

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 773 942**

51 Int. Cl.:

C10B 57/14 (2006.01)

C10B 53/02 (2006.01)

C10B 49/16 (2006.01)

C10B 57/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.06.2011 PCT/AU2011/000741**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.12.2011 WO11160163**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.06.2011 E 11797377 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.01.2020 EP 2585556**

54 Título: **Procedimiento de pirólisis con molienda de materia prima carbonosa particulada**

30 Prioridad:

22.06.2010 AU 2010902743

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

15.07.2020

73 Titular/es:

**CURTIN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY (100.0%)
Kent Street
Bentley, Western Australia 6102, AU**

72 Inventor/es:

**LI, CHUN-ZHU;
WANG, XIAOSHAN y
WU, HONGWEI**

74 Agente/Representante:

GARCÍA GONZÁLEZ, Sergio

ES 2 773 942 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

Procedimiento de pirólisis con molienda de materia prima carbonosa particulada

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un procedimiento de pirólisis con molienda de materia prima de biomasa carbonosa particulada para la producción de aceite.

10 Antecedentes de la invención

La pirólisis se refiere a la descomposición térmica de sustancias (materia prima) por calentamiento en un ambiente deficiente en oxígeno. Los procedimientos de pirólisis generalmente se dividen en pirólisis lenta y rápida de acuerdo con la velocidad a la que se calienta la materia prima. El procedimiento tradicional de producción de carbón vegetal se considera un procedimiento de pirólisis lento; da un rendimiento líquido de típicamente alrededor del 30 % (con base en masa seca). La pirólisis rápida de la materia prima, por otro lado, proporciona un rendimiento líquido mucho más alto, ampliamente reportado por encima del 60 % (con base en masa seca). Por lo tanto, la pirólisis rápida es ventajosa sobre la pirólisis lenta cuando el producto buscado de una materia prima carbonosa es un líquido orgánico.

20 Algunas de las tecnologías de pirólisis rápida han alcanzado una escala de demostración (por ejemplo, lecho fluidizado, vacío). Sin embargo, estas tecnologías pueden tener importantes limitaciones técnicas y económicas a escala comercial. Por ejemplo, los pirolizadores de lecho fluidizado requieren el uso de partículas muy finas, típicamente inferior a 2 mm de diámetro, pero la preparación de tales partículas finas de materia prima generalmente conlleva altos costos. Otra deficiencia grave de los lechos fluidizados es que se requiere un volumen muy grande de gas inerte para fluidificar los sólidos inertes y sacar el carbón sintético resultante del reactor. Muchos problemas están asociados con el uso de un gran volumen de gas inerte. Por ejemplo, la presión parcial del vapor orgánico puede llegar a ser extremadamente baja debido a la dilución por el gas inerte, lo que hace que sea difícil enfriar y recoger los componentes orgánicos. Además, un flujo de gas a alta velocidad conduce a la formación de aerosoles que son extremadamente difíciles de recoger. Además, el gas de pirólisis no condensable generado en este procedimiento también se diluye por el gran volumen de gas inerte, lo que hace que la utilización directa de este gas sea más problemática (por ejemplo, en una instalación de combustión para generar calor). El calentamiento continuo (antes de ingresar al lecho fluidizado) y el enfriamiento posterior (para condensar el vapor orgánico como bio-aceite) del gas inerte reduce en gran medida la eficiencia general del procedimiento.

35 El documento CA 1334129 C divulga un procedimiento de pirólisis de materia prima de betún en un aceite, que comprende la molienda y la pirólisis simultánea de materia prima líquida. Se divulga la condensación de gases de mayor punto de ebullición, pero no se divulga la condensación en aceite. El documento US2002029996 A1 divulga un procedimiento térmico para eliminar contaminantes de la materia prima de aceite. El documento GB1494300 A divulga un procedimiento térmico de producción de carbón sintético a partir de una composición de caucho. El documento US3925190 A divulga un aparato y un procedimiento simultáneo de molienda y pirólisis de aceite de esquisto bituminoso. El documento US 2984602 A divulga un aparato y un procedimiento simultáneo de molienda y pirólisis de aceite de esquisto bituminoso. El documento JP2001 200093 A divulga un procedimiento pirolítico para convertir materia prima de plástico en un aceite.

45 Sumario de la invención

La invención proporciona un procedimiento de procesamiento de materia prima carbonosa particulada para la producción de aceite, la materia prima comprende biomasa, el procedimiento que comprende:

50 alimentar la materia prima a un recipiente que tiene un diámetro interno de D metros;
proporcionar uno o más objetos duros en el recipiente en el que uno o más objetos se proporcionan como medios de molienda en una cantidad para ocupar del 10 % al 50 % del volumen V del recipiente;
girar el recipiente a una velocidad del 55 % al 90 % de una velocidad crítica CS en la que: $CS = 42,3/D^{0,5}$ rpm;
mientras el recipiente gira a una velocidad del 55 % al 90 % de CS,
55 someter simultáneamente la materia prima a un procedimiento de reducción de tamaño de partícula y pirólisis en el que el procedimiento de reducción de tamaño de partícula comprende poner en contacto repetidamente la materia prima con uno o más objetos duros; y
condensar el vapor orgánico generado por la pirólisis para formar aceite.

60 Uno o más objetos se pueden proporcionar como medios de molienda compuestos de una pluralidad de objetos separados y libremente móviles que impactan repetidamente a la materia prima y se componen de impartir cantidad de movimiento a los medios de molienda y hacer que los medios de molienda impacten a la materia prima.

El procedimiento puede comprender proporcionar los objetos como objetos de sílice, canto rodado o acero.

