelente sistema de intercambio de calor a contracorriente entre la biomasa en el primer extremo de la cámara de pirólisis 110 y el gas de síntesis calentado, y esto se analiza con más detalle más adelante. En determinadas realizaciones, el gas de síntesis se enfría desde temperaturas de pirólisis (400 °C-700 °C) a 60 °C a 80 °C y, al mismo tiempo, la biomasa introducida se calienta desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de secado y finalmente hasta la temperatura de pirólisis. Por lo tanto, este intercambio de calor da como resultado la eliminación de la humedad en la biomasa. El lecho de biomasa densa producido por el efecto de volteo aporta además importantes ventajas en cuanto a la filtración de aceites, alquitranes y partículas del gas de síntesis. En una realización, el transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114 forma una biomasa densamente empaquetada.

La ausencia relativa de huecos y cavidades en la biomasa requiere que el gas de síntesis penetre, en una trayectoria serpenteante, a través de la biomasa densamente empaquetada que logra efectos significativos de intercambio de calor y filtración, y esto se analiza con más detalle a continuación. Por último, el presente transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114 proporciona una mayor eficacia energética general y un producto de gas de síntesis mucho más limpio que puede extraerse y usarse en operaciones posteriores sin o con mínimas operaciones de limpieza adicionales. El biocarbón y el gas de síntesis resultantes son de calidad y cantidad comerciales, y no requieren purificación adicional. Esto da como resultado un proceso más eficiente con un alto rendimiento de productos útiles. Por ejemplo, una tonelada de astillas de madera de goma azul procesada a través del aparato de pirólisis 100 produce gas de síntesis con una densidad de energía de aproximadamente 5 a aproximadamente 9 Mj/m^3 en la cantidad de aproximadamente 5 a aproximadamente 7 Gj/tonelada de biomasa (base seca), y entre aproximadamente 250 kg y aproximadamente 350 kg de biocarbón con más del 85 % de carbono fijo.

Se apreciará que el empaquetamiento denso de biomasa solo es realmente beneficioso en la parte de la cámara de pirólisis 110, más cercano al primer extremo 111, antes de que ocurra la pirólisis. La biomasa se seca progresivamente y a continuación se piroliza a medida que avanza a través de la zona de pirólisis, momento en el que se ha reducido a aproximadamente un tercio de su volumen original y, por lo tanto, ya no juega un papel en la filtración y purificación del gas de síntesis. Por lo tanto, en una realización, el transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114 simplemente se extiende desde el primer extremo 111 al menos parcialmente hacia el segundo extremo 112 de la cámara de pirólisis 110. En determinadas realizaciones, el transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114 se extiende desde el primer extremo 111 hasta al menos un tercio del camino a lo largo de la cámara de pirólisis 110 hacia el segundo extremo 112. Puede ser que el transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114 simplemente termine en este punto y la biomasa sea empujada más adelante por el movimiento constante de más biomasa suministrada por el transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114. En una realización adicional, el transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114 se extiende desde el primer extremo 111 hasta al menos aproximadamente la mitad del camino a lo largo de la cámara de pirólisis 110 hacia el segundo extremo 112. Preferiblemente, el transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114 se extiende sustancialmente entre el primer extremo 111 y el segundo extremo 112. Se prefiere esta realización ya que las ventajas en el empaquetamiento de la biomasa se obtienen en el primer tercio más o menos de la longitud de la cámara de pirólisis 110 (desde el primer extremo 111) y es más simple en términos de construcción simplemente continuar este diseño de transportador tanto como sea necesario para mover eficientemente la biomasa a través de la zona de pirólisis y suministrarla tan cerca de la salida de biocarbón 130 como sea necesario.

En una realización, la abertura o perforación que forma el centro del transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114 está sustancialmente libre de cualquier estructura o dispositivo tal como, por ejemplo, una barra de calentamiento, lanceta de inyección de gas o similar. Es decir, la abertura u orificio del transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114 es transparente y/o puede describirse como un hueco que está definido por las paletas del transportador de tornillo de pirólisis sin centro. Si se ubicara una estructura a través de la abertura u orificio del transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114, entonces las ventajas analizadas anteriormente no podrían realizarse en la misma medida.

Se apreciará que la ubicación de la entrada de alimentación 120, la salida de biocarbón 130 y la salida de gas 140 en relación con la cámara de pirólisis 110 es importante para lograr las ventajas antes mencionadas. Además de esto, la formación del tapón de biomasa 124 y el tapón de biocarbón 133, analizados a continuación, también son importantes para la presente invención. La combinación de estas características hace que el gas de síntesis sea forzado a través de la biomasa densamente empaquetada, en la cámara de pirólisis 110, para salir a través de la salida de gas 140, y da como resultado gas de síntesis sustancialmente libre de partículas. Esta biomasa densamente empaquetada filtra eficazmente el gas de síntesis de materia particular.

La cámara de pirólisis 110 es preferiblemente una cámara única ya que es más compacta y utiliza menos componentes. El uso de menos componentes reduce el riesgo de posibles fallos mecánicos en el aparato de pirólisis 100. A este respecto, solo se requiere una única cámara de pirólisis 110 para lograr el flujo a contracorriente del gas de síntesis. Sin embargo, el experto en la técnica apreciará que se pueden utilizar múltiples tuberías o tubos siempre que se consiga un flujo a contracorriente a través del denso tapón de biomasa.

Los condensados se forman dentro de la cámara de pirólisis. Estos condensados incluyen alquitranes y aceites y pueden ensuciar el aparato de pirólisis 100, la salida de gas 140 y la maquinaria aguas abajo que utilizan el gas de síntesis, como calderas o motores. Un problema con los aparatos de pirólisis de la técnica anterior es que quedan cantidades significativas de aceites y alquitranes y materia en forma de partículas en el gas de síntesis que sale del pirolizador. En este sentido, el gas de síntesis de los aparatos de pirólisis de la técnica anterior puede no ser adecuado para su uso en calderas modernas de alta eficacia, motores de gas o turbinas de gas que requieren niveles muy bajos de partículas, aceites y alquitranes. Dicho gas de síntesis requiere costosos sistemas de purificación.

El presente aparato de pirólisis 100 alivia este problema mediante el filtrado continuo a contracorriente del gas de síntesis que sale a través de la biomasa densamente empaquetada entrante. Las partículas, los aceites y los alquitranes son captados por la biomasa y trasladados hacia la zona de pirólisis. Niveles muy bajos de partículas, aceites y alquitranes permanecen en el gas de síntesis cuando evacúan el aparato de pirólisis 100 en la salida de gas 140 (del orden de 10-100 mg/m^3).

