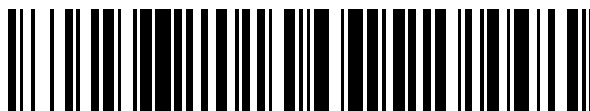


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 549 920**

51 Int. Cl.:

C10L 9/08 (2006.01)

D21C 1/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.06.2011** **E 11793112 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.07.2015** **EP 2580307**

54 Título: **Métodos para la fabricación de pellets combustibles y otros productos a partir de biomasa lignocelulósica**

30 Prioridad:

08.06.2010 US 352579 P

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

03.11.2015

73 Titular/es:

ZILKHA BIOMASS TECHNOLOGIES LLC (100.0%)
1001 McKinney, Suite 1925
Houston TX 77002, US

72 Inventor/es:

HARRIS, KENNETH HILLEL PETER

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 549 920 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

Métodos para la fabricación de pellets combustibles y otros productos a partir de biomasa lignocelulósica

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere de forma general a un método para fabricar pellets combustibles, y más especialmente, pero no a modo de limitación, a un método para fabricar compuestos moldeados y piezas extruidas, incluyendo pellets combustibles, a partir de biomasa lignocelulósica.

10

Antecedente de la invención

El elevado precio de los combustibles fósiles y el interés mundial por sustituir los combustibles y productos fósiles basados en ellos por otros basados en recursos renovables. Estos incluyen piezas y moldes extruidos que estarían basados por su parte en derivados petroquímicos tales como termoplásticos y pellets combustibles que se pueden quemar en estufas domésticas y que pueden sustituir al carbón en centrales de producción de electricidad.

15

Los procedimientos mejor establecidos para fabricar pellets combustibles implican comprimir biomasa en un molino de pelletización para fabricar lo que se denominan pellets "blancos", es decir, que son de color claro, que se pueden considerar como una fuente más compacta de energía que la propia materia prima. Los pellets blancos necesitan fabricarse de biomasa finamente dividida, lo que significa que los materiales gruesos necesitan molerse antes de pelletizarse, una etapa que requiere mucha energía. Los pellets contienen normalmente aproximadamente un 10% de humedad y necesitan almacenarse bajo cubierta, ya que absorben agua fácilmente y pierden su cohesividad. Crean también fácilmente polvo durante el transporte y el almacenamiento y, por tanto, originan un riesgo de que haya una explosión de polvo.

20

25

Se han realizado muchos intentos para aumentar el rendimiento de los molinos de pelletización y de los quemadores que los utilizan, y el procedimiento se ha extendido desde la fuente principal, residuos de aserraderos de madera blanda y viruta, que cubren una amplia gama de residuos agrícolas y materiales forestales tales como paja, rastrojo de maíz, maderas de árboles caducifolios, cascarilla, cáscaras de frutos secos, etc. Sin embargo, los pellets fabricados de todas estas fuentes adolecen de los mismos inconvenientes que los preparados a partir de residuos de aserraderos.

30

De esta manera, aunque que la biomasa pelletizada está bien establecida como combustible para fines de calentamiento a pequeña escala, sus inconvenientes dificultan utilizarla como un sustituto sencillo del carbón en instalaciones a gran escala tales como centrales eléctricas. En dichas instalaciones se demanda un pellet que se pulverice fácilmente y se pueda almacenar en el exterior. Además, una importante cualidad es que los pellets tengan una elevada densidad volumétrica para minimizar las necesidades de almacenamiento y un alto contenido de energía específica para minimizar los costes de flete por unidad de energía producida. Lo último se traduce en un bajo contenido de humedad.

35

40

Para cumplir estos requisitos, se han hecho intentos de cambiar las características químicas del material que comprende materiales "blancos" mediante la incorporación de materiales termoplásticos, o sometiendo el alimento a vapor a presión media (explosión de vapor) o destilación destructiva parcial (torrefacción) antes de pelletizar en un molino de pelletización.

45

El proceso de "explosión de vapor" conlleva el uso de vapor a presión media para romper los enlaces entre los diversos componentes del alimento para formar sustancias que puedan actuar como aglutinantes. Se ha usado la explosión de vapor a escala semicomercial para fabricar pellets combustibles en un molino de pelletización a partir de serrines de maderas blandas.