65

- El procedimiento puede comprender proporcionar un revestimiento de acero, sílice o revestimiento refractario en el interior del recipiente.
- 5 El procedimiento puede comprender proporcionar una alimentación continua de medios de molienda a través del recipiente.
- La pirólisis puede comprender transferir calor desde los objetos a la materia prima por conducción y convección.
- 10 El procedimiento puede comprender calentar los objetos antes de que los objetos entren en contacto con la materia prima.
- El procedimiento puede comprender el uso de calor residual desde un procedimiento de calentamiento de los objetos para secar la materia prima antes de entrar en contacto con los objetos.
- 15 El procedimiento puede comprender calentar los objetos mientras los objetos están en contacto con la materia prima.
- En una realización, la pirólisis comprende calentar el recipiente.
- 20 El procedimiento puede comprender generar calor para la pirólisis por la combustión de gases no condensables producidos por la pirólisis de la materia prima.
- El procedimiento puede comprender realizar una pirólisis a una temperatura para maximizar el rendimiento del aceite. En un ejemplo, esto comprende realizar una pirólisis a una temperatura entre 350 °C y 650 °C.
- 25 El procedimiento puede comprender realizar una pirólisis a una temperatura suficiente para provocar la torrefacción de la materia prima. En un ejemplo, esto comprende realizar una pirólisis a una temperatura inferior a 320 °C.
- En una realización, el procedimiento comprende proporcionar oxígeno limitado en el recipiente para permitir la combustión parcial de volátiles y/o carbón sintético producido por la pirólisis de la materia prima para generar al menos una parte del calor para la pirólisis de la materia prima.
- 30 En una realización, el procedimiento comprende condensar vapor orgánico generado por la pirólisis sobre el carbón sintético generado por la pirólisis para producir una mezcla de aceite/carbón sintético.
- 35 En una realización en variante, el procedimiento comprende condensar vapor orgánico generado por la pirólisis para producir aceite y mezclar carbón sintético generado por la pirólisis para producir una suspensión de aceite/carbón sintético.
- 40 En una realización, el procedimiento comprende alimentar productos generados por la pirólisis de la materia prima como combustible para un sistema de combustión o gasificación. Esta realización también puede comprender el uso de un sistema de combustión o gasificación como fuente de calor para la pirólisis.
- En una realización, el procedimiento comprende alimentar productos generados por la pirólisis de la materia prima a una caldera o gasificador como combustible de combustión combinada.
- 45 Se divulga pero no se reivindica una planta para la molienda simultánea y la pirólisis de materia prima carbonosa particulada que comprende:
- 50 una máquina capaz de reducir el tamaño de partícula de la materia prima; y, una fuente de calor capaz de calentar la materia prima mientras la máquina opera para reducir el tamaño de partícula de la materia prima para realizar la pirólisis de la materia prima.
- La máquina puede comprender una máquina de molienda o una trituradora.
- 55 La máquina puede comprender medios de molienda en forma de una pluralidad de objetos separados y libremente móviles y un recipiente en el que los medios de molienda y la materia prima entran en contacto entre sí para efectuar la reducción del tamaño de partícula de la materia prima.
- La máquina puede funcionar girando el recipiente para impartir cantidad de movimiento a los medios de molienda y hacer que los medios de molienda impacten repetidamente en la materia prima.
- 60 La planta puede comprender un mecanismo que hace circular los medios de molienda a través del recipiente.
- Los medios de molienda, cuando están en el recipiente, pueden ocupar del 10 % al 50 % del volumen V del recipiente.
- 65 El recipiente puede rotarse a una velocidad del 55 % al 90 % de una velocidad crítica CS en la que:

$CS = 42,3/D^{0,5}$ rpm, donde D es el diámetro interno del recipiente en metros.

La fuente de calor puede estar dispuesta para calentar los medios de molienda antes de que los medios de molienda entren en contacto con la materia prima.

5 En variante o adicionalmente, la fuente de calor puede operar para calentar el recipiente.

La fuente de calor puede comprender un quemador y un sistema de alimentación de gas para alimentar el gas y el vapor no condensado desde la pirólisis de la materia prima al quemador.

10 La planta puede comprender un condensador a través del cual se pueden extraer gases y vapores de pirólisis del pirolizador para condensar y capturar componentes orgánicos de los vapores de pirólisis.

15 La fuente de calor puede estar dispuesta para proporcionar una temperatura de pirólisis para maximizar el rendimiento del aceite. En un ejemplo, esto comprende la fuente de calor que proporciona una temperatura de pirólisis entre 350 °C y 650 °C

20 La fuente de calor puede estar dispuesta para proporcionar una temperatura de pirólisis suficiente para provocar la torrefacción de la biomasa. Como ejemplo, la fuente de calor puede estar dispuesta para proporcionar una temperatura de pirólisis inferior a 320 °C.

La planta puede estar dispuesta para condensar el vapor orgánico generado por la pirólisis sobre el carbón sintético generado por la pirólisis para producir una mezcla de aceite/carbón sintético o suspensión.

25 La planta es parte de un sistema de combustión o gasificación que tiene una cámara de combustión o gasificador, estando la planta dispuesta para alimentar los productos generados por la pirólisis de la materia prima como un combustible para la cámara de combustión o gasificador. Esto también puede comprender proporcionar calor generado por la cámara de combustión o gasificador como fuente de calor para la pirólisis.

30 La planta puede estar dispuesta para alimentar los productos generados por la pirólisis de la materia prima a una caldera o gasificador como combustible de combustión combinada.

Breve descripción de los dibujos

35 Las realizaciones de la presente invención se describirán ahora a modo de ejemplo sólo con referencia a los dibujos acompañantes en los que:

la Figura 1 es una representación esquemática del efecto sobre una partícula de materia prima carbonosa de una realización del presente procedimiento de procesamiento de materia prima carbonosa particulada;

40 la Figura 2 es una representación esquemática de una realización de un procedimiento para el procesamiento de materia prima carbonosa particulada de acuerdo con la presente invención;

la Figura 3 es una representación esquemática de una segunda realización de un procedimiento de procesamiento de materia prima carbonosa particulada de acuerdo con la presente invención; y

45 la Figura 4 es una representación esquemática de una tercera realización de un procedimiento de procesamiento de materia prima carbonosa particulada de acuerdo con la presente invención.

Descripción detallada de las realizaciones preferentes

50 En su forma más amplia, las realizaciones del presente procedimiento de molienda y pirólisis de materia prima carbonosa particulada comprenden someter la materia prima carbonosa particulada a reducción del tamaño de partícula y pirólisis simultánea. Las presentes realizaciones se describen en el contexto de materia prima de biomasa carbonosa particulada. La pirólisis tiene el efecto de formar una capa de carbón sintético sobre una partícula de biomasa y producir vapores orgánicos. Un procedimiento de reducción del tamaño de partícula rompe la capa de carbón sintético de una partícula de biomasa, reduciendo así el tamaño de esa partícula y exponiendo una capa externa relativamente fresca de la partícula. La pirólisis de la partícula de biomasa de tamaño reducido nuevamente da como resultado la formación de una capa de carbón sintético sobre la superficie externa recién expuesta y una producción adicional de vapor orgánico. Esta capa de carbón sintético se rompe por el procedimiento de reducción del tamaño de partícula. Por lo tanto, la pirólisis ayuda al procedimiento de reducción del tamaño de partícula mediante la formación de una capa de carbón sintético que es relativamente frágil, es decir, más triturable que la biomasa original, y por lo tanto se elimina más fácilmente en el procedimiento de reducción del tamaño de partícula. Debido al procedimiento de reducción del tamaño de partícula, las capas secuenciales relativamente "frescas" de una partícula de biomasa se exponen directamente al procedimiento de pirólisis, de esta manera permite que la pirólisis ocurra en el núcleo mismo de una partícula de biomasa y en las capas secuenciales a una velocidad rápida. Se considera que esto también da como resultado la generación de volúmenes máximos de vapores orgánicos, lo que aumenta el rendimiento global de bio-aceite. En función de las características estructurales de la biomasa, la fragmentación de las partículas de biomasa de pirolización puede tener lugar de manera más aleatoria que la descrita anteriormente.