El flujo a contracorriente del gas de síntesis, como se mencionó anteriormente, calienta y seca la biomasa a medida que se desplaza hacia la salida de gas 140. La biomasa filtra eficazmente el gas de síntesis y, al mismo tiempo, transfiere energía térmica a la biomasa. Otra ventaja de este flujo a contracorriente es que mantiene una gran superficie de contacto con la biomasa y permite una transferencia de energía térmica eficiente.

A este respecto, un calentador o elemento calefactor, como una lanceta como la que se puede utilizar en la técnica anterior, solo da como resultado que se cree un área de superficie de transferencia de calor relativamente pequeña entre la biomasa y la fuente de calor, y no facilita la transferencia de energía térmica eficiente. Los efectos secundarios de esto son una conversión más lenta de la biomasa en biocarbón y gas de síntesis, más ensuciamiento del aparato de pirólisis y requiere una rotación más rápida del tornillo para garantizar que la biomasa esté constantemente expuesta a la fuente de calor.

Sin embargo, se apreciará que la principal ventaja de la presente invención radica en el flujo a contracorriente del gas de síntesis a través de la biomasa densamente empaquetada. A este respecto, se apreciará que el aparato de pirólisis 100 puede incluir un elemento calefactor que calienta la biomasa, cerca del segundo extremo 112 de la cámara de pirólisis 110, a las temperaturas de pirólisis. En esta configuración, se apreciará que aún se logrará el flujo de gas de síntesis a contracorriente y se obtendrá gas de síntesis sustancialmente libre de materia en forma de partículas.

En esta realización, el elemento calefactor o los elementos calefactores pueden producir energía térmica a partir de cualquier fuente eléctrica. La energía térmica generada por el(los) elemento(s) calefactor(es) puede ser suministrada mediante electricidad, cualquier otra fuente de energía adecuada o a partir de energía solar térmica. Sería ventajoso obtener esta energía térmica de un recurso renovable ya que es más respetuoso con el medio ambiente.

El transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114 puede estar hecho de acero inoxidable y otros materiales apropiados como se entendería en la técnica. La velocidad a la que gira se puede controlar para mover la biomasa a una velocidad óptima, que puede variar según la naturaleza y el contenido de humedad de la biomasa, por lo que la biomasa se piroliza completamente sin tiempo adicional innecesario en la cámara de pirólisis 110.

La entrada de alimentación 120 es generalmente adyacente al primer extremo 111 de la cámara de pirólisis 110. En una realización, la entrada de alimentación 120 solo está ubicada adyacente al primer extremo 111. En otra realización, la entrada de alimentación 120 está ubicada dentro de un tercio de la longitud de la cámara de pirólisis 110 desde el primer extremo 111 de la cámara de pirólisis 110. En una realización adicional, la entrada de alimentación 120 está ubicada dentro de un cuarto de la longitud de la cámara de pirólisis 110 desde el primer extremo 111 de la cámara de pirólisis 110. La entrada de alimentación 120 tiene un interior hueco o un orificio 121. La entrada de alimentación 120 comprende además un transportador de tornillo de alimentación sin centro 122 a lo largo del orificio 121. El transportador de tornillo de alimentación sin centro 122 gira independientemente hacia la entrada de alimentación 120 y tiene un diseño similar al del transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114.

La velocidad de rotación del transportador de tornillo de alimentación sin centro 122 puede variar. Un experto en la técnica apreciará que la velocidad de rotación del transportador de tornillo de alimentación sin centro 122 determina

la velocidad a la que se introduce la biomasa en la cámara de pirólisis 110 y, por tanto, en el transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114. La velocidad de rotación del transportador de tornillo de alimentación sin centro 122 se ajustará para adaptarse a la velocidad de rotación del transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114. Este ajuste se realiza preferiblemente a través de un sistema automatizado mediante el cual el ajuste de la velocidad de rotación del transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114 para adaptarse a la biomasa que se proporciona automáticamente da como resultado un ajuste apropiado en la velocidad de rotación del transportador de tornillo de alimentación sin centro 122. Particularmente, el equilibrio del flujo de biomasa entre el transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114 y el transportador de tornillo de alimentación sin centro 122 puede mantenerse detectando el par del transportador de tornillo de alimentación sin centro 122 que es sensible al nivel de biomasa en el mismo. Esta medición del par se usa a continuación para ajustar la velocidad de suministro. En una realización, la tasa de introducción de biomasa a la cámara de pirólisis 110 se controla deteniendo y reiniciando la rotación del transportador de tornillo de alimentación sin centro 122 detectando el par del transportador de tornillo de alimentación sin centro.

En realizaciones preferidas, hay un espacio en el orificio 121 de la entrada de alimentación 120 entre un extremo del transportador de tornillo de alimentación sin centro 122 adyacente a la cámara de pirólisis 110 y la cámara de pirólisis 110. Una ventaja particular del aparato de la presente invención es que el transportador de tornillo de alimentación sin centro 122 es capaz de generar un tapón de biomasa 124 en este espacio o hueco formado entre el extremo del transportador de tornillo de alimentación sin centro 122 más cercano a la cámara de pirólisis 110 y el punto de entrada a la cámara de pirólisis 110. La falta de presencia de estructura del transportador de tornillo de alimentación sin centro 122 en este espacio da como resultado la formación de un denso tapón de biomasa 124. Se ha descubierto que este tapón de biomasa 124 es sustancialmente hermético a los gases y, por lo tanto, es un medio eficiente para mantener el gas de síntesis dentro del aparato de pirólisis 100 sin necesidad de ningún componente de aparato especializado adicional para este fin. Una ventaja clave sobre la técnica anterior es que, dado que la propia biomasa se está utilizando como sello hermético al gas, y se renueva constantemente a través de la introducción de nueva biomasa, el aparato de pirólisis 100 puede funcionar de forma continua en lugar de discontinua. Las ventajas en el funcionamiento continuo son claras y esto se posibilita en el presente aparato 100 mediante el uso del transportador de tornillo de alimentación sin centro 122. Se ha descubierto que al dejar un espacio en el orificio 121 de la entrada de alimentación 120 entre el transportador de tornillo de alimentación sin centro 122 y la cámara de pirólisis 110, se permite que se forme el tapón de biomasa 124 en este espacio para acumularse y volverse más denso y profundo, mejorando así la calidad del sellado. En una realización, la superficie de la entrada de alimentación 120 adyacente al tapón de biomasa 124 puede ser rugosa, marcada o provista de un recubrimiento o material de mayor fricción para aumentar el agarre de la biomasa que se fuerza a través y, por lo tanto, ayudar a formar y mantener la densidad del tapón de biomasa 124. En una realización adicional, el tapón de biomasa 124 se puede ajustar para que sea más profundo aumentando la longitud de la entrada de alimentación 120 o haciendo que el extremo del transportador de tornillo de alimentación sin centro 122 esté a una distancia mayor de la entrada a la cámara de pirólisis 110 y así mejorar la capacidad del tapón para formarse y "automantenerse". En una realización, se forma un tapón de biomasa 124 en la entrada de alimentación 120. En otra realización, el tapón de biomasa 124 se forma en la entrada de alimentación 120 adyacente a la cámara de pirólisis 110. En una realización, el tapón de biomasa 124 impide sustancialmente que la cámara de pirólisis 110 y la entrada de alimentación 120 estén en comunicación fluida.

