

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 949 075**

51 Int. Cl.:

C10L 9/08 (2006.01)

C10L 5/40 (2006.01)

C10L 5/44 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.05.2013 PCT/CA2013/050402**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.11.2013 WO13173929**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.05.2013 E 13793325 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.06.2023 EP 2855643**

54 Título: **Método de torrefacción de biomasa con un reactor de lecho ciclónico**

30 Prioridad:

25.05.2012 US 201261651862 P

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

25.09.2023

73 Titular/es:

**AIREX ENERGIE INC. (100.0%)
2500 rue Bernard-Lefebvre
Laval, Québec H7C 0A5, CA**

72 Inventor/es:

PRUD'HOMME, GUY

74 Agente/Representante:

VEIGA SERRANO, Mikel

ES 2 949 075 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método de torrefacción de biomasa con un reactor de lecho ciclónico

5 **Sector de la técnica**

La presente solicitud se refiere a la transformación de biomasa en productos de densidad de energía aumentada (p. ej., productos de combustión) y contenido de carbono aumentado, y más particularmente a un método para este fin.

10 **Estado de la técnica**

En la torrefacción de biomasa, los productos de densidad de energía aumentada y contenido de carbono aumentado se producen por el tratamiento térmico de la biomasa. La torrefacción puede descomponer contenido reactivo a partir de la biomasa (p. ej., contenido de hemicelulosa), y eliminar compuestos volátiles orgánicos y/o humedad de la biomasa. Por consiguiente, los productos que resultan de la torrefacción tienen una densidad de energía aumentada y un contenido de carbono que es muy adecuado para diversas aplicaciones, tales como la combustión eficiente. Sin embargo, la termotransformación de biomasa en combustible puede ser problemática, por ejemplo, debido a la naturaleza inflamable del producto final.

20 El documento GB 2 479 924 A divulga un proceso para la torrefacción de materia prima de biomasa para la producción de un biocombustible, comprendiendo el proceso: (i) la torrefacción de materia prima de biomasa en un reactor de lecho toroidal, en el que el reactor de lecho toroidal comprende una cámara de reacción con un flujo dirigido de modo sustancialmente circunferencial de fluido, generado en el mismo, para hacer que la materia prima de biomasa circule rápidamente alrededor de un eje de la cámara de reacción en una banda toroidal y para calentar la materia prima de biomasa, en el que el fluido comprende gas o gases introducidos en la cámara de reacción y en el que la cámara se mantiene bajo una atmósfera de oxígeno agotado.

Objeto de la invención

30 Por lo tanto, un objetivo de la presente invención es proporcionar un método que trate los problemas asociados con la técnica anterior.

Por lo tanto, de acuerdo con la presente solicitud, se proporciona un método según la reivindicación 1.

35 Además, de acuerdo con la presente invención, calentar la biomasa por contacto indirecto comprende hacer circular la biomasa en un conducto rodeado por un manguito calentado.

Aún más, de acuerdo con la presente invención, calentar la biomasa comprende dirigir los gases de combustión en el manguito calentado.

40 Aún más, de acuerdo con la presente invención, hacer circular la biomasa en el conducto comprende transportar la biomasa con un tornillo de alimentación.

45 Aún más, de acuerdo con la presente invención, calentar la biomasa en un entorno generalmente inerte comprende meter la biomasa en el conducto al hacer funcionar una válvula rotatoria.

Aún más, de acuerdo con la presente invención, calentar la biomasa comprende calentar la biomasa a una temperatura que varía desde 250 °C hasta 400 °C.

50 De acuerdo con la presente invención, exponer la biomasa a un flujo de gases de combustión comprende hacer circular la biomasa en un flujo ciclónico.

Aún más, de acuerdo con la presente invención, hacer circular la biomasa en un flujo ciclónico comprende exponer la biomasa a un vórtice anular de los gases de combustión en el flujo ciclónico para aumentar un tiempo de permanencia de la biomasa en el flujo ciclónico.

Aún más, de acuerdo con la presente invención, torrefactar la biomasa comprende exponer la biomasa a una temperatura que varía desde 300 °C hasta 500 °C al exponer la biomasa a los gases de combustión.

60 Aún más, de acuerdo con la presente invención, la biomasa es enfriada después de la salida al transportar la biomasa en una unidad de tornillo de alimentación.

Aún más, de acuerdo con la presente invención, sacar la biomasa comprende hacer funcionar una válvula rotatoria para controlar una cantidad de biomasa de salida.

65

Aún más, de acuerdo con la presente invención, la biomasa es secada antes de calentar la biomasa por contacto indirecto.

5 Aún más, de acuerdo con la presente invención, secar la biomasa comprende al menos uno de mezclar y hacer recircular biomasa dentro de una cámara de un reactor, mientras se expone la biomasa a aire caliente.

Aún más, de acuerdo con la presente invención, secar la biomasa comprende secar la biomasa a un contenido de humedad que varía desde el 20 % hasta el 40 %.

10 Aún más, de acuerdo con la presente invención, secar la biomasa comprende calentar aire por intercambio de calor con gases de combustión que se usan al menos para uno de calentar la biomasa por contacto indirecto y torrefactar la biomasa.