50

La torrefacción elimina los compuestos volátiles (que se pueden quemar), y la humedad de un alimento (que puede ser un pellet "blanco"), convirtiéndolo a la vez en una forma que se rompe más fácilmente (aunque más friable), con un contenido de energía mayor por unidad de peso que el alimento en el cual se basa. Sin embargo, esta friabilidad significa que el proceso puede necesitar llevarse a cabo inmediatamente antes de que se use el pellet. Estas características hacen también que este procedimiento sea totalmente inadecuado para la fabricación de piezas extruidas y moldeadas.

55

Esta friabilidad ha conducido al desarrollo de un proceso de torrefacción por el cual un pellet "blanco" se sumerge en un aceite o grasa caliente, expulsando por tanto el aire, la humedad y los compuestos volátiles y sustituyéndolos con el aceite o la grasa. Se reivindica que los pellets fabricados de esta manera son mucho menos friables y se pueden almacenar en el exterior. La torrefacción sigue sin emplearse comercialmente para fabricar pellets combustibles y no se ha propuesto nunca para la fabricación de productos extruidos o moldeados.

60

Se sabe en la materia utilizar la explosión de vapor como método para convertir la biomasa en productos más uniformes, siendo un ejemplo los pellets negros usados como combustible. Un campo de uso donde los pellets

65

blancos convencionales son insatisfactorios es cuando el producto debe almacenarse en el exterior, como es el caso de muchas centrales eléctricas que funcionan con carbón. Esto requiere que los pellets tengan una elevada resistencia, es decir, no sean propensos a la rotura durante el transporte, y una baja absorción de agua durante un periodo extenso. Es también deseable que el producto se pulverice más fácilmente que un pellet blanco.

5 El tratamiento de la biomasa con explosión de vapor, especialmente de pastos, también se ha utilizado en la fabricación de tableros y molduras por compresión pero sin extrusión, lo que requiere condiciones bastante específicas.

10 Con este fin, aunque los procedimientos de la técnica existente convierten la biomasa en productos más uniformes, sigue existiendo la necesidad de un proceso para fabricar productos extruidos o moldeados, tales como, pellets y briquetas mejorados. Es a un proceso y a un pellet de ese tipo a los que se dirige la presente invención.

Sumario de la invención

15 La presente invención se refiere a un método para producir pellets combustibles y a un pellet utilizado como fuente de combustible preparado mediante un proceso como el de las reivindicaciones adjuntas.

20 Opcionalmente, se introduce un catalizador en el reactor. El catalizador es un ácido graso, éster, o triglicérido. El catalizador se introduce antes o a la vez que el vapor en el reactor.

Descripción detallada de la invención

25 La presente invención se dirige a fabricar productos a partir de biomasa lignocelulósicas mediante una combinación de la técnica de explosión con vapor seguido bien de pelletización en un molino, formación de briquetas, o mediante extrusión en una extrusora de composición. Dichos productos tienen composiciones únicas y propiedades considerablemente mejores, en particular, una resistencia y una densidad volumétrica excepcionalmente elevada y una absorción de agua muy baja comparados con los procesos de explosión de vapor del estado de la técnica. También son más baratos de fabricar. Los ejemplos de biomasa lignocelulósicas son viruta de madera, serrín, 30 residuos de cosechas anuales, etc. La persona experta en la materia entenderá que la presente invención se puede utilizar para convertir cualquier biomasa lignocelulósica conocida en una masa de fibras o de biomasa tratada adecuada para la fabricación de productos y de productos extruidos de acuerdo con el método de la presente invención o sus variaciones, tal como se describe en el presente documento.

35 Los documentos de patente WO 2009/058276 y JP 2009/280635 describen aparatos y métodos para tratar biomasa con vapor y vacío, y los productos así obtenidos.

40 Los productos fabricados mediante la presente invención se caracterizan por que al menos un diez (10) por ciento en masa del producto incluye sustancias, preferentemente, hidratos de carbono, que son solubles en agua a 23 °C y al menos un quince (15) por ciento en masa del producto incluye lignina, pseudolignina, ésteres y/o resinas insolubles en agua pero solubles en NaOH al 10%.

45 En una realización, la biomasa es madera dura troceada, madera blanda o residuos del maíz, donde al menos un 95% de las virutas de madera tienen una dimensión menor superior a 5 mm pero inferior a 15 mm, y se han secado hasta un contenido en humedad inferior al 30% y preferentemente inferior al 15%.