65

La figura 1 es una ilustración conceptual de la realización descrita anteriormente del procedimiento para la molienda y pirólisis simultáneas de materia prima particulada de biomasa. Una hipotética partícula de materia prima de biomasa 10a de forma esférica y radio R_a se muestra antes del procesamiento. Si bien en la práctica la reducción del tamaño de partícula y la pirólisis ocurren simultáneamente, para facilitar la descripción en esta Figura, el efecto de estos dos procedimientos se muestra por separado. Cuando la partícula 10a se somete inicialmente a la pirólisis P1, se forma una capa de carbón sintético 12b alrededor de la partícula para formar la partícula procesada 10b. La partícula 10b se somete al procedimiento de reducción de tamaño de partícula C1. Esto tiene el resultado de romper la capa de carbón sintético 12b y formar la partícula procesada 10c. La capa de carbón sintético 12b se rompe en partículas de carbón sintético más finas 14. Como resultado del procedimiento de reducción de tamaño de partícula C1, la partícula 10c ahora tiene una superficie externa relativamente fresca o sin carbón sintético 16c. La pirólisis continúa en la etapa P2 dando como resultado que la pirólisis continúe en la superficie 16c y forme una capa de carbón sintético 12d. La capa de carbón sintético 12d comienza desde la superficie externa 16c y se extiende radialmente hacia dentro formando la partícula procesada 10d. El procedimiento de reducción del tamaño de partícula C2 da como resultado que la capa de carbón sintético 12d se rompa formando más partículas finas de carbón sintético 14 y creando una partícula de biomasa procesada adicional 10e que tiene una superficie externa 16e que está nuevamente expuesta al procedimiento de pirólisis. El procedimiento de pirólisis P3 crea una capa de carbón sintético adicional 12f y una partícula procesada 10f. El procedimiento de reducción del tamaño de partícula C3 da como resultado que la capa de carbón sintético 12f se rompa y forme más partículas finas de carbón sintético 14. Un núcleo de partícula procesada 10f ahora tiene un tamaño donde el procedimiento de reducción de tamaño C3 rompe la partícula restante 10f en múltiples partículas más pequeñas 10g, cada una de las cuales ahora puede ser completamente pirolizada. Las partículas pirolizadas 10g se someten nuevamente al procedimiento de reducción del tamaño de partícula y se descomponen en partículas finas de carbón sintético adicionales 14. Simultáneamente con el procedimiento anterior está la producción de gas de pirólisis, incluido el vapor orgánico. Debe hacerse notar que la partícula puede fragmentarse en cualquier etapa del procedimiento de impacto y molienda.

Como se describe con mayor detalle a continuación, las realizaciones del procedimiento utilizan una máquina o aparato en el que tanto el procedimiento de reducción del tamaño de partículas como la pirólisis ocurren simultáneamente. Esta máquina o aparato usa uno o más objetos duros para contactar y, más particularmente, impactar repetidamente la biomasa particulada mientras la biomasa está sujeta a pirólisis. Los objetos duros pueden fijarse dentro de la máquina o el aparato, como en un molino de martillos, o pueden separarse y moverse libremente tal como en un molino de bolas. En cualquier caso, la pirólisis se logra transfiriendo calor a la biomasa mientras que la misma hace contacto con los objetos duros. La transferencia de calor puede realizarse precalentando los objetos mismos que entran en contacto con la biomasa, o calentando la máquina o el aparato externamente en el que se produce la reducción del tamaño de partícula, o una combinación de ambos. Cuando la reducción del tamaño de partícula se efectúa mediante el uso de objetos separados y de libre movimiento tales como las bolas en un molino de bolas, la transferencia de calor se puede realizar calentando los objetos antes de que entren en contacto con la biomasa y haciendo circular los objetos a través de la máquina o aparato en el que se produce la reducción del tamaño de partícula y la pirólisis. Se prevé además que el calor requerido para el procedimiento de pirólisis se genere al menos en parte por la combustión de gases no condensables producidos por el procedimiento de pirólisis. Otras realizaciones prevén el secado de la biomasa antes de la reducción simultánea del tamaño de partícula y el procedimiento de pirólisis. El secado puede efectuarse usando el calor residual del calentamiento de los objetos.

La figura 2 ilustra una realización de un procedimiento para la molienda y pirólisis simultáneas de biomasa en partículas. La planta 20 comprende un pirolizador con molienda 22, que es una máquina o aparato en el que se producen simultáneamente la reducción del tamaño de partícula y la pirólisis. En esta realización particular, el pirolizador con molienda 22 comprende un molino de bolas 24 que tiene un recipiente o tambor giratorio 26. El molino de bolas 24 también comprende una pluralidad de objetos duros en forma de bolas 28 que juntos constituyen los medios de molienda. Como se explica con mayor detalle más adelante, los medios de molienda 28 pueden circular a través del molino de bolas 24.

La planta 20 también comprende un silo (tolva) 30 para contener materia prima de biomasa de partículas húmedas. El término "húmedo" en el presente contexto pretende significar que la materia prima contiene un contenido de humedad relativamente alto en lugar de que la materia prima esté cubierta o contenga agua superficial. La materia prima particulada de biomasa puede estar, por ejemplo, en forma de astillas de madera. El conducto 32 conduce desde el silo 30 a un secador de biomasa 34. El material de alimentación de biomasa puede tener un alto contenido de humedad, por ejemplo, hasta alrededor de 60 %. El propósito del secador 34 es reducir el contenido de humedad de la materia prima lo más bajo posible, por ejemplo, aproximadamente inferior a 10 %. La temperatura de un medio de calentamiento usado en el secador 34 se controla para que la materia prima de biomasa no experimente ninguna reacción termoquímica significativa (es decir, pirólisis) en el secador 34.

La materia prima seca se transporta desde el secador 34 a través de la línea 36 a una tolva de materia prima de biomasa seca 38. La materia prima seca se alimenta desde la tolva 38 a un conducto 40 que conduce a un soporte de entrada 42 del pirolizador con molienda 22.

Las bolas calentadas 28 desde una tolva 43 pueden entrar en la rampa 40 a través del conducto 45. Así, la biomasa particulada puede mezclarse con las bolas calentadas 28 en el conducto 40, con la mezcla alimentada al soporte de entrada 42.

Un soporte de descarga 44 del pirolizador con molienda 22 conduce al colector de partículas 46, que podría tomar la forma de un ciclón. Una mezcla de carbón sintético y bolas 28 se descarga del soporte 44 en el colector de partículas 46 y posteriormente en un separador de carbón sintético/bola 50. El separador 50 está provisto de un tamiz 52 que tiene un tamaño de malla dispuesto de modo que las bolas 28 corren por la malla 52 a un conducto de descarga 54 y se dirigen a un sistema transportador 56 que transporta las bolas 28 a un calentador 58. Por otro lado, el carbón sintético pasa a través de la malla 52 y se recoge en un soporte de carbón sintético 60 ubicado en la parte inferior del separador 50.