15 Aún más, de acuerdo con la presente invención, se controla una temperatura de los gases de combustión que se usan para calentar la biomasa por contacto indirecto y torrefactar la biomasa, al hacer funcionar un intercambiador de calor con refrigerante en un circuito neumático en el que circulan los gases de combustión.

20 Aún más, de acuerdo con la presente invención, un condensado procedente del intercambiador de calor se recoge para eliminar humedad de los gases de combustión.

Aún más, de acuerdo con la presente invención, hacer funcionar el intercambiador de calor comprende hacer funcionar el intercambiador de calor adyacente a una salida del torrefactado de la biomasa.

25 Aún más, de acuerdo con la presente invención, los gases de torrefacción se recogen de la etapa de exponer la biomasa a un flujo de gases de combustión, por lo que exponer la biomasa a un flujo de gases de combustión comprende exponer la biomasa a un flujo de gases de combustión y de gases de torrefacción.

Descripción de las figuras

30 La figura 1 es un diagrama esquemático de un sistema de termotransformación de acuerdo con la presente invención;
la figura 2 es un diagrama esquemático de una etapa de presecado del sistema de termotransformación de la figura 1; y
35 la figura 3 es un diagrama de flujo de un método para la termotransformación de productos de biomasa.

Descripción detallada de la invención

Haciendo referencia a la figura 1, se ilustra un sistema de termotransformación 10. El sistema de termotransformación 10 se usa para realizar la termotransformación (es decir, la torrefacción) de biomasa. La materia prima de biomasa puede estar en cualquier formato apropiado, tal como serrín, glóbulos, laminillas, virutas, etc. La biomasa puede haber sido cribada y pasada a través de un tamiz para estar dentro de un intervalo dado de granulometría. El contenido de humedad de la biomasa puede estar entre el 20 % y el 60 %, siendo un intervalo de funcionamiento óptimo entre el 25 y el 40 %. Por ejemplo, la biomasa puede tener su origen en madera, residuos agrícolas, madera reciclada, compost, etc. La materia prima de biomasa se puede presecar, si es necesario, para alcanzar un contenido de humedad apropiado a fin de ser sometida a torrefacción en el sistema de termotransformación 10. En lo sucesivo, se muestra como ejemplo una etapa de presecado.

50 El sistema de termotransformación 10 comprende una etapa de acondicionamiento 12 y una etapa de torrefacción 13. Un circuito neumático 14 interrelaciona las etapas. Una unidad de condensación 15 se puede usar con el circuito neumático 14 para eliminar condensado de los gases de síntesis en el circuito neumático 14 y regular su temperatura. Como se muestra en la figura 2, una etapa de presecado 16 puede estar ubicada aguas arriba de la etapa de acondicionamiento 12 para presecar materia prima de biomasa antes de alimentar la misma a la etapa de acondicionamiento 12. La etapa de acondicionamiento 12 es la entrada de biomasa del sistema 10 y aumenta la temperatura de la materia prima de biomasa. La etapa de torrefacción 13 es la salida de biomasa del sistema 10 y transforma térmicamente la biomasa. El circuito neumático 14 desplaza la biomasa entre la etapa de acondicionamiento 12 y la etapa de torrefacción 13 (p. ej., con un intervalo de 10,2 a 20,4 m/s). Además, el circuito neumático 14 proporciona calor en forma de gases de combustión para activar la etapa de torrefacción 13.

60 La etapa de acondicionamiento 12 comprende una entrada 20. En la realización ilustrada, la entrada 20 es un embudo que se puede usar con una tolva, un transportador, unas bolsas a granel, o cualquier otro aparato o formato apropiado en el que la biomasa se alimentará al sistema 10. Sin embargo, en la realización ilustrada, la biomasa está en forma de serrín. Una válvula rotatoria 21 está en el fondo de la entrada 20 e interconecta dicha entrada 20 a una unidad de tornillo de alimentación 22. Por lo tanto, la válvula rotatoria 21 controla el régimen de alimentación de la materia prima de biomasa a la unidad de tornillo de alimentación 22.

65

La unidad de tornillo de alimentación 22 puede comprender cualquier tornillo de alimentación apropiado, a saber, un tornillo sin fin dentro de un conducto cilíndrico, además de un accionador. El accionamiento del tornillo sin fin (es decir, la rotación) dará como resultado el movimiento de la biomasa a lo largo del cilindro hasta una salida 23 en un extremo opuesto de la unidad de tornillo de alimentación 22. La unidad de tornillo de alimentación 22 puede comprender un tornillo de alimentación doble o gemelo para aumentar el rendimiento total de la biomasa en la etapa de acondicionamiento 12 (p. ej., de 10 a 25 Hz).