50 En otra realización preferida, la biomasa es un residuo de una cosecha anual procedente de la familia de los céspedes (Poaceae) o de cultivos de oleaginosas o residuos de papel desgarrado que preferentemente se compactan en forma de pellets o briquetas y se secan hasta un contenido en humedad inferior al 30% y preferentemente inferior al 15%.

55 La biomasa seca se transporta hasta un reactor presurizado precalentado que se evacúa hasta menos de 500 torr (67 kPa) y preferentemente menos de 200 torr (27 kPa) durante un periodo de al menos 1 minuto, y no superior a 12 minutos. Se introduce en el reactor vapor seco, saturado o recalentado que tiene una temperatura de al menos 180 °C y no superior a 235 °C.

60 En otra realización, un catalizador seleccionado entre un grupo de ácidos grasos, ésteres o triglicéridos (es decir, un aceite vegetal tal como Jatropha, aceite de maíz, o aceite de cocina usado), se inyecta en el reactor a vacío que contiene la biomasa seca inmediatamente antes o junto con el vapor en una cantidad del 1-15% y preferentemente del 2-7% en peso de biomasa.

65 El uso del pretratamiento con vacío y el uso opcional de un aceite hidrófobo como catalizador de la presente invención proporciona ventajas, incluyendo la aceleración del proceso de tratamiento con vapor, que permite que la biomasa se convierta a una carga térmica menor y con un grado más elevado de conversión en materiales solubles en sustancias alcalinas, tal es el caso de los procesos de "explosión de vapor" del estado de la técnica. Esto ahorra energía y reduce la deshidratación de los azúcares de la hemicelulosa a derivados de furfural, que son compuestos

volátiles (COV) odoríferos que se suelen formar en los procesos de explosión de vapor del estado de la técnica.

La biomasa se mantiene en el reactor a una temperatura de vapor seleccionada durante un periodo de entre 1 y 12 minutos. En realizaciones preferidas, los tiempos de reacción para céspedes y restos de cosechas anuales tardan de 2 minutos a 220 °C hasta 12 minutos a 175 °C, de 3 minutos a 225 °C hasta 10 minutos a 190 °C, para la mayoría de los trozos de madera dura; y de 3 minutos a 235 °C hasta 12 minutos a 195 °C, para los trozos de madera blanda.

A continuación la biomasa se eyecta del reactor. Cuando sea necesario, el grado de saturación del vapor se puede ajustar de forma que el contenido en humedad libre de la biomasa eyectada esté por debajo del 30% y preferentemente sea menor del 20%. En el caso de la producción de pellets en un molino, el contenido en humedad es inferior al 12%. La biomasa adecuada para fabricar los productos tiene un contenido total de material soluble en NaOH al 10% de al menos un 25% y preferentemente de más del 35%. De esto, al menos un cuarto (1/4) y no más de tres quintos (3/5) también debe ser soluble en agua a 23 °C.

A continuación la biomasa se puede transferir, sin secado adicional, a un molino, máquina de fabricación de briquetas, o extrusora de composición, y convertirse en pellets o en briquetas, con o sin la adición de hasta un 50% de una fuente de carbono finamente dividida tal como carbón, coque en polvo, o biomasa no procesada, tal como serrín o papel rasgado. Se puede añadir hasta un 10% en peso de la biomasa de un auxiliar de procesamiento tal como un aceite o grasa vegetal para mejorar las características de flujo de la biomasa.

Aunque la fabricación de pellets en un molino pueda seguir el método prescrito, debe indicarse que el término extrusión se utiliza convencionalmente para describir cualquier proceso mediante el que se fabrican pellets forzando la biomasa a través de un troquel. Sin embargo, el término "extrusión" se utiliza para describir los pellets fabricados con respecto a un molino de pellets y no una extrusora de composición tal como se utiliza en el presente documento. El uso de una extrusora de este tipo es exclusivo de una realización del método de la presente invención.

Una extrusora convencional que cumpla los requisitos de una realización de la presente invención incluye uno o dos tornillos transportadores que giran en un cuerpo provisto de elementos calefactores, una o más zonas de compresión, una o más zonas de mezclado, una o más zonas de desgasificación, y un troquel que se puede calentar o enfriar, que tiene un perfil a través del cual el material se extrude. La extrusora también puede estar provista de un dispositivo medidor para la adición de un auxiliar de procesamiento hidrófobo. Una persona normalmente experta en la técnica entenderá que se puede utilizar una variedad de extrusoras siempre que la extrusora funcione de acuerdo con la presente invención tal como se describe en el presente documento.