Se ha encontrado que este enfoque para la formación y el mantenimiento del tapón de biomasa 124 requiere menos par y, por lo tanto, energía, desde el transportador de tornillo de alimentación sin centro 122. También da como resultado un sello más confiable que tiene menos tendencia a estallar debido a la acumulación de gas dentro de la cámara de pirólisis 110.

El transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114 se encuentra en un plano horizontal. Sin embargo, se apreciará que la cámara de pirólisis 110 puede desviarse de este plano siempre que no afecte materialmente al funcionamiento de la cámara de pirólisis 110. La entrada de alimentación 120 puede introducir biomasa en la cámara de pirólisis 110 en cualquier ángulo, ya que el tapón de biomasa 124 está formado por la fricción entre la biomasa con la entrada de alimentación 120 y la ausencia de paletas del transportador de tornillo de alimentación sin centro 122, en esa sección. En una realización, el ángulo formado entre la entrada de alimentación 120 y la cámara de pirólisis 110 está adecuadamente entre 0° y 90°, más preferiblemente entre 0° y 45° y lo más preferiblemente 0° o 180°. En otras palabras, lo más preferible es tener la entrada de alimentación 120 conectada a la cámara de pirólisis 110 en el mismo plano.

En una realización, la entrada de alimentación 120 puede estar conectada a la cámara de pirólisis 110 a través de un conducto de transferencia (no mostrado). El conducto de transferencia ayuda a permitir que los componentes del tapón de biomasa 124 se expandan y fragmenten, y también proporciona una pequeña cámara de compensación que asegura que la entrada al transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114 esté continuamente "inundada" con biomasa reciente que mantiene una paleta completa en el transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114.

Una tolva de alimentación de biomasa 123 está en comunicación con la entrada de alimentación 120. La biomasa se puede introducir en la entrada de alimentación 120 a través de la tolva de alimentación de biomasa 123. A continuación, la biomasa se mueve al primer extremo 111 de la cámara de pirólisis 110 mediante el transportador de tornillo de alimentación sin centro 122. Para biomasas más grandes, la tolva de alimentación de biomasa 123 puede recibir material de biomasa desde un dispositivo de reducción (no mostrado) para reducir el tamaño de la biomasa. Los dispositivos específicos incluyen una trituradora, picadora de tambor giratorio, trituradora de tolva y molino de martillos. Otros mecanismos adecuados para reducir el tamaño de la materia de biomasa serán evidentes para un experto en

la técnica. Se apreciará que no será necesario reducir el tamaño de toda la biomasa. Para conseguir todas las ventajas del efecto de compactación en el tapón de biomasa 124 y la purificación de gas en la cámara de pirólisis 110, es preferible que la biomasa tenga menos de aproximadamente 25 mm de diámetro. Esto permite la facilidad de volteo y reempaquetamiento dentro de la biomasa proporcionando así la densidad apropiada para las operaciones ya descritas.

La cámara de pirólisis 110 puede comprender además al menos un puerto de inyección de gas 115. El al menos un puerto de inyección de gas 115 está ubicado generalmente hacia el segundo extremo 112 de la cámara de pirólisis 110 en la región donde ocurrirá la pirólisis. El al menos un puerto de inyección de gas 115 inyecta gas en la cámara de pirólisis 110 para iniciar un nivel mínimo requerido de combustión de biomasa para mantener un intervalo de temperatura adecuado. El gas inyectado en la cámara de pirólisis 110 puede ser cualquier gas que sea capaz de iniciar la combustión. Los gases adecuados incluyen oxígeno o cualquier gas que contenga oxígeno, como el aire atmosférico. Por lo tanto, al pasar del primer extremo 111 hacia el segundo extremo 112 de la cámara de pirólisis 110 se producirá la combustión de la biomasa y esto conduce a que se forme un gradiente de temperatura entre el primer extremo 111 y el segundo extremo 112. La cámara de pirólisis 110 está aislada para evitar la pérdida del calor generado durante la pirólisis.

El al menos un puerto de inyección de gas está ubicado generalmente hacia el segundo extremo para que se forme un gradiente de temperatura en la cámara de pirólisis 110. Como se mencionó anteriormente, la biomasa densamente empaquetada solo es realmente beneficiosa en la parte de la cámara de pirólisis 110 más cercana al primer extremo 110. Si el al menos un puerto de inyección de gas 115 está ubicado a lo largo de la cámara de pirólisis 110, entonces la biomasa se reducirá en volumen y no formará la biomasa densamente empaquetada. En este sentido, el al menos un puerto de inyección de gas está ubicado hacia el segundo extremo 112 para que la pirólisis y, por lo tanto, la generación de gas de síntesis solo ocurra hacia el segundo extremo 112. Esto fuerza al gas de síntesis caliente en una dirección a contracorriente. En una realización, el al menos un puerto de inyección de gas 115 solo está ubicado adyacente al segundo extremo 112. En otra realización, el al menos un puerto de inyección de gas 115 está ubicado dentro de un tercio de la longitud de la cámara de pirólisis 110 desde el segundo extremo 112 de la cámara de pirólisis 110. En una realización adicional, la al menos una porción de inyección de gas 115 está ubicada dentro de un cuarto de la longitud de la cámara de pirólisis 110 desde el segundo extremo 111 de la cámara de pirólisis 110. Esto también da como resultado que la energía térmica se transfiera gradualmente a la biomasa y se forme un gradiente de temperatura. El gradiente de temperatura permite que se produzca la pirólisis adyacente al segundo extremo 112 mientras se mantiene la biomasa densamente empaquetada cerca del primer extremo. En una realización, se forma un gradiente de temperatura en la cámara de pirólisis.

Los expertos en la técnica apreciarán que se pueden usar otros métodos para introducir gas en la cámara de pirólisis 110. Otro método adecuado puede ser el uso de una lanza colocada para introducir un gas en la cámara de pirólisis 110 para iniciar la combustión de la biomasa.

La temperatura en el segundo extremo 112 es adecuadamente superior a aproximadamente 200 °C, más adecuadamente entre aproximadamente 200 °C y aproximadamente 1000 °C, preferiblemente entre aproximadamente 400 °C y aproximadamente 600 °C, y lo más preferiblemente entre 450 °C y aproximadamente 550 °C. Se apreciará que el aparato de pirólisis 100 se ha descrito para su uso en pirólisis por conveniencia. Los expertos en la técnica apreciarán que el aparato de pirólisis 100 y el método descritos en esta memoria pueden aplicarse igualmente a la torrefacción y la gasificación.