La unidad de tornillo de alimentación 22 puede tener además un manguito 24 para calentar la masa que se mueve en el conducto cilíndrico. Una entrada del manguito 24 está en un extremo aguas arriba de la unidad de tornillo de alimentación 22, por lo que el flujo de gases de combustión (también conocido como gas de combustión) en el manguito 24 es en la misma dirección que la de la biomasa. Como se muestra en la figura 1, se puede definir una trayectoria similar a un tornillo por la inserción de paredes desviadoras en el manguito 24 (por ejemplo, que forma una trayectoria espiral), aumentando el tiempo de permanencia del aire caliente en el manguito 24. Una unidad de inyección de agua también se puede prever en la entrada 20 o la salida 23, dentro de la válvula rotatoria 21 (p. ej., una boquilla anular). La unidad de inyección de agua se puede usar para bajar la temperatura de la biomasa, por ejemplo, si la temperatura dentro de la unidad de tornillo de salida 22 está por encima de un umbral predeterminado (siendo un intervalo adecuado de temperaturas desde 250 °C hasta 400 °C). También se consideran otros métodos para bajar la temperatura en la unidad de tornillo de alimentación 22, tales como tener en derivación una parte de los gases de combustión respecto al manguito 24, a través de una derivación 25.

Por consiguiente, por la presencia de la válvula rotatoria 21 sellada y por el uso de la unidad de tornillo de alimentación 22 con el manguito calentado 24, la biomasa que circula en la unidad de tornillo de alimentación 22 estará expuesta a altas temperatura en un entorno inerte (es decir, de bajo oxígeno). La válvula rotatoria 21 sellada puede limitar la infiltración de oxígeno en el sistema 10. Por ejemplo, la biomasa está expuesta a una temperatura mayor que la temperatura de condensación del alquitrán.

Por lo tanto, en la salida 23, se ha elevado la temperatura de la biomasa. La salida 23 puede estar situada en un lado inferior del cilindro de la unidad de tornillo de alimentación 22. Una alimentación continua de biomasa acondicionada se deja caer, como consecuencia, saliendo de la unidad de tornillo de alimentación 22 y se transporta a la etapa de torrefacción 13 por el transportador neumático 14, como se describe con más detalle en lo sucesivo.

Según una realización, la etapa de torrefacción 13 comprende uno o más reactores de lecho ciclónico 30 (también conocido como reactor de torrefacción 30), ilustrándose los reactores de lecho ciclónico en la figura 1. La etapa de torrefacción 13 puede comprender uno o más de los reactores de torrefacción 30, o cualquier otro aparato de torrefacción. En la etapa de torrefacción 13, la biomasa se expone a gases de combustión, durante al menos un tiempo mínimo de permanencia. Los gases de combustión están a cualquier temperatura apropiada para tener un efecto torrefactor en la biomasa. Como ejemplo, los gases de combustión están a una temperatura que varía entre 300 y 500 °C, aunque temperaturas fuera de este intervalo también pueden ser apropiadas en ciertas circunstancias. Como consecuencia de la exposición a los gases de combustión, se torrefacta la biomasa: se reduce sustancialmente el nivel de humedad y se eliminan los compuestos orgánicos volátiles. Los compuestos orgánicos volátiles forman los gases de torrefacción compuestos por gases condensables y no condensables. Los reactores de lecho ciclónico 30 pueden ser similares en configuración al aparato de filtración descrito en la publicación de solicitud de patente de EE. UU. número 2011/0239861.

Más específicamente, el reactor de torrefacción 30 se puede describir en sentido amplio como que tiene una carcasa que define una cavidad interior con una parte cilíndrica superior, y una parte de tolva inferior conectada a la parte cilíndrica superior. La entrada está en la parte cilíndrica superior para alimentar un flujo de gas y la biomasa a la cavidad interior. La entrada está situada con respecto a la carcasa para hacer que se mueva la biomasa en una trayectoria espiral hacia abajo en la carcasa. Una salida de sólidos está en el fondo de la parte de tolva inferior para sacar la biomasa de la carcasa. Una salida de gas está en la parte cilíndrica superior para expulsar gases de la carcasa. Existe una disposición anular de orificios (es decir, un par de anillos de sustentación, aunque son posibles uno o más) en una pared de la parte de tolva inferior o la parte cilíndrica de la carcasa para inyectar gas en la cavidad interior (es decir, gases de torrefacción, gases de combustión). Los orificios están orientados para guiar estos otros gases a fin de que sigan una trayectoria vertical, al menos parcialmente, cuando entran en la cavidad interior para interrumpir el movimiento de los sólidos en la trayectoria espiral hacia abajo. Por consiguiente, los gases inyectados a través de los orificios del anillo de sustentación pueden aumentar el tiempo de permanencia de la biomasa en el reactor 30. Por ejemplo, los orificios tienen una componente vertical en su orientación, para guiar los gases hacia arriba, y en la trayectoria espiral.

La publicación de solicitud de patente de EE. UU. número 2011/0239861 describe una configuración de filtración en un extremo superior de la pared de soporte del aparato de filtración. El reactor de lecho ciclónico 30 puede tener una configuración de filtración diferente, o incluso limitada o ninguna filtración.