El gas de pirólisis y los vapores producidos en el pirolizador con molienda 22 se recogen a través del conducto 48, por ejemplo, aplicando una presión negativa relativa (es decir, vacío). Para evitar la condensación de los vapores de pirólisis, el conducto 48 se calienta, por ejemplo, mediante el uso de cintas calefactoras a una temperatura de al menos 300 °C y preferiblemente por encima de 400 °C. Los gases y vapores de pirólisis extraídos a través del conducto 48 se procesan a través de un tren de condensación 62 que opera para condensar y capturar componentes orgánicos. Como también se extrae una cantidad considerable de carbón sintético fino (por ejemplo, de un tamaño inferior a 30 micrómetros) a través del conducto 48, el vapor debe pasar a través de un dispositivo de filtrado 49 antes de ingresar al sistema de condensación. Cualquier número de técnicas de condensación conocidas, tales como, pero no limitadas a: enfriamiento, por ejemplo, usando agua o hielo seco; o, la precipitación electrostática, se puede aplicar para capturar los componentes orgánicos de los vapores de pirólisis.

Los gases y/o vapores no condensables de los productos de pirólisis como el dióxido de carbono, el monóxido de carbono, el hidrógeno y diversos hidrocarburos ligeros son dirigidos, por ejemplo, por el ventilador 64, a través del conducto 66 a un quemador de gas 68. Los gases y/o vapor que son combustibles se queman en el quemador de gas 68 generando gas calentado que se alimenta a través del conducto 70 al calentador 58. En variante o adicionalmente, parte del carbón sintético puede quemarse para proporcionar calor adicional para el procedimiento si es necesario. El gas caliente fluye desde el conducto 70 verticalmente hacia arriba a través del calentador 58 a través de bolas empaquetadas 28 que descansan sobre una rejilla inclinada 72. Cuando se desea maximizar el rendimiento de aceite, el calentador 58 calienta o recalienta las bolas 28 a una temperatura de pirólisis que está típicamente por encima entre 350 °C y 650 °C. El gas caliente residual fluye posteriormente a través del conducto 74 al secador 34. Por lo tanto, el calor residual del calentador 58 se utiliza en el secador 34 para reducir el contenido de humedad de la materia prima de biomasa. En una realización en variante el calentador 58 puede estar dispuesto de modo que, en lugar de usar la rejilla inclinada 72, las bolas 28 se puedan descargar verticalmente desde el fondo del calentador 58. Además, el gas caliente usado para calentar las bolas 28 puede introducirse para que fluya en otras direcciones o al menos otras además de verticalmente. El sistema de transporte 56 está aislado para reducir la pérdida de calor de las bolas 28 a medida que circulan desde el separador 50 de regreso al calentador 58.

Ahora se describirá una secuencia de operación típica de la planta 20 junto con parámetros operativos típicos. La materia prima de biomasa se mantiene inicialmente (que puede ser continua en aplicaciones comerciales) en el silo 30 y se transfiere subsecuentemente a través de la rampa 32 al secador 34. En el secador 34 la biomasa se seca, por ejemplo, a un contenido de humedad de alrededor o inferior a 10 %, mediante gases calientes que pasan a través del conducto 74, formando el calor residual del calentador 58. La biomasa seca se transfiere a la tolva 38 y posteriormente se alimenta a través de la rampa 40 al soporte de entrada 42 del pirolizador con molienda 22. La materia prima puede tener características de flujo deficientes y/o podría tender un puente y bloquear así la salida de la tolva 38. Para evitar que esto suceda, se puede instalar un mecanismo de agitación en forma de agitador 39 en la tolva 38. El agitador 39 tiene la forma de un eje central con puntas que se extienden radialmente y se mueven con un movimiento giratorio combinado alrededor de su eje y reciproco lineal a lo largo de su eje. Se ha encontrado que este movimiento del agitador 39 es útil en la alimentación de materia prima cruda de biomasa. Las bolas calentadas 28 descargadas desde la tolva 43, se mezclan con la materia prima de biomasa en la rampa 40 antes de entrar en el pirolizador con molienda 22. Las bolas 28 pueden tener típicamente un diámetro que varía de aproximadamente 10 mm a 120 mm y pueden estar hechas de diversos materiales, incluyendo acero y sílice. Las bolas 28 se proporcionan con la materia prima de biomasa en una relación de masa deseada (por ejemplo, entre seis y diez) en función de la temperatura de pirólisis, que típicamente es de aproximadamente 350 °C a 650 °C, así como la temperatura de las bolas 28 después del recalentamiento. La superficie interior del soporte de entrada 42 está revestida con espirales similares a un tornillo sinfín que ayuda a llevar la materia prima de biomasa y las bolas 28 al recipiente 26. Un motor (no mostrado) opera para hacer girar el recipiente 26 del pirolizador con molienda alrededor de un eje longitudinal central 80. A medida que el recipiente 26 gira, recoge las bolas 28 así como la biomasa para producir un efecto de volteo. La elevación de las bolas 28 imparte cantidad de movimiento a las bolas 28 que al caer repetidamente impactan la biomasa. El calor también se transfiere a la biomasa a través del contacto con las bolas previamente calentadas 28. Al garantizar una atmósfera sustancialmente libre de oxígeno dentro del pirolizador con molienda 22, el calor transferido a la biomasa provoca la pirólisis de la biomasa.

Como se explicó anteriormente en relación con la Figura 1, las acciones combinadas de los impactos repetidos sobre las partículas de biomasa por las bolas 28, así como la transferencia de calor provocan una reducción del tamaño de partículas y pirólisis simultánea de las partículas de biomasa así las partículas de biomasa se reducen progresivamente de tamaño para producir carbón sintético y gases y vapores de pirólisis.

El recipiente 26 se hace girar a una velocidad inferior a la velocidad crítica (CS) a la que la materia prima de biomasa y los medios de molienda 28 en efecto se "pegan" a una superficie interior del recipiente 26 debido a la fuerza centrífuga. CS = $(42,3 \div D^{0,5})$ rpm donde D es el diámetro interno del recipiente 26 en metros. Se considera que un intervalo de velocidad útil para el recipiente 26 está entre 0,55CS y 0,9CS. En este intervalo, se considera, en algunas circunstancias, que una velocidad de 0,75CS produce resultados particularmente buenos. Se considera que estas velocidades son útiles para elevar las bolas 28 a una altura para generar la cantidad de movimiento máxima antes de volver a caer sobre el material de alimentación. La materia prima de biomasa por lo tanto se mezcla y es molida/triturada por las bolas 28 como resultado de la rotación del recipiente 26.