Por ejemplo, cuando el aparato de pirólisis se aplica a la torrefacción, la temperatura del segundo extremo 112 es adecuadamente superior a aproximadamente 150 °C, más adecuadamente entre aproximadamente 150 °C y aproximadamente 500 °C, preferiblemente entre aproximadamente 200 °C y aproximadamente 400 °C y lo más preferiblemente entre 200 °C y aproximadamente 350 °C. De manera alternativa, cuando el aparato de pirólisis se utiliza para la gasificación, la temperatura del segundo extremo 112 es adecuadamente superior a aproximadamente 400 °C, más adecuadamente entre aproximadamente 500 °C y aproximadamente 1500 °C, preferiblemente entre aproximadamente 700 °C y aproximadamente 1000 °C.

La temperatura de la cámara de pirólisis 110 se controla por múltiples sensores que retroalimentarán a un sistema de control y controlarán la cantidad de gas inyectado por el al menos un puerto de inyección de gas 115 y/o la lanza, que a su vez determina cuánto calor se genera a partir de la combustión y, por lo tanto, la temperatura del segundo extremo 112 de la cámara de pirólisis 110.

La salida de biocarbón 130 está ubicada en el segundo extremo 112 de la cámara de pirólisis 110 y comprende además un interior hueco u orificio 131 y un transportador de tornillo de biocarbón sin centro 132. En una realización, la salida de biocarbón 130 solo se ubica adyacente al segundo extremo 112. En otra realización, la salida de biocarbón 130 está ubicada dentro de un tercio de la longitud de la cámara de pirólisis 110 desde el segundo extremo 112 de la cámara de pirólisis 110. En una realización adicional, la salida de biocarbón 130 está ubicada dentro de un cuarto de la longitud de la cámara de pirólisis 110 desde el segundo extremo 112 de la cámara de pirólisis 110. El transportador de tornillo de biocarbón sin centro 132 está ubicado a lo largo del orificio 131 y puede girar independientemente con respecto a la salida de biocarbón 130. El movimiento de rotación del transportador de tornillo de biocarbón sin centro 132 elimina el biocarbón de la cámara de pirólisis 110 a través de una evacuación de la salida de biocarbón 130. En una realización preferida, hay un espacio entre un extremo del transportador de tornillo de biocarbón sin centro 132

más alejado de la cámara de pirólisis 110 y una evacuación de la salida de biocarbón 130. Esto fomentará la formación de un tapón de biocarbón 133 en el espacio entre el extremo del transportador de tornillo de biocarbón sin centro 132 y la evacuación de la salida de biocarbón 130. Se aplican todos los comentarios hechos para la entrada de alimentación 120 *mutatis mutandis* a la salida de biocarbón 130, incluido el enfoque para formar el tapón de biocarbón 133 y el uso opcional de una superficie de mayor fricción en la región adyacente a la evacuación de la salida de biocarbón 130. La velocidad rotacional del transportador de tornillo de biocarbón sin centro 132 puede variarse como se describió anteriormente para los otros transportadores. Un experto en la técnica apreciará que la velocidad de rotación del transportador de tornillo de biocarbón sin centro 132 determina la velocidad a la que se elimina el biocarbón de la cámara de pirólisis 110 y, por lo tanto, se ajustará automáticamente en función de la velocidad establecida para el transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114. En una realización, se forma un tapón de biocarbón 133 en la salida de biocarbón 130. En otra realización, el tapón de biocarbón 133 se forma en el espacio entre el extremo del transportador de tornillo de biocarbón sin centro 132 y la evacuación de la salida de biocarbón 130. En una realización, el tapón de biocarbón 133 evita que la salida de biocarbón 130 esté en comunicación fluida con la atmósfera externa.

La cámara de pirólisis 120 puede introducir biocarbón en la salida de biocarbón 130 en cualquier ángulo, ya que el tapón de biocarbón 133 está formado por la fricción entre el biocarbón con la salida de biocarbón 130 y la ausencia de paletas del transportador de tornillo de biocarbón sin centro 132, en esa sección. En una realización, el ángulo formado entre la cámara de pirólisis 110 y la salida de biocarbón 130 está adecuadamente entre 0° y 90°, más preferiblemente entre 0° y 45° y lo más preferiblemente 0° o 180°. En otras palabras, lo más preferible es tener la salida de biocarbón 130 conectada a la cámara de pirólisis 110 en el mismo plano.

En la figura 1, la salida de biocarbón 130 se extiende a través de la cámara de pirólisis 110. El biocarbón que se forma en el segundo extremo 112 de la cámara de pirólisis 110 cae en las paletas del transportador de tornillo de biocarbón sin centro 132. El agua o el condensado recuperado se rocía sobre el biocarbón a medida que viaja a lo largo de la salida de biocarbón 130 para enfriar y pasivar el biocarbón y permitir que el contenido de humedad correcto forme el tapón de biocarbón 133. Por lo tanto, a medida que el biocarbón viaja a lo largo de la salida de biocarbón 130, se enfría y el contenido de humedad aumenta para que el biocarbón resultante sea seguro para manipular y almacenar.

La salida de gas 140 tiene un orificio 141 a lo largo de su longitud y puede ser una tubería o tubo estándar de transferencia de gas. La salida de gas 140 está en comunicación fluida con la cámara de pirólisis 110 y elimina el gas de síntesis de la cámara de pirólisis 110. En una realización, la salida de gas 140 y el conducto de transferencia se asientan dentro de una cámara de expansión. La cámara de expansión reduce la velocidad del gas de síntesis para fomentar la eliminación de cualquier partícula de biomasa y gotículas de condensado. En una realización, la salida de gas 140 comprende además una cesta de biomasa que se puede reemplazar de vez en cuando, lo que garantiza además que no haya materia en partículas presente en el gas de síntesis.

En una realización, la salida de gas 140 está ubicada solo en el área adyacente al primer extremo 111 de la cámara de pirólisis 110. En otra realización, la salida de gas 140 está ubicada dentro de un tercio de la longitud de la cámara de pirólisis 110 desde el primer extremo 111 de la cámara de pirólisis 110. En una realización adicional, la salida de gas 140 está ubicada dentro de un cuarto de la longitud de la cámara de pirólisis 110 desde el primer extremo 111 de la cámara de pirólisis 110. En una realización, la salida de gas 140 está ubicada sustancialmente adyacente al primer extremo 111 de la cámara de pirólisis 110. En una realización, todas las salidas de gas en comunicación fluida con la cámara de pirólisis 110 están ubicadas sustancialmente adyacentes al primer extremo.