Una unidad de tornillo de alimentación 31A puede estar ubicada en el fondo de los reactores 30 para recoger la biomasa termotransformada seca que sale de los reactores de torrefacción 30, y para enfriar la biomasa. Una segunda unidad de tornillo 31B se puede usar para enfriar la biomasa. Una unidad de inyección de agua también

puede estar prevista adyacente a un extremo aguas arriba de la segunda unidad de tornillo 31B. La unidad de inyección de agua se puede usar para bajar la temperatura de la biomasa, por ejemplo, si la temperatura dentro de la segunda unidad de tornillo 31B está por encima de un umbral predeterminado. En una realización, un fluido de enfriamiento (p. ej., agua, aire) está en intercambio de calor con la superficie exterior de la unidad 31, para el enfriamiento por contacto directo o indirecto de la biomasa. Una válvula rotatoria 32 puede estar situada en la salida de la unidad de tornillo de alimentación 31, minimizando por ello las fugas de gas en la salida de los reactores de torrefacción 30 y controlando el régimen de salida de biomasa torrefactada. El sistema 10 puede estar provisto de múltiples unidades de tornillo de alimentación 31, por ejemplo, con una para cada uno de los reactores de torrefacción 30.

El uso de válvulas rotatorias 21 y 32 en la entrada y la salida del sistema 10 impide y/o reduce la infiltración de oxígeno en el sistema 10, ayudando por ello a conservar un entorno inerte para evitar la combustión de la biomasa durante la torrefacción. Las unidades de tornillo de alimentación 31A y 31B, o mecanismo similar, se usan para reducir la temperatura de la biomasa, para reducir el riesgo de combustión de la biomasa cuando se expone a oxígeno en la salida del sistema 10.

Como alternativa a los reactores de torrefacción 30, se puede usar cualquier otra configuración de reactor en la etapa de torrefacción 13 para exponer la biomasa a gases de combustión. Por ejemplo, se puede hacer funcionar un reactor de tambor rotatorio o se pueden usar transportadores de aire, siempre que tengan una longitud suficiente para respetar el tiempo de permanencia de la biomasa, y permitir así suficiente exposición de la biomasa a gases de combustión. Sin embargo, los reactores de torrefacción 30 son muy adecuados para su uso con una alimentación continua de biomasa de la etapa de acondicionamiento 12.

El circuito neumático 14 comprende un transportador de aire 40 que se extiende desde la salida de la unidad de tornillo de alimentación 22 hasta la entrada de los reactores de lecho ciclónico 30. Por consiguiente, la biomasa fluye hasta los reactores 30 a medida que es arrastrada por un flujo de gases de combustión (también conocido como gases de combustión) y gases de torrefacción que emanan de la torrefacción de la biomasa. Más específicamente, el circuito neumático 14 tiene unos tubos de retorno 41 que recogen gases expulsados por los reactores de torrefacción 30, por lo que los gases de síntesis (es decir, sintegás) que circulan en el circuito neumático 14 son una mezcla de gases de combustión y gases de torrefacción. Los gases recogidos en la salida son generalmente calientes, con algo de humedad y generalmente sin polvo en suspensión, ya que los reactores 30 realizan típicamente alguna forma de filtración. Un ventilador 42 en los tubos de retorno 41 asegura que el flujo de gases es de magnitud suficiente en el circuito 14 para hacer que se mueva la biomasa. El ventilador 42 puede ser uno de numerosos ventiladores en el circuito 14. Una ramificación de reactor 43 diverge de los tubos de retorno 41 y alimenta algunos gases a los reactores 30 y, más específicamente, al anillo de sustentación de los reactores 30. Los tubos de retorno 41 convergen a un único tubo de retorno también marcado con 41, donde el tubo de retorno conecta con la entrada del transportador de aire 40.

Una ramificación de quemador 44 diverge del tubo de retorno 41 y está conectada a un quemador 45. Por consiguiente, la ramificación de quemador 44 alimenta gases de combustión y/o gases de torrefacción al quemador 45. Según una realización, el quemador 45 es un quemador de combustión. Los gases expulsados por los reactores de torrefacción 30 (es decir, gases de combustión y/o gases de torrefacción o gases de síntesis (sintegás)) se pueden alimentar a la cámara de combustión del quemador 45 a través de un vórtice anular para elevar el tiempo de permanencia y el rendimiento de combustión. Una toma de aire reciente 46 también está asociada al quemador 45, por ejemplo, para ajustar la cantidad de oxígeno alimentada al quemador 45 para una combustión eficiente. Se puede usar un combustible externo (gas natural, gasóleo, propano, etc.) para comenzar el proceso y para mantener una llama piloto dentro de la cámara de combustión del quemador 45. Un tubo de alimentación 47 relaciona el quemador 45 con el manguito 24 de la etapa de acondicionamiento 12. El manguito 24 puede tener un tubo de expulsión 48 para expulsar algunos de los gases de combustión procedentes del circuito neumático 14.

Por consiguiente, en la salida de la etapa de acondicionamiento 12, la biomasa está expuesta a gases de síntesis. La materia prima de biomasa que sale de la etapa de acondicionamiento 12 tiene un contenido de humedad reducido, por lo que la reacción de transformación térmica de la materia prima de biomasa se inicia cuando alcanza el transportador de aire 40 del circuito neumático del transportador 14, y sigue en los reactores de torrefacción 30 o aparatos similares. Puede existir algo de evaporación *flash* de la humedad en la biomasa, cuando esta última alcanza el transportador de aire 40 del circuito neumático del transportador 14.