Las bolas 28 pueden estar hechas de acero, sílex, canto rodado de sílice, sílice u otro material. Las bolas 28 pueden ocupar entre 10 % y 50 % del volumen del recipiente 26. En un ejemplo, se considera que una ocupación de la bola 28 de no más del 35 % del volumen del recipiente 26 proporciona buenos resultados. Este volumen es el volumen de las bolas 28 en el recipiente 26 en cualquier momento. Por lo tanto, en la planta 20 donde circulan las bolas 28, la velocidad de circulación está dispuesta para proporcionar una ocupación de bolas en términos de porcentaje del volumen del recipiente 26 de acuerdo con los intervalos indicados anteriormente.

El tamaño de las bolas 28 no necesita ser uniforme para todas las bolas. Por ejemplo, las bolas 28 pueden tener un tamaño de 10 mm a 120 mm de diámetro. Además, es posible dividir el pirolizador con molienda 22 en dos o más compartimientos con bolas más grandes 28 que ocupan compartimientos más cercanos al soporte de entrada 42 donde el tamaño de partícula de la materia prima de biomasa es mayor, con bolas 28 de menor diámetro ubicadas en un compartimiento más cercano al soporte de salida 44 donde el tamaño de partícula de la biomasa es más pequeño. Por lo tanto, las bolas más grandes 28 impactan sobre las partículas más grandes de materia prima de biomasa, y a medida que el tamaño de partícula de la materia prima se hace más pequeño hacia el soporte de descarga 44, se logra una reducción de tamaño más eficiente usando bolas 28 de diámetro más pequeño. En el caso de que se usen particiones y bolas de diferente tamaño, las particiones están formadas por rejillas para permitir que las partículas de tamaño progresivamente más pequeño se muevan de un compartimiento a otro hacia el soporte de descarga 44.

En el caso de que el pirolizador 22 comprenda un único compartimiento, que puede ser beneficioso en el caso de la planta 20 que se muestra en la Figura 2 con una circulación continua de bolas 28, con un extremo de descarga del pirolizador 22 que puede ser cónico, con una porción de diámetro más pequeño del cono que se conecta al soporte de descarga 44. Para ayudar a la descarga de las bolas 28 y el carbón sintético, los revestimientos en espiral pueden fijarse a una superficie interna del soporte de descarga 44. Sin embargo, se pueden proporcionar otros mecanismos y sistemas para facilitar la descarga de las bolas 28 y el carbón sintético, tales como aumentar el diámetro del soporte de salida 44 e inclinar el recipiente giratorio 26 hacia la horizontal, por ejemplo, uno o dos grados.

Para proteger la superficie interior del pirolizador 22/recipiente 26, la superficie interna puede estar cubierta por un revestimiento compuesto de placas individuales. Los revestimientos pueden estar hechos de diversos materiales y, de hecho, pueden ser adaptados al material a partir del cual se hacen las bolas 28.

Las bolas de molienda 28 mezcladas y el carbón sintético descargado a través del soporte de descarga 44 se separan en base a diferentes tamaños y densidades (es decir, en virtud de diferentes características físicas). En este ejemplo, la mezcla se deposita sobre una rejilla inclinada 52 que permite que el carbón sintético pase a través del soporte 60 mientras las bolas 28 se dirigen al sistema transportador 56. Para ayudar a la separación de las bolas 28 del carbón sintético, la rejilla 52 puede vibrarse o sacudirse.

La Figura 3 muestra una planta 20a para la molienda y pirólisis simultáneas de biomasa particulada. En la descripción de esta planta, se usan los mismos números de referencia para describir o denotar las mismas características que las descritas anteriormente en relación con la planta 20 que se muestra en la Figura 2. En un sentido amplio, la principal diferencia entre la planta 20 de la Figura 2 y la planta 20a de la Figura 3 es que en la planta 20a los medios de molienda (es decir, las bolas de molienda 28) no circulan, sino que se mantienen dentro del pirolizador 22. Esto evita la necesidad del sistema de transporte 56, el calentador 58 y el contenedor de almacenamiento 43. Además, como las bolas 28 están retenidas dentro del pirolizador 22, no se requiere el separador 50 externo al pirolizador. El recipiente 26 está alojado en una cubierta externa aislada 92 creando un espacio anular o espacio entre el recipiente 26 y la cubierta 92. El gas calentado se dirige a través de la línea 90 hacia el espacio 94. La pirólisis se ve afectada por la transferencia de calor del gas caliente en el espacio 94 a través de las paredes del recipiente 26. Para maximizar el rendimiento del aceite, la temperatura dentro del pirolizador 22 debe ser de aproximadamente 350 °C a 650 °C. A medida que el calor para la pirólisis se transfiere a través de las paredes del pirolizador 22/recipiente 26, las paredes se calientan a una temperatura superior a la requerida para la pirólisis teniendo en cuenta la transmisión y pérdida de calor a través de las paredes del recipiente 26. Por ejemplo, las paredes deben construirse para soportar temperaturas del orden de aproximadamente 500 °C a 850 °C o más. Otra diferencia con la planta 20a en comparación con la planta 20 es que el gas residual que sale del espacio 94 que rodea al pirolizador con molienda 22 es canalizado por el conducto 82 al secador 34.

Es posible variar las condiciones de operación o el procedimiento de procesamiento posterior con el objetivo de satisfacer los requisitos particulares del producto. Por ejemplo, la operación del pirolizador 22 a una temperatura más baja (por ejemplo, de aproximadamente 200 a 320 °C) permite la producción de biomasa torrefactada. El procedimiento

de pirólisis en este intervalo de temperatura se conoce como torrefacción, y la biomasa resultante puede densificarse en briquetas o gránulos usando un equipo de densificación convencional. En este procedimiento, las etapas de condensación mostradas en las Figuras 2 y 3 pueden omitirse, y los vapores de la pirólisis y los gases inflamables pueden usarse como fuente de calentamiento para el pirolizador.

Disminuir la velocidad de filtración del dispositivo de filtrado 49 en las Figuras 2 y 3 u omitir el dispositivo de filtración resulta generalmente en la condensación del vapor sobre el carbón sintético fino produciendo una mezcla de bio-aceite/carbón sintético en forma de bio-suspensión o bio-pasta. Esta mezcla de bio-aceite/carbón sintético puede usarse como combustible de combustión o gasificación.

Además, el propio pirolizador por sí mismo puede formar parte de un sistema de combustión o gasificación 100, como se muestra en la Figura 4. En esta realización, los volátiles y el carbón sintético fino producido por el pirolizador 22 se alimenta directamente a una cámara de combustión o gasificador 102 del sistema 100. Parte del calor generado por la cámara de combustión o gasificador y/o el calor residual de la cámara de combustión o gasificador pueden usarse para calentar el pirolizador. En variante, el calor de la pirólisis puede proporcionarse por la combustión de una pequeña porción de los volátiles y/o carbón sintético fino en el pirolizador introduciendo una pequeña cantidad de oxígeno o aire en el pirolizador 22.