La biomasa tratada con vapor se transporta a una primera zona de mezclado calentada de la extrusora donde la humedad se elimina mediante desgasificación. A continuación se puede añadir un auxiliar de procesamiento y transportarse el conjunto, mientras se calienta a al menos 125 °C, hasta la primera zona de mezclado, también puede calentarse, y a continuación hasta una zona de compresión donde se compacta adicionalmente en un estado fundido o semifundido. A continuación, el conjunto se transporta, opcionalmente, mediante una segunda zona de mezclado hasta una segunda zona de desgasificación al vacío donde se eliminan los compuestos volátiles antes de transportarse a la zona del troquel y convertirse en pellets.

Los productos fabricados de acuerdo con esta realización tienen una rigidez, durabilidad, densidad y contenido en energía muy elevados, así como un contenido en agua muy bajo, típicamente menor del 3% tras su inmersión en agua a temperatura ambiente durante 1 hora.

Los productos fabricados de acuerdo con la presente invención pueden contener opcionalmente hasta un 50% en peso de una fuente de carbono finamente dividida, tal como carbón, coque en polvo, o una biomasa tal como un serrín no tratado mediante vapor, siempre que la composición química del producto extruido esté comprendido en el intervalo anteriormente mencionado.

Los pellets de combustible fabricados de acuerdo con el método de la presente invención tienen un contenido en agua mucho menor que el carbono, incluso después de un almacenamiento prolongado en el exterior, y ofrecen numerosas ventajas prácticas como combustible para centrales eléctricas en comparación con el carbón y otros combustibles fósiles utilizados en la generación de electricidad tal como el coque derivado del petróleo (coque de petróleo) o el carbón.

Además del beneficio evidente de reducir las emisiones de CO₂ fósil, el gas residual producido mediante la combustión de estos pellets es mucho más limpio que el que procede del carbón, coque y fuel oil pesado, estando prácticamente exento de elementos sulfúricos y tóxicos tales como arsénico, mercurio, vanadio, etc. Esto significa que no necesita desulfurarse antes de liberarse al medio ambiente, un proceso que suele añadir un 10% o más al coste de generar energía eléctrica a partir de combustibles fósiles, así como la creación de un producto, frecuentemente considerado un residuo tóxico, que necesita eliminarse de forma adecuada.

Otra ventaja de estos pellets es que el gas residual producido por la combustión está, a diferencia del procedente del carbón, completamente exento de arsénico, que envenena los catalizadores que se utilizan para reducir los niveles de NOx en los gases residuales de una central eléctrica. De esta manera, la combustión de los pellets de biomasa fabricados según el método de la presente invención conduce a una eliminación más fiable del NOx que si se utiliza carbón.

Además, en una realización, el uso del venteo en una extrusora de composición durante la extrusión permite que los compuestos volátiles olorosos como los furfurales y los ácidos orgánicos que se pueden producir durante el tratamiento con vapor y la extrusión se eliminen antes de que se forme el producto. Debe resaltarse que estos componentes olorosos son más indeseables en productos tales como tableros de construcción y molduras.

El acto de evacuar el reactor con un vacío antes de introducir el vapor permite que el vapor y cualquier catalizador añadido penetre más completamente en la estructura interna de la biomasa, lo que convierte los pretratamientos de reducción de tamaño que utilizan mucha energía utilizados en otras técnicas, usados para convertir la biomasa en pellets de combustible, tales como la molienda o la molienda con martillos, en algo innecesario.

Además, el uso del vacío, opcionalmente junto con un vapor ligeramente recalentado, permite que el producto se pelletice inmediatamente después del tratamiento con vapor sin la necesidad de una etapa de secado intermedia. Esta es una ventaja, ya que los materiales tratados con vapor son difíciles y caros de secar hasta un nivel óptimo para la formación de pellets (<7%). Ninguna de las técnicas anteriores puede satisfacer este requisito sin secado.

Los pellets combustibles fabricados de acuerdo con el método descrito en el presente documento contienen biomasa que se ha convertido en quebradiza. Son por tanto más fáciles de moler que los pellets blancos. En comparación con los pellets blancos disponibles en el mercado, tienen contenidos mucho menores de humedad (normalmente <2 a diferencia de aprox. 10%) y, por lo tanto, un contenido de energía mucho mayor por unidad de peso y una absorción de agua muy inferior. Son también resistentes al impacto y están, por lo tanto, esencialmente exentos de polvo.