Los gases de torrefacción que emanan de la biomasa se pueden dirigir al quemador 45, para ser parte de la combustión. Por consiguiente, los gases de torrefacción se usan para producir calor en ambas etapas 12 y 13. El uso de las válvulas rotatorias 21 y 32 reduce la cantidad de oxígeno que entra en el sistema 10.

Haciendo referencia aún a la figura 1, una unidad de condensación 15 tiene un condensador 50 de los gases de combustión enfriados por agua, que puede estar previsto ramificado del circuito neumático 14. En la figura 1, el condensador 50 recibe gases de síntesis desde el tubo de retorno 41, pero puede estar ubicado en cualquier parte en el circuito neumático 14. El condensador 50 se usa para condensar humedad en el sintegás que resulta del proceso de torrefacción y, por consiguiente, puede estar ubicado próximo a los reactores de torrefacción 30.

Además, el condensador 50 puede regular la temperatura del sintegás/gas de combustión por su capacidad calorífica.

Los gases de combustión entran en el condensador 50. En una realización, el condensador 50 está configurado con respecto a un tubo de alimentación 51 de manera que los gases de síntesis entran tangencialmente a través de una parte superior del condensador 50. La salida 52 está equipada con un serpentín 53 de refrigerante, tal como un serpentín enfriado con glicol. En una realización, las superficies exteriores del serpentín 53 tienen una camisa de doble pared con glicol de enfriamiento. Sin embargo, cualquier configuración o tipo adecuado de serpentín o intercambiador de calor se considera para el condensador 50. Para impedir que se atasque, el condensador 50 puede estar equipado con un sistema de retorno de aire de autolimpieza con boquillas de inyección apropiadas. El calor recuperado por el serpentín 53 se puede usar con el fin de calentar. En la figura 1, se muestran una o más unidades de calentamiento 54 del tipo de las que tienen un serpentín y un ventilador, aunque también se consideran otras disposiciones. Un tubo de retorno 55 puede dirigir entonces los gases de combustión al circuito neumático 14. Un circuito de drenaje apropiado se puede usar entonces para recoger el condensado.

Haciendo referencia a la figura 2, la etapa de presecado 16 se muestra con mayor detalle y se puede usar opcionalmente para presecar materia prima de biomasa a un contenido de humedad adecuado (p. ej., del 25 % al 40 %). La etapa de presecado puede estar constituida por cualquier tipo de secadores, p. ej., secadores rotatorios, secadores de cinta o secadores *flash*. En la realización ilustrada, la etapa de presecado 16 comprende esencialmente un secador 60 que define una cámara en la que la materia prima de biomasa se expone a aire caliente, con un motor 60A que hace funcionar elementos característicos de mezcla (p. ej., un tornillo, etc.). El secador 60 tiene una entrada de secador 61, una salida de recirculación 62 (con una válvula rotatoria 62A o equivalente) y una salida de secador 63 (con una válvula rotatoria 63A o equivalente), estando ambas salidas 62 y 63 en el fondo del secador 60. La etapa 16 comprende además un circuito neumático 64, conjuntamente con el secador 60, para proporcionar aire caliente, un flujo de biomasa y un flujo de transporte para la recirculación de biomasa. El secador 60 y el circuito 64 forman una unidad generalmente hermética, para limitar la infiltración de aire que causa pérdidas de calor.

En una realización, el circuito neumático 64 tiene una entrada de aire, seguida por un intercambiador de calor 65 para calentar el aire procedente de la entrada. El circuito 64 tiene un conjunto de conductos apropiado para dirigir el aire calentado desde el intercambiador de calor 65 hasta la entrada de reactor 61. Mediante el conjunto de conductos, una fuente de biomasa converge con el circuito 64. La fuente de biomasa puede comprender una tolva, un embudo y una válvula rotatoria 66A o equivalente, para controlar la cantidad de biomasa que entra en el circuito 64. El conjunto de conductos del circuito neumático 64 también está conectado para circulación de fluido a la salida de recirculación 62, con la válvula rotatoria 62A controlando la cantidad de biomasa que recircula a través del circuito 64. El conjunto de conductos del circuito neumático 64 alcanza entonces la entrada 61, para descargar una mezcla de biomasa reciente y biomasa recirculada, en el flujo de aire caliente. La recirculación de la biomasa se realiza para exponer toda la biomasa a aire caliente y favorecer así una condición de temperatura uniforme de la biomasa. Una porción de la biomasa puede salir del reactor 60 a través de la salida de reactor 63, con la válvula rotatoria 63A controlando la cantidad de biomasa que sale de la etapa 16. Un transportador 67 puede alimentar entonces la biomasa presecada a la etapa de acondicionamiento 12.

En la realización ilustrada de la figura 2, el intercambiador de calor 65 puede recibir gases de combustión desde el circuito neumático 14 (figura 1), por ejemplo, los gases de combustión que se han de expulsar, para recuperar calor de los mismos. También es posible usar cualquier fuente apropiada de calor, por ejemplo, independiente del circuito neumático 14, para calentar el aire en la etapa 16. Por ejemplo, se pueden usar serpentines eléctricos.