Los expertos en la técnica apreciarán que se puede utilizar más de una salida de gas 140 en la presente invención siempre que estas salidas de gas 140 estén ubicadas como se describe en la presente memoria anteriormente. En una realización, el aparato de pirólisis comprende más de una salida de gas. Se apreciará que se requiere que la salida de gas 140 se coloque antes de la zona de pirólisis y antes de la biomasa densamente empaquetada para lograr el flujo a contracorriente, el filtrado de gas de síntesis y la transferencia eficiente de energía térmica deseados.

Una ventaja del aparato 100 es que no es necesario secar la biomasa antes de introducirla en la cámara de pirólisis 110, por lo que se puede utilizar biomasa con mayor contenido de humedad. Gran parte del calor sensible y latente del gas de síntesis se transfiere a la biomasa entrante, dando como resultado el secado de la biomasa. El contenido de humedad de la biomasa que se puede utilizar es adecuadamente del 0 % al 70 %, más adecuadamente de 0 % a 50 %, preferiblemente de aproximadamente el 0 % a aproximadamente el 40 % y lo más preferiblemente de aproximadamente el 0 % a aproximadamente el 30 %. Como se analizó anteriormente, el efecto de secado se logra mediante el gradiente de temperatura establecido cuando se produce gas de síntesis adyacente al segundo extremo 112 de la cámara de pirólisis 110 de manera que se mueve hacia el primer extremo 111. El gas de síntesis es, por supuesto, a alta temperatura, recién formado a partir de la pirólisis de la biomasa, y a medida que pasa a través de la biomasa recién ingresada, calienta esa biomasa entrante y hace que pierda humedad. Esto tiene el beneficio adicional de enfriar el gas de síntesis. Debido, en parte, al empaquetamiento eficaz de la biomasa hacia el primer extremo 111, la biomasa está íntimamente en contacto con el gas de síntesis, lo que significa que se obtiene una transferencia de calor eficiente y, por lo tanto, se pueden utilizar materiales de biomasa con mayor contenido de humedad, que normalmente se pasaría por alto o requeriría procesos de secado separados.

En otra realización, el aparato de pirólisis 100 comprende además una válvula de biocarbón 134. La válvula de biocarbón 134 puede comprender una o más válvulas en serie. La válvula de biocarbón 134 se puede conectar a la

evacuación de la salida de biocarbón 130. En una realización, la válvula de biocarbón 134 puede ser una válvula rotatoria tal como una válvula rotatoria de segmentos. En esta realización, el biocarbón sale de la cámara de pirólisis 110 y es retirado por el transportador de tornillo de biocarbón sin centro 132. Se añade agua o condensado al biocarbón, para refrescarlo, mientras está en contacto con el transportador de tornillo de biocarbón sin centro 132 y después de ser suministrado al espacio se forma el tapón de biocarbón 133. El biocarbón del tapón de biocarbón 133 a continuación entra en, y pasa a través de, la válvula de biocarbón 134 y hacia la atmósfera externa donde se puede depositar en una cinta transportadora o similar. La válvula de biocarbón 134 por lo tanto proporciona una contramedida para un fallo potencial del tapón de biocarbón 133. En el caso de que el tapón de biocarbón 133 se vuelva demasiado fluido debido a la adición excesiva de agua o por condensación, el tapón de biocarbón 133 puede no mantener la salida de biocarbón 130 y la atmósfera externa en una comunicación no fluida y, por lo tanto, en este caso, la válvula de biocarbón 134 ayudaría.

En una realización, la válvula de biocarbón 134 es una válvula rotatoria. La válvula rotatoria puede contener varios segmentos que están sellados y, a medida que la válvula rotatoria de segmentos gira, los segmentos aseguran que la salida de biocarbón 130 y la atmósfera externa no estén en comunicación fluida. La válvula rotatoria de segmentos tiene al menos 2 segmentos, preferiblemente 5 o 6. En una realización preferida, la válvula de biocarbón 134 es una válvula rotatoria doble.

El aparato de pirólisis puede comprender además sensores de presión en la entrada de alimentación 120, la cámara de pirólisis 110 y la salida de biocarbón 130. Estos sensores de presión se pueden usar para controlar la presión en cada sección y garantizar que el tapón de biomasa 124 y el tapón de biocarbón 133 no fallen debido a diferencias de presión excesivas. El aparato de pirólisis 100 se equipó con sensores de presión y se controló durante el proceso. Se descubrió que había una caída de presión de entre aproximadamente 10 y aproximadamente 50 KPa entre la zona de pirólisis y la entrada de biomasa, lo que es indicativo de la filtración de gas de síntesis a través de la biomasa densamente empaquetada.

Con referencia a la figura 2, se muestra un diagrama de la entrada de alimentación 120. En la etapa (a) se muestra un transportador de tornillo de alimentación sin centro 122 y un tapón de biomasa 124. A medida que el transportador de tornillo de alimentación sin centro 122 gira, mueve continuamente la biomasa hacia el primer extremo 111 de la cámara de pirólisis 110. A medida que el transportador de tornillo de alimentación sin centro 122 gira, también se mueve y añade más biomasa al tapón de biomasa 124, que se forma en el espacio entre el extremo del transportador de tornillo de alimentación sin centro 122 más cercano a la cámara de pirólisis 110 y la cámara de pirólisis 110. En la etapa (b) se muestra el transportador de tornillo de alimentación sin centro 122 y el tapón de biomasa 124 al que se ha añadido más biomasa. A medida que gira el transportador de tornillo de alimentación sin centro 122, añade más biomasa al tapón de biomasa 124 y simultáneamente empuja el tapón de biomasa 124 hacia el primer extremo 111 de la cámara de pirólisis 110. Por lo tanto, el tapón de biomasa 124 se expande continuamente y se empuja hacia la cámara de pirólisis 110 mientras se asegura que la cámara de pirólisis 110 no esté en comunicación fluida con la entrada de alimentación 120 evitando así el escape de gas de síntesis y la entrada de cantidades indeseables de aire. En la etapa (c) se muestra el extremo delantero del tapón de biomasa 124 colapsando y siendo eliminado por el transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114; un proceso que se repite en operación continua.

Con referencia a la figura 3, se muestra un diagrama de la salida 130 de biocarbón. En la etapa (a) se muestra la salida de biocarbón 130, el transportador de tornillo de biocarbón sin centro 132 y el tapón de biocarbón 133 formados en el espacio entre el extremo del tornillo de biocarbón sin centro 132 más alejado de la cámara de pirólisis 110 y la evacuación de la salida de biocarbón 130. A medida que gira el transportador de tornillo de biocarbón sin centro 132, mueve el biocarbón de la cámara de pirólisis 110 y lo añade al tapón de biocarbón 133 y, por tanto, a la válvula de biocarbón 134. En la etapa (b) se muestra el transportador de tornillo de biocarbón sin centro 132 y el tapón de biocarbón 133 al que se ha añadido más biocarbón. A medida que el transportador de tornillo de biocarbón sin centro 132 gira y añade más biocarbón al tapón de biocarbón 133, empuja simultáneamente el tapón de biocarbón 133 fuera de la salida de biocarbón 130 y dentro de la válvula de biocarbón 134. La válvula de biocarbón 134 gira y asegura que la salida de biocarbón 130 no esté en comunicación fluida con la atmósfera externa. En la etapa (c) se muestra el extremo delantero del tapón de biocarbón 133 que se retira a través de la salida de biocarbón 130 y hacia otro segmento de la válvula de biocarbón 134. Este proceso se repite continuamente.