En una realización preferida, el pellet o briqueta contiene menos de un 5% de humedad, al menos un 8% y preferentemente entre 10 y 15% de sustancias solubles en agua a 23 °C y al menos 12%, preferentemente entre 15 y 30%, de sustancias insolubles en agua a 23 °C, pero solubles en una solución al 10% de hidróxido sódico, de manera que la relación entre las sustancias solubles solamente en álcali con respecto a las solubles solamente en agua no es menor de 1,0 y preferentemente entre 1,3 y 1,7 y el total de ambas no es menor del 20%, preferentemente al menos un 25%, del contenido de materia seca total del pellet o briqueta. Además, los pellets o briquetas que cumplen estas especificaciones contienen menos de un 1% de sustancias tales como furfurales que tienen olores objetables y son volátiles entre 120 °C y 170 °C.

Los pellets "negros" fabricados mediante la presente invención poseen considerables ventajas en comparación con pellets similares en un molino, incluyendo un bajo contenido de agua tras una capacidad de almacenamiento extendida en el exterior, escorrentía muy reducida tras el almacenamiento en el exterior, densidad volumétrica y durabilidad considerablemente mayores y ausencia de olores.

El hecho de que sea posible incluir biomasa no tratada finamente dividida tal como serrín, en material tratado con vapor fabricado de acuerdo con el método de la presente invención pero fabricando además pellets de buena resistencia y resistencia a la humedad, permite minimizar la energía necesaria para producir un peso unitario de los pellets.

La Tabla 1 ilustra las propiedades de los pellets combustibles fabricados de acuerdo con los métodos descritos en el presente documento mediante el tratamiento con vapor de virutas de madera de roble secas hasta un contenido de humedad del 15% hasta un vacío de 250 torr (33 kPa) durante 2 minutos en un reactor precalentado, tras lo cual se inyecta vapor seco a 210 °C y se mantiene el conjunto a esta temperatura durante 6 minutos antes de descargarse, secarse a una humedad del 9% y a continuación convertirse en pellets de 6 mm de diámetro en un troquel de molino cuya longitud de compresión del troquel es 8.

Tabla 1
LAS PROPIEDADES DE LOS PELLETS COMBUSTIBLES FABRICADOS CONVENCIONALMENTE Y MEDIANTE EL MÉTODO DESCRITO AQUÍ

Procesamiento	MC% ¹	Pérdida de energía,% ²	Densidad kg/m.cu	Durabilidad ³ %	Cont. de energía kWh/kg ⁴	Pérdida por lixiviación,% ⁵	Contenido en agua% ⁶
A. Pellets blancos normalizados	10	<1	630	94	4,2	NA	30
B. Pellets negros procedentes de molino	2	1-2	750	99	5,3	3,2	10

Procesamiento	MC% ¹	Pérdida de energía,% ²	Densidad kg/m.cu	Durabilidad ³ %	Cont. de energía kWh/kg ⁴	Pérdida por lixiviación,% ⁵	Contenido en agua% ⁶
C. Como B. con 30% de serrín	5	1	700	97	5,1	2,7	13
D. Pellets negros extrudidos	1	1-2	860	99+	5,4	0,3	2
E. Como D. con 30% de serrín⁷	2	1	790	99	5,5	1,2	3
¹ Contenido de humedad tal como se fabrica ³ De acuerdo con el método de ensayo xxx ⁵ Pérdida en DM tras inmersión en agua durante 24 h; NA = No Aplicable ⁷ Incluyendo 4% de auxiliar de procesamiento (aceite de maíz) ² Como compuestos orgánicos volátiles durante el secado y la pelletización ⁴ Como se suministra, incl. la humedad de la fabricación ⁶ Tras inmersión durante 1 h. en agua a 23 °C							