Una desviación de la realización en la Figura 4 es que los productos de la pirólisis que contienen volátiles, carbón sintético y gases inflamables se alimentan en una caldera o gasificador como combustible de combustión combinada. Esto es ventajoso en comparación con el uso de biomasa fresca como combustible de combustión combinada debido a la omisión de cualquier procedimiento de fresado de la biomasa que sea de alta energía. En este caso, el calor de la pirólisis puede proporcionarse nuevamente por la combustión de una pequeña porción de los volátiles y/o carbón sintético en el pirolizador 22. Esto puede lograrse introduciendo una pequeña cantidad de oxígeno o de aire en el pirolizador 22 y controlando la temperatura dentro del pirolizador. En variante, se puede usar algo de gas de combustión caliente desde la caldera o gasificador como una fuente de calefacción para el pirolizador.

Se considera que las realizaciones de la presente invención proporcionan diversos beneficios y/o ventajas sobre las técnicas de pirólisis actuales. Estos incluyen la capacidad de usar partículas de materia prima cruda que tienen una amplia distribución de tamaño de partículas (por ejemplo, entre 5 mm y 8 cm de grosor o diámetro), forma irregular (por ejemplo, no esférica, altamente ramificada) y que contienen partículas que no son de biomasa, como piedras y arena. La presente invención permite el uso de materia prima sustancialmente cruda sin la necesidad de un procesamiento preliminar sustancial y costoso. Una ventaja adicional es que el carbón sintético producido está en forma de partículas finas (predominantemente por debajo de 50 micrómetros de diámetro), lo que hace que el carbón sintético pueda usarse fácilmente (por ejemplo, como combustible o mejorador de suelo). Además, como no se requiere gas portador, se simplifica la inactivación térmica de los vapores de pirólisis, se reduce la generación de aerosoles. También puede haber un uso más eficiente del gas no condensable de la pirólisis.

Ahora que las realizaciones de la presente invención se han descrito en detalle, será evidente para los expertos en las técnicas relevantes que pueden realizarse numerosas modificaciones y variaciones sin apartarse de los conceptos básicos de la invención.

Además, el calor para la pirólisis puede proporcionarse mediante una combinación del calentamiento de los medios de molienda (es decir, las bolas 28) como se muestra en la Figura 2, y del calentamiento directo del lamento interno/recipiente 26 del pirolizador como se muestra en la Figura 3. Además, puede usarse gas natural u otros combustibles para aumentar el suministro de combustible para el quemador 68 si es necesario. Todas esas modificaciones y variaciones junto con otras que serían obvias para las personas con experiencia en la técnica se consideran dentro del alcance de la presente invención cuya naturaleza se determinará a partir de la descripción anterior y las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un procedimiento de procesamiento de materia prima carbonosa particulada para la producción de petróleo, comprendiendo la materia prima biomasa, comprendiendo el procedimiento:
alimentar la materia prima a un recipiente que tiene un diámetro interno de D metros;
proporcionar uno o más objetos duros en el recipiente en el que uno o más objetos se proporcionan como medios de molienda en una cantidad para ocupar del 10 % al 50 % del volumen V del recipiente;
10 girar el recipiente a una velocidad del 55 % al 90 % de una velocidad crítica CS en la que: $CS = 42,3/D^{0,5}$ rpm; mientras el recipiente gira a una velocidad del 55 % al 90 % de CS, someter simultáneamente la materia prima a un procedimiento de reducción de tamaño de partícula y pirólisis en el que el procedimiento de reducción de tamaño de partícula comprende poner en contacto repetidamente la materia prima con uno o más objetos duros; y
15 condensar el vapor orgánico generado por la pirólisis para formar aceite.
2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 en el que la pirólisis comprende transferir calor desde los objetos a la materia prima por conducción y convección.
3. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2 que comprende calentar los objetos antes de que los objetos
20 entren en contacto con la materia prima.
4. El procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 que comprende generar calor para la pirólisis por la combustión de gases no condensables y/o carbón sintético producido por la pirólisis de la materia
25 prima.
5. El procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 que comprende realizar la pirólisis a una temperatura suficiente para provocar la torrefacción de la materia prima.
6. El procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 que comprende condensar el vapor
30 orgánico generado por la pirólisis sobre el carbón sintético generado por la pirólisis para producir una mezcla de aceite/carbón sintético.
7. El procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende proporcionar oxígeno limitado en el recipiente para permitir la combustión parcial de los volátiles y/o el carbón sintético para generar al
35 menos una parte del calor para la pirólisis de la materia prima.
8. El procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende alimentar los
40 productos generados por la pirólisis de la materia prima a una caldera o gasificador como combustible de combustión combinada.