Durante el funcionamiento, se apreciará que el material de biomasa, que debe ser procesado, se carga en la tolva de alimentación de biomasa 123. Opcionalmente, puede haber sido reducido en tamaño antes de cargarlo en la tolva. A continuación, la biomasa se mueve a través de la entrada de alimentación 120 mediante el transportador de tornillo de alimentación sin centro 122. El movimiento de rotación del transportador de tornillo de alimentación sin centro 122 mueve la biomasa hacia el primer extremo 111 de la cámara de pirólisis 110. Puede haber un espacio entre un extremo del transportador de tornillo de alimentación sin centro 122 y el primer extremo 111 de la cámara de pirólisis 110. El transportador de tornillo de alimentación sin centro 122 añade biomasa y da como resultado la formación del tapón de biomasa 124 en la entrada de alimentación 120 adyacente a la cámara de pirólisis 110. El tapón de biomasa 124 es denso y relativamente ausente de grandes huecos de aire para evitar sustancialmente la comunicación fluida entre la cámara de pirólisis 110 y la entrada de alimentación 120. El transportador de tornillo de alimentación sin centro 122 añade continuamente biomasa al tapón de biomasa 124 y simultáneamente empuja el tapón de biomasa 124 hacia la cámara de pirólisis 110. Esta acción de añadir biomasa al tapón de biomasa 124 mantiene el tapón de biomasa 124, mientras que también introduce biomasa en el primer extremo 111 de la cámara de pirólisis 110.

A continuación, la biomasa del tapón de biomasa 124 se mueve desde el primer extremo 111 al segundo extremo 112 de la cámara de pirólisis 110 mediante el transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114. La cámara de pirólisis 110 tiene al menos un puerto de inyección de gas 115 que inyecta gas para iniciar la combustión de una pequeña porción de la biomasa para proporcionar la temperatura necesaria para la pirólisis. En este sentido, la cámara de pirólisis 110 tiene un gradiente de temperatura, que aumenta desde el primer extremo 111 hasta el segundo extremo 112.

El movimiento de rotación del transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114 da vueltas constantemente y vuelve a empaquetar la biomasa para eliminar los huecos de aire y así un volumen denso de biomasa está presente en el primer extremo 111 de la cámara de pirólisis 110. Este denso volumen de biomasa actúa como filtro e intercambiador de calor, analizados en esta memoria. El transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114 añade continuamente nueva biomasa a medida que empuja simultáneamente la biomasa hacia el segundo extremo 112. A medida que la biomasa se mueve, el aumento de la temperatura eliminará inicialmente cualquier sustancia volátil, como hidrocarburos y humedad, de la biomasa antes de que se inicie la pirólisis. Este proceso da como resultado la acumulación de biocarbón cerca del segundo extremo 112 de la cámara de pirólisis 110.

A continuación, el biocarbón en la cámara de pirólisis 110 se elimina a través de la salida de biocarbón 130. Hay un espacio entre un extremo del transportador de tornillo de biocarbón sin centro 132 y la evacuación de la salida de biocarbón 130. Durante el proceso de evacuación, el transportador de tornillo de biocarbón sin centro 132 forma el tapón de biocarbón 133 a medida que el biocarbón se mueve hacia la evacuación de la salida de biocarbón 130. El tapón de biocarbón 133 es denso y carece de grandes huecos de gas y, por lo tanto, impide sustancialmente la comunicación fluida entre la salida de biocarbón 130 y la atmósfera externa. El biocarbón seco recién formado puede mostrar un comportamiento pirofórico y, en este sentido, puede encenderse espontáneamente cuando se expone al aire. Para aliviar este problema, se puede añadir una cantidad controlada de agua o condensado al biocarbón a través de una o más entradas de agua ubicadas dentro de la salida de biocarbón 130, preferiblemente adyacente a una parte del transportador de tornillo de biocarbón sin centro 132, de modo que el biocarbón se ponga en contacto con el agua antes de evacuar el transportador de tornillo sin centro 132 y formar el tapón de biocarbón 133.

El gas de síntesis producido durante la pirólisis se elimina a través de la salida de gas 140. La salida de gas 140 está ubicada adyacente al primer extremo 111 de la cámara de pirólisis 110 y adyacente a la entrada de alimentación 120. En una realización, la salida de gas 140 está ubicada sustancialmente adyacente a la entrada de alimentación 120. Puede acomodarse dentro de una cámara de expansión. El gas de síntesis se elimina a través de la salida de gas 140 y el gas de síntesis se puede usar directamente como fuente de combustible para generar electricidad y/o procesar calor en calderas, motores de gas o turbinas de gas. El gas de síntesis debe viajar generalmente desde el segundo extremo 112 hasta el primer extremo 111 de la cámara de pirólisis 110 para ser eliminado por la salida de gas 140. Como se mencionó anteriormente, el transportador de tornillo de pirólisis sin centro 114 forma una biomasa densa adyacente al primer extremo 111 de la cámara de pirólisis 110. Esta biomasa densa está sustancialmente ausente de grandes huecos. El gas de síntesis debe penetrar a través de la biomasa densa hasta la salida de gas 140 y, al hacerlo, la biomasa densa lo "filtra" de manera eficaz para eliminar el aceite, alquitrán y material en forma de partículas. La biomasa densa también actúa como un intercambiador de calor mediante el cual el gas de síntesis cede la mayor parte de su calor latente para secar y calentar la biomasa entrante. Si hay grandes huecos, el gas de síntesis encontrará el camino de menor resistencia (a través de los huecos) y el aceite, el alquitrán y el material en forma de partículas no se eliminarán del gas de síntesis y el intercambio de calor será menos eficaz. El aparato de pirólisis 100 reduce o evita sustancialmente este problema.