Se puede prever una unidad de filtración 68 con retorno de aire para eliminar polvo y partículas en suspensión del reactor 60. Se puede usar una unidad de inyección de agua 69 para extinguir un incendio. Haciendo referencia a la figura 3, se ilustra con 70 un método para la termotransformación (es decir, la torrefacción) de biomasa.

Según la etapa 71, la biomasa se puede presecar para que alcance una temperatura adecuada o reduzca su contenido de humedad, si es necesario.

Según la etapa 72, la biomasa se recibe en un formato de serrín.

Según la etapa 73, la biomasa se expone por contacto indirecto a una alta temperatura (p. ej., una temperatura por encima de la temperatura de condensación del alquitrán), por lo que se calienta la materia prima de biomasa y se puede reducir su contenido de humedad. En una realización, la biomasa que está expuesta a estas condiciones es una alimentación continua de biomasa.

Según la etapa 74, la biomasa se expone directamente a un flujo de gases de combustión a alta temperatura (también conocido como gases de combustión) y gases de torrefacción residuales, con baja presión estática. Como consecuencia, la materia prima de biomasa experimenta una termotransformación, por la que pueden romperse las estructuras químicas de la biomasa (es decir, lignina, celulosa, hemicelulosa). Los compuestos orgánicos volátiles pueden vaporizarse después de las dos etapas, mejorando por ello la condición de la biomasa para la combustión.

La humedad puede evaporarse además de la biomasa. Por ejemplo, puede ocurrir una evaporación *flash* de humedad en la biomasa.

5 Según la etapa 75, la biomasa se saca con un contenido de humedad reducido. La biomasa se puede someter a una etapa de enfriamiento. Se señala que la biomasa se puede exponer a un entorno inerte (es decir, nivel insignificante de oxígeno) en las etapas 74 y/o 75.

10 La biomasa torrefactada resultante puede estar en cualquier formato apropiado. Por ejemplo, la biomasa torrefactada está en un estado de serrín, aunque podría estar en laminillas, gránulos, glóbulos o similares. La biomasa torrefactada se puede usar en cualquier aplicación apropiada. Por ejemplo, la biomasa torrefactada se puede usar como combustible en una combustión. Las aplicaciones incluyen el coencendido no exclusivo en grandes centrales eléctricas de carbón, la sustitución de gasóleo pesado, la sustitución parcial por coque en ánodos de carbono, los altos hornos, los glóbulos de mena de hierro, el carbón activado para la purificación de gas, la purificación de oro, la extracción de metal y muchas otras aplicaciones, la modificación de suelos y la reparación de suelos (la rehabilitación de sitios de minería), entre numerosas posibilidades.

15 Para los expertos en la técnica pueden llegar a ser evidentes modificaciones y mejoras de las realizaciones anteriormente descritas de la presente invención. La descripción anterior está destinada a ser a modo de ejemplo, en lugar de limitativa. Por lo tanto, el alcance de la presente invención está destinado a quedar limitado
20 exclusivamente por el alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un método para la torrefacción de biomasa, que comprende:
- 5 recibir biomasa que tiene un contenido de humedad dado;
calentar la biomasa por contacto indirecto en un entorno generalmente inerte;
torrefactar posteriormente la biomasa exponiendo la biomasa a un flujo de gases de combustión en el entorno
generalmente inerte, haciendo circular la biomasa en un flujo ciclónico; y
sacar la biomasa con un contenido de humedad reducido.
- 10 2. El método según la reivindicación 1, en el que calentar la biomasa por contacto indirecto comprende hacer circular
la biomasa en un conducto rodeado por un manguito calentado.
- 15 3. El método según la reivindicación 2, en el que calentar la biomasa comprende dirigir los gases de combustión en
el manguito calentado.
4. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 2 y 3, en el que hacer circular la biomasa en el conducto
comprende transportar la biomasa con un tornillo de alimentación.
- 20 5. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que calentar la biomasa comprende calentar
la biomasa a una temperatura que varía desde 250 °C hasta 400 °C.
6. El método según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que hacer circular la biomasa en un
flujo ciclónico comprende exponer la biomasa a un vórtice anular de los gases de combustión en el flujo ciclónico
para aumentar un tiempo de permanencia de la biomasa en el flujo ciclónico.
- 25 7. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que torrefactar la biomasa comprende
exponer la biomasa a una temperatura que varía desde 300 °C hasta 500 °C al exponer la biomasa a los gases de
combustión.
- 30 8. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende además enfriar la biomasa después
de la salida al transportar la biomasa en una unidad de tornillo de alimentación.
- 35 9. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que sacar la biomasa comprende hacer
funcionar una válvula rotatoria para controlar una cantidad de biomasa de salida.
10. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, que comprende además secar la biomasa antes
de calentar la biomasa por contacto indirecto.
- 40 11. El método según la reivindicación 10, en el que secar la biomasa comprende al menos uno de mezclar y hacer
recircular biomasa dentro de una cámara de un reactor, mientras se expone la biomasa a aire caliente.
12. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 10 y 11, en el que secar la biomasa comprende secar la
biomasa a un contenido de humedad que varía desde el 20 % hasta el 40 %.
- 45 13. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, que comprende además controlar una
temperatura de los gases de combustión que se usan para calentar la biomasa por contacto indirecto y torrefactar la
biomasa, al hacer funcionar un intercambiador de calor con refrigerante en un circuito neumático en el que circulan
los gases de combustión.
- 50 14. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, que comprende además recoger gases de
torrefacción de la etapa de exponer la biomasa a un flujo de gases de combustión, y en el que exponer la biomasa a
un flujo de gases de combustión comprende exponer la biomasa a un flujo de gases de combustión y de gases de
torrefacción.
- 55