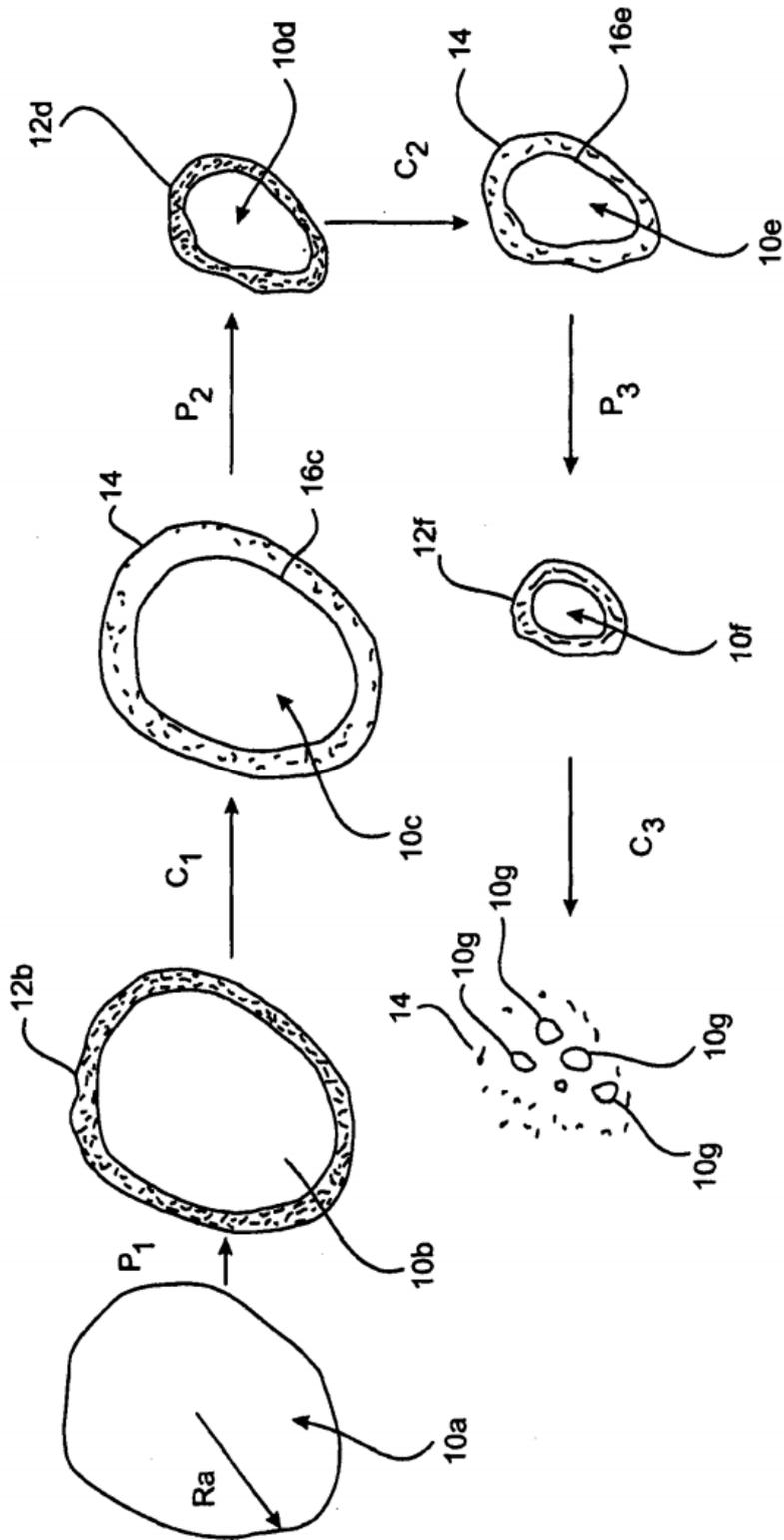


Figura 1

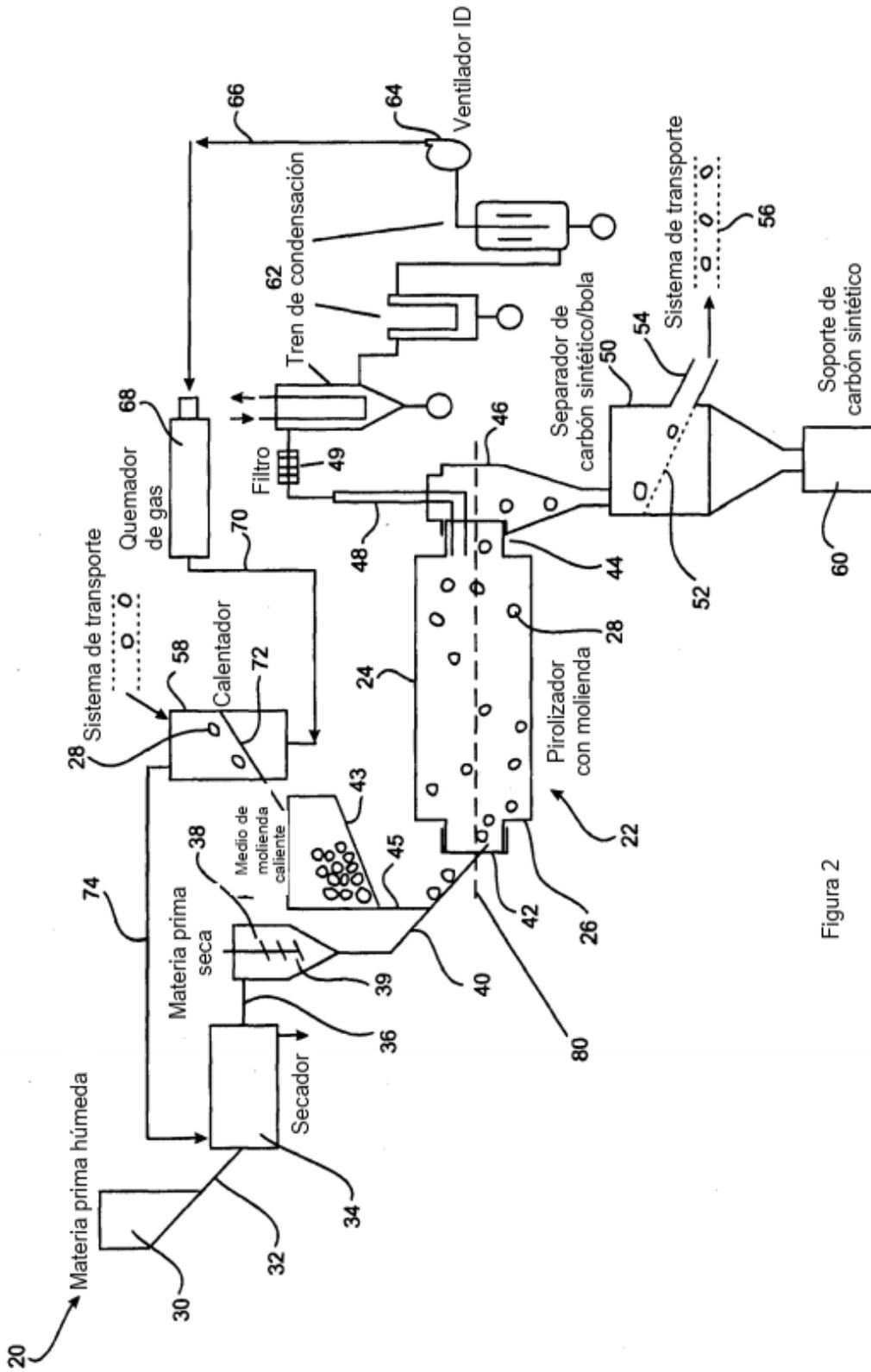


Figura 2