La salida de gas 140 asegura que la cámara de pirólisis 110 funcione a baja presión (<50 kPA). El pirolizador está diseñado para ser intrínsecamente seguro porque hay muy poco gas inflamable presente en la cámara de pirólisis 110 en cualquier momento. El aparato de pirólisis 100 puede comprender además una unidad automática de purga de nitrógeno. La unidad automática de purga de nitrógeno puede colocarse en comunicación fluida con la cámara de pirólisis 110. La unidad automática de purga de nitrógeno purga la cámara de pirólisis 110 con nitrógeno para garantizar que cualquier combustión descontrolada se vea privada de oxígeno. Los expertos en la técnica apreciarán que en la unidad de purga se puede utilizar cualquier gas que sea capaz de apagar un incendio. Los gases adecuados incluyen nitrógeno, helio, neón, argón, criptón, xenón o dióxido de carbono.

La presión del gas del aparato de pirólisis 100 es controlada por un sistema de control. El sistema de control mantiene la presión del gas en la salida de gas 140 a una ligera presión negativa (20 a 100 Pa) controlando la velocidad a la que se elimina el gas de síntesis del aparato de pirólisis 100. Esto da como resultado que la presión a ambos lados del tapón de biomasa 124 sea similar y, si hay alguna fuga, se elimina una pequeña cantidad de aire con el gas de síntesis a través de la salida de gas, y nada de gas de síntesis se filtra a la atmósfera.

Se ha demostrado que el presente aparato de pirólisis 100 puede pirolizar continuamente biomasa y recolectar continuamente gas de síntesis limpio. Además de esto, el presente aparato de pirólisis 100 puede pirolizar biomasa con alto contenido de humedad. Estas ventajas son posibles debido al uso de varios transportadores de tornillo sin centro que forman el tapón de biomasa 124 y el tapón de biocarbón 133, que impiden sustancialmente la comunicación fluida de la cámara de pirólisis 110 con el entorno externo, y la biomasa entrante densamente empaquetada que filtra y transfiere eficazmente el calor del gas de síntesis existente.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de pirólisis que comprende:

a. una cámara de pirólisis que tiene un primer extremo y un segundo extremo y que comprende un transportador de tornillo de pirólisis sin centro que se extiende desde el primer extremo al menos parcialmente hacia el segundo extremo de la cámara de pirólisis y está configurado para formar un lecho de biomasa;

b. una entrada de alimentación adyacente al primer extremo de la cámara de pirólisis;

c. una salida de biocarbón adyacente al segundo extremo de la cámara de pirólisis;

d. una salida de gas en comunicación fluida con la cámara de pirólisis y ubicada adyacente al primer extremo; y

e. al menos un puerto de inyección de gas ubicado adyacente al segundo extremo,

en donde la entrada de alimentación comprende un transportador de tornillo de alimentación sin centro y un espacio entre un extremo del transportador de tornillo de alimentación sin centro y la cámara de pirólisis, en donde el segundo extremo de la cámara de pirólisis está libre de salidas de gas, y en donde el transportador de tornillo de alimentación sin centro está configurado para formar un tapón de biomasa en el espacio entre el extremo del transportador de tornillo de alimentación sin centro y la cámara de pirólisis.

2. El aparato de pirólisis de la reivindicación 1, en donde la salida de biocarbón comprende además un transportador de tornillo de biocarbón sin centro.

3. El aparato de pirólisis de la reivindicación 2, en donde hay un espacio entre un extremo del transportador de tornillo de biocarbón y una evacuación de la salida de biocarbón.

4. El aparato de pirólisis de la reivindicación 1 a 3, en donde el aparato de pirólisis comprende además una válvula de biocarbón en comunicación con la salida de biocarbón.

5. Un método de procesamiento de biomasa que incluye las etapas de:

a. proporcionar un aparato de pirólisis que comprende:

i. una cámara de pirólisis que tiene un primer extremo y un segundo extremo y que comprende un transportador de tornillo de pirólisis sin centro que se extiende desde el primer extremo al menos parcialmente hacia el segundo extremo de la cámara de pirólisis y está configurada para formar un lecho de biomasa, y en donde el segundo extremo de la pirólisis la cámara está libre de salidas de gas;

ii. una entrada de alimentación adyacente al primer extremo de la cámara de pirólisis, en donde la entrada de alimentación comprende un transportador de tornillo de alimentación sin centro y un espacio entre un extremo del transportador de tornillo de alimentación sin centro y la cámara de pirólisis, en donde el transportador de tornillo de alimentación sin centro está configurado para formar un tapón de biomasa en el espacio entre el extremo del transportador de tornillo de alimentación sin centro y la cámara de pirólisis;

iii. una salida de biocarbón adyacente al segundo extremo de la cámara de pirólisis;

iv. una salida de gas en comunicación fluida con la cámara de pirólisis y ubicada sustancialmente adyacente al primer extremo; y

v. al menos un puerto de inyección de gas ubicado adyacente al segundo extremo;

b. introducir biomasa desde la entrada de alimentación hasta el primer extremo de la cámara de pirólisis;

c. mover la biomasa desde el primer extremo de la cámara de pirólisis al segundo extremo de la cámara de pirólisis para pirolizar la biomasa y producir gas de síntesis y biocarbón;

d. retirar el biocarbón de la cámara de pirólisis a través de la salida del biocarbón; y

e. hacer que el gas de síntesis se mueva en una dirección generalmente desde el segundo extremo hasta el primer extremo para ser eliminado a través de la salida de gas,

para así procesar la biomasa.

6. El método de la reivindicación 5, en donde la salida de biocarbón comprende además un transportador de tornillo de biocarbón sin centro.

7. El método de la reivindicación 6, en donde hay un espacio entre un extremo del transportador de tornillo de biocarbón y una evacuación de la salida de biocarbón.

8. El método de la reivindicación 5, 6 o 7, en donde se forma un gradiente de temperatura en la cámara de pirólisis.

9. El método de la reivindicación 5, 6, 7 u 8, en donde el aparato de pirólisis comprende además una válvula de biocarbón en comunicación con la salida de biocarbón.

10. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 9, en donde el gas se selecciona de oxígeno o aire atmosférico.

11. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 10, en donde se forma un tapón de biocarbón en la salida de biocarbón.

12. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 11, en donde se forma una biomasa densamente empaquetada en la cámara de pirólisis.

13. El método de la reivindicación 12, en donde el gas de síntesis es filtrado por la biomasa densamente empaquetada.

14. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 13, en donde el método es un método de procesamiento continuo de biomasa.