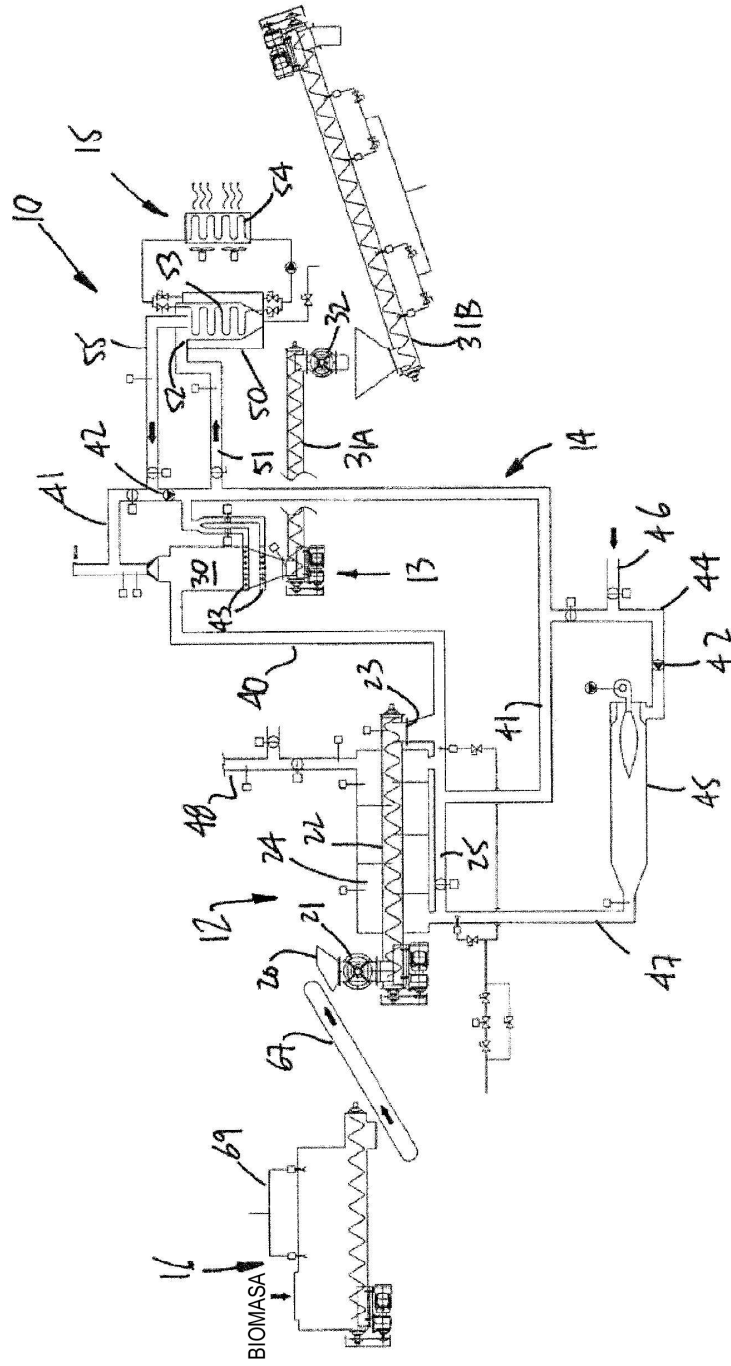


Fig. 1

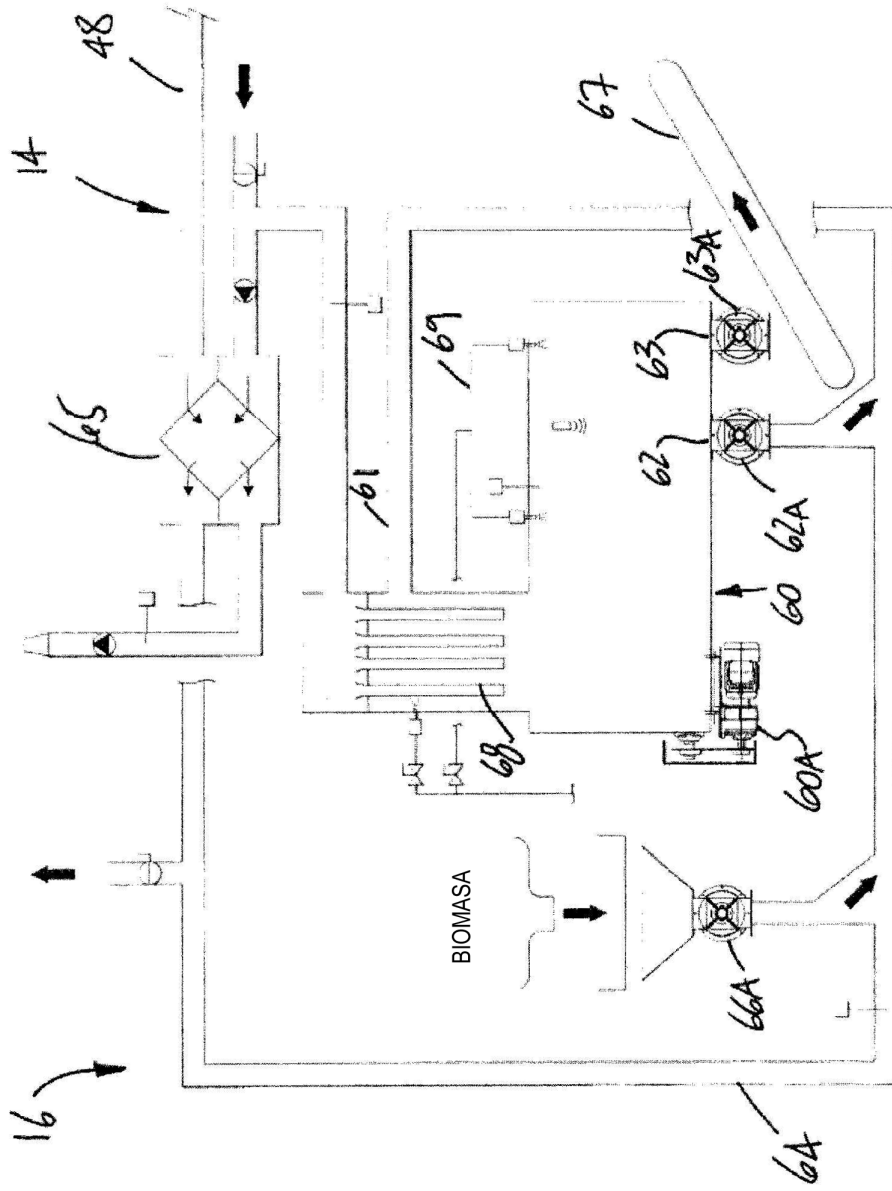