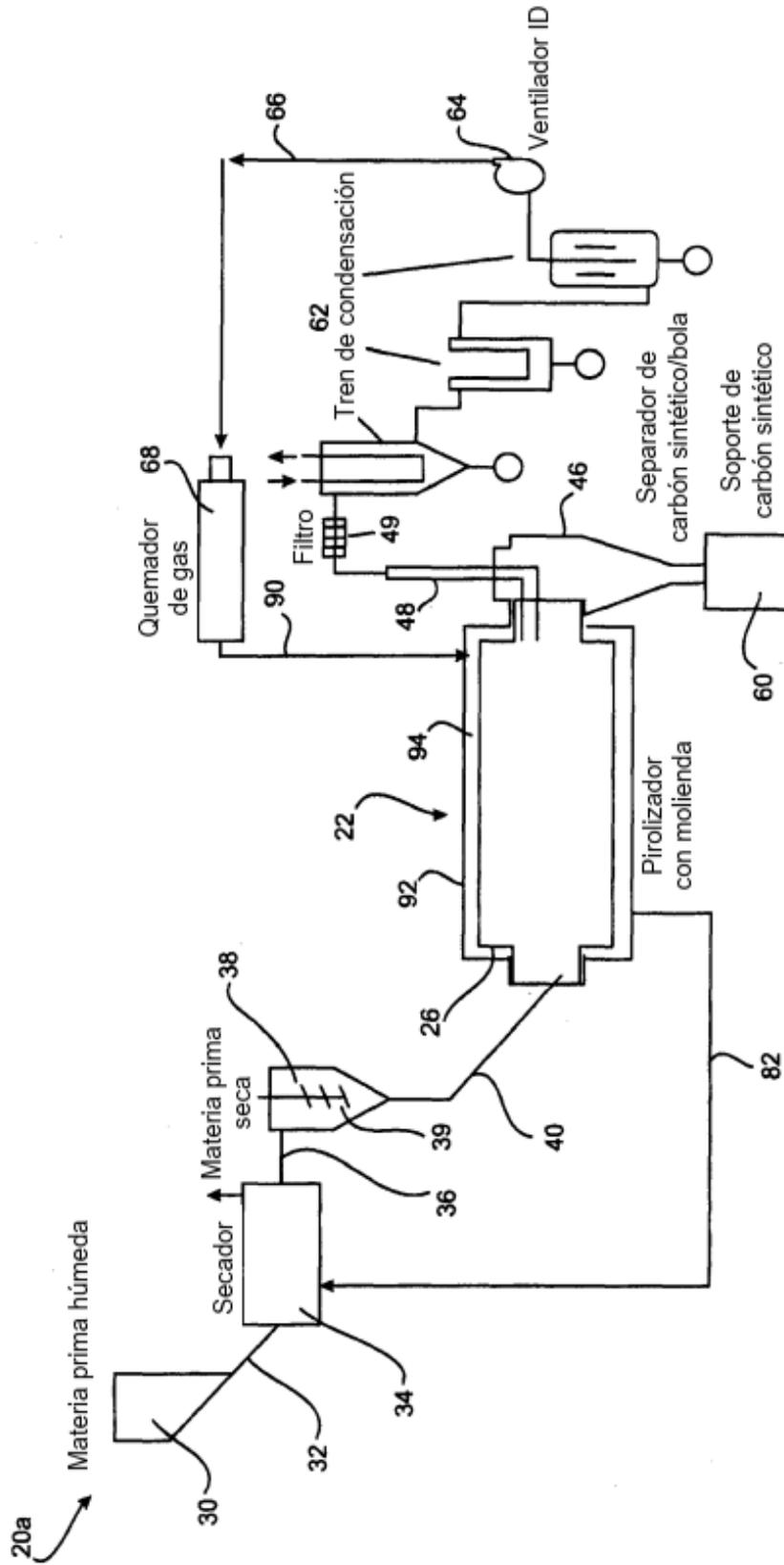


Figura 3

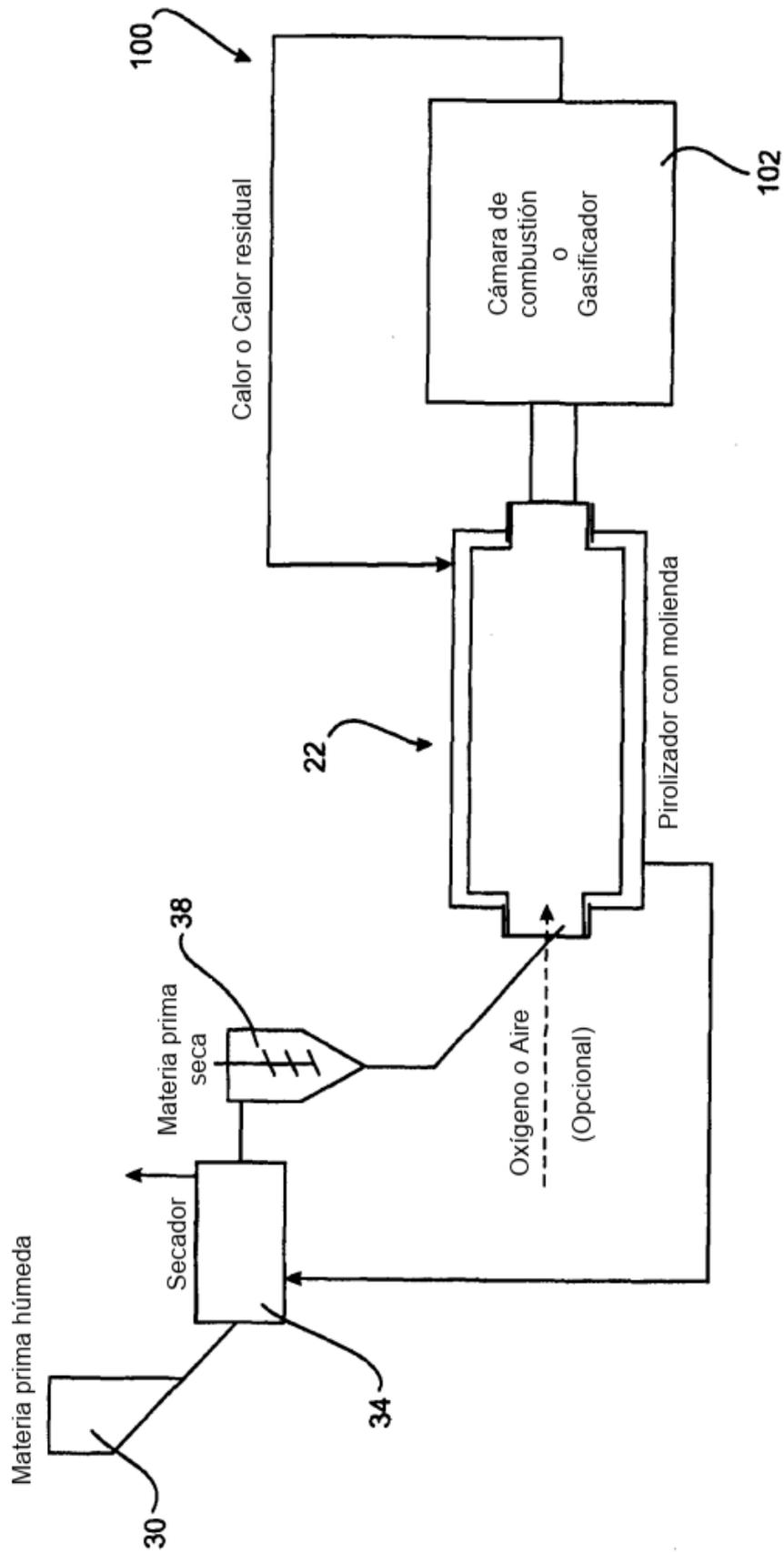


Figura 4