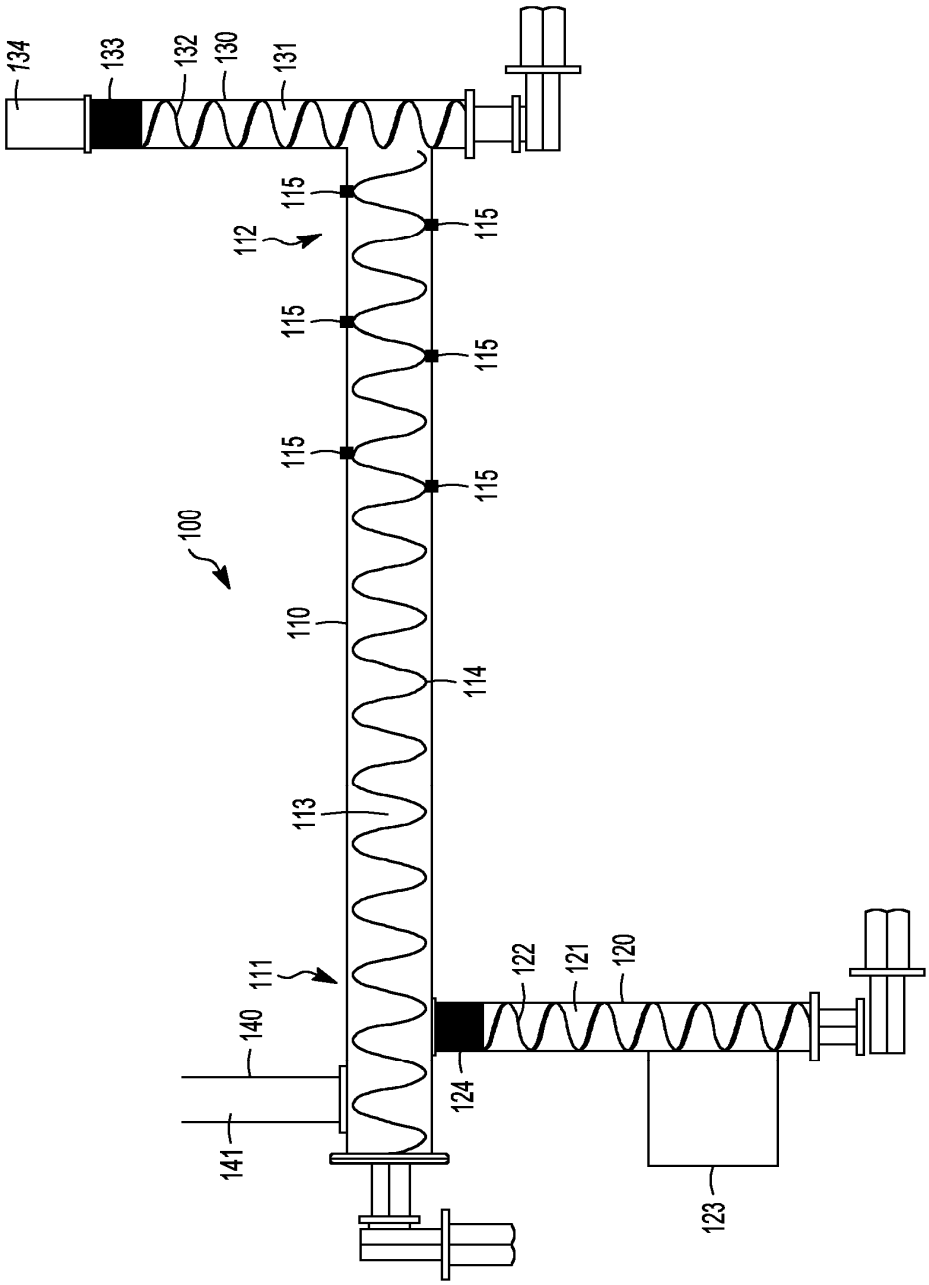

134
133
132
130
131
115
112
100
110
114
113
111
140
141
122
121
120
124
123

FIG. 1

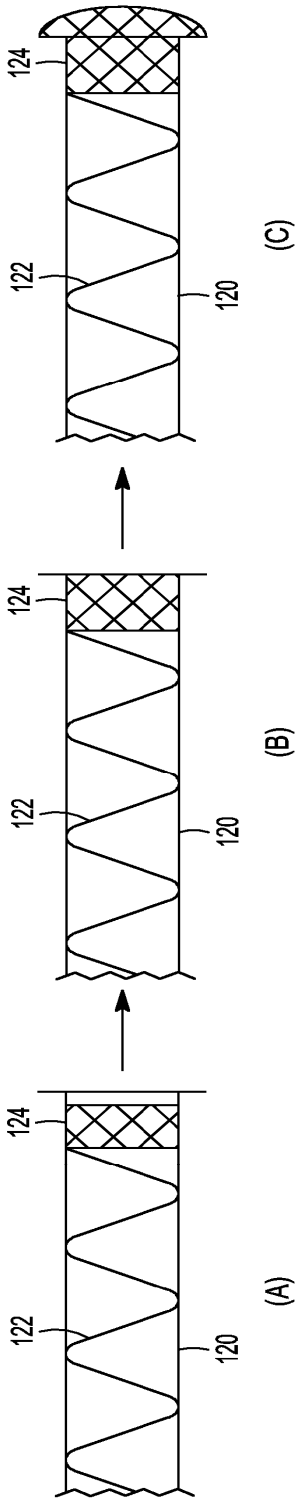


FIG. 2

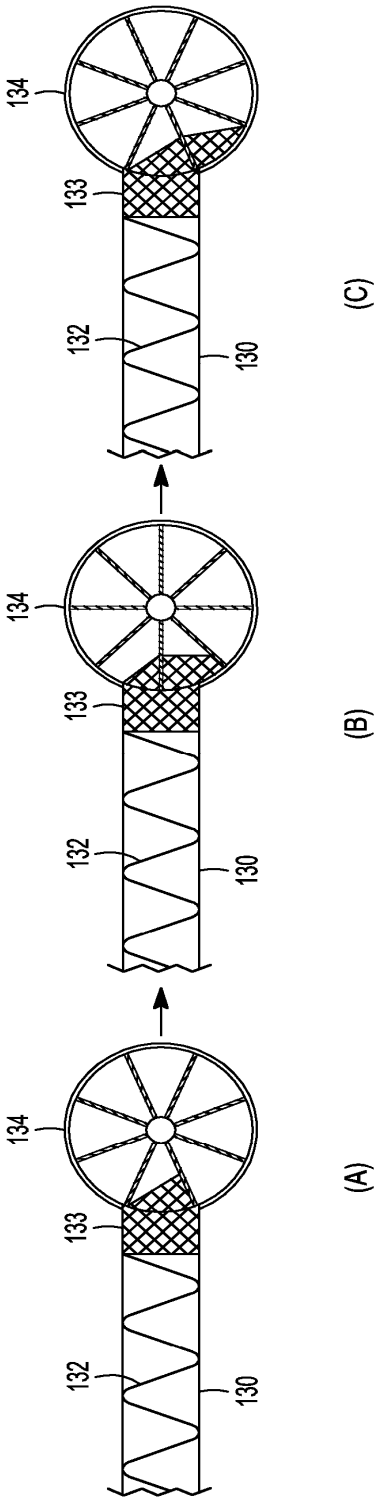


FIG. 3