Fig. 2

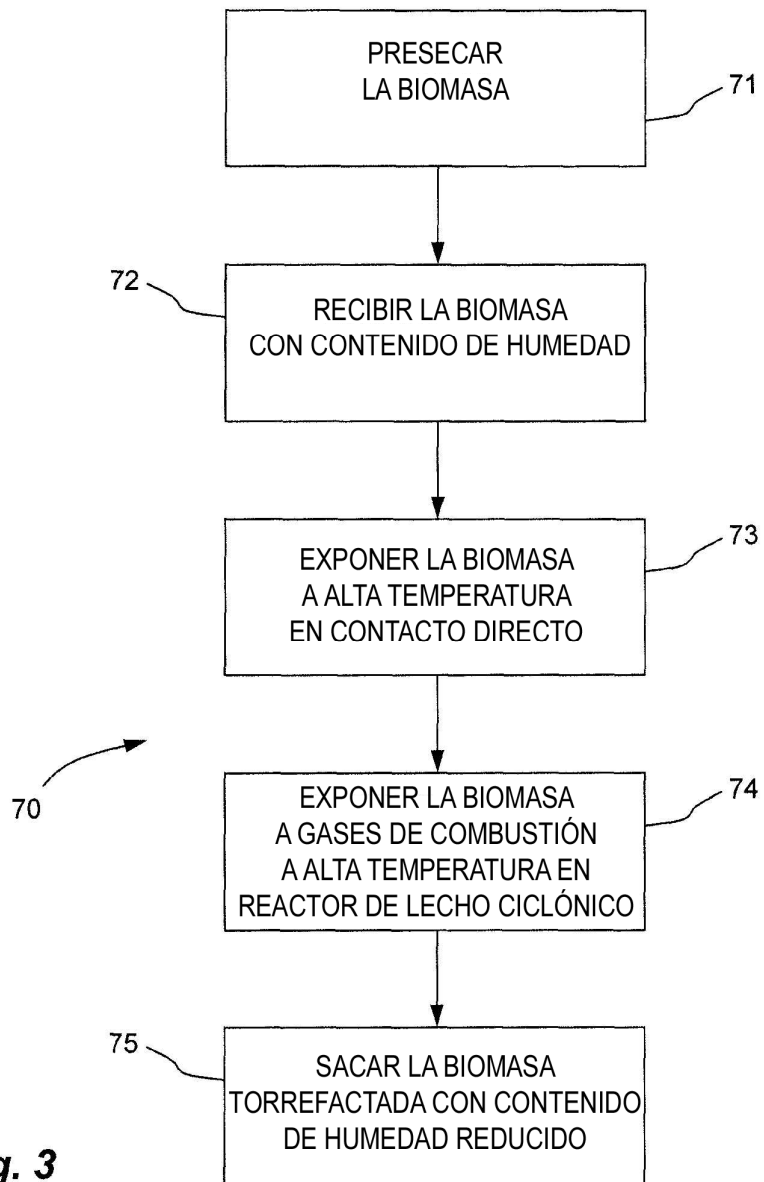


Fig. 3