En una realización preferida del método de la presente invención, se producen pellets combustibles en una extrusora de composición con transportador de tornillo de manera que los pellets combustibles tengan un elevado contenido de energía, un bajo contenido de humedad y una resistencia aumentada con el mínimo requisito de energía y sin necesidad de secar la biomasa tratada con vapor antes de la pelletización. En la realización preferida, el material lignocelulósico, cuya dimensión más pequeña (grosor) no supera 15 mm, se introdujo en un reactor. El reactor se evacuó con el material lignocelulósico en el reactor. Se inyectó vapor seco, saturado o ligeramente insaturado en el reactor. Opcionalmente, se introdujo entre 1 y 15%, preferentemente entre 2 y 7% en peso de biomasa de un aceite, tal como un aceite, o grasa vegetal, antes o junto con el vapor. Se inyectó el vapor saturado en el reactor a una temperatura no menor de 170 °C ni mayor de 230 °C, preferentemente entre 185 °C y 215 °C. La temperatura del vapor depende del material lignocelulósico y del tiempo de reacción total de introducción del vapor para la eliminación del material tratado con el vapor. El material lignocelulósico se mantiene en el reactor no más de 15 minutos, no menos de 2 minutos, preferentemente entre 3 y 10 minutos. El proceso de la presente invención asegura que el producto tratado con vapor es tal que la proporción soluble en NaOH al 10% es al menos 25%, preferentemente al menos un 40%, del cual, al menos dos quintos (2/5) es soluble en agua a 23 °C. El contenido de humedad de la biomasa, durante el tratamiento con vapor, se controla utilizando una combinación de pretratamiento al vacío seguido por inyección de vapor seco o ligeramente recalentado de tal manera que la biomasa tratada con vapor contiene menos de un 30% en peso y preferentemente no más de un 15% en peso de humedad libre. La biomasa se pelletiza en una extrusora de tal manera que la temperatura de la extrusora es suficiente para plastificar la biomasa, desgasificando en una, y preferentemente en dos etapas para eliminar el vapor de agua y los compuestos orgánicos volátiles (COV), respectivamente. Los pellets tienen una densidad volumétrica de más de 800 kg/m³, un contenido de humedad del 3% o menos, absorbiendo menos del 3% de agua tras la inmersión total durante 1 hora y perdiendo menos del 2% en peso de materia seca tras la inmersión en agua durante 24 horas.

En otra realización de la invención, los productos extrudidos se fabrican utilizando un troquel plano, en el caso de tableros con materiales tratados con vapor que pueden contener como mucho más de un 30% o más de virutas, hebras o copos de madera fina, o en el caso de láminas más finas, por ejemplo, para fines de laminación, mediante el uso de material tratado con vapor que contiene hasta un 30% de biomasa finamente dividida que no ha sido tratada con vapor.

En otra realización de la invención, cualquier material lignocelulósico cuya dimensión más pequeña (grosor) no tenga más de 15 mm se puede convertir en pellets combustibles en un molino de pelletización. El material lignocelulósico se introdujo en un reactor. El reactor se evacuó con el material lignocelulósico en el reactor. Se inyectó vapor seco, saturado o ligeramente insaturado, cuya temperatura no sea menor de 170 °C, ni mayor de 230 °C, preferentemente entre 185 °C y 215 °C, dependiendo de la alimentación, en el reactor. Opcionalmente, se puede añadir un catalizador al reactor como se describe en el presente documento. El tiempo de reacción total desde la introducción del vapor a la eliminación del material tratado con vapor no es más de 15 minutos, no menos de 2 minutos, y preferentemente entre 3 y 10 minutos. La presente invención asegura que el producto tratado con vapor es tal que la proporción soluble en NaOH al 10% es al menos 25%, preferentemente al menos un 40%, del cual, al menos dos quintos (2/5) es soluble en agua a 23 °C. El contenido de humedad de la biomasa se controla antes y durante el tratamiento con vapor utilizando un pretratamiento al vacío seguido por la inyección de vapor seco o ligeramente recalentado, de tal manera que la biomasa tratada con vapor contiene menos de un 15% en peso y preferentemente no más de un 12% en peso de humedad libre.

Aunque la descripción anterior se refiere a realizaciones concretas de la presente invención, se entenderá que se pueden hacer muchas modificaciones. Se pretende que las reivindicaciones cubran dichas modificaciones ya que se encuentran comprendidas en el verdadero alcance de la presente invención. Las realizaciones actualmente descritas son por tanto para ser consideradas en todos los aspectos como ilustrativas y no restrictivas, indicándose el alcance de la invención por las reivindicaciones en lugar de mediante la descripción anterior.

REIVINDICACIONES

1. Un método para producir pellets combustibles, que comprende las etapas de:
 - 5 introducir una biomasa lignocelulósica que tiene un contenido de humedad de menos de aproximadamente 30% en peso en un reactor;
aplicar un vacío al reactor;
inyectar en el reactor un vapor que tenga una temperatura de entre aproximadamente 180 °C y aproximadamente 235 °C;
 - 10 mantener la biomasa en el reactor entre aproximadamente 1 y aproximadamente 12 minutos;
extraer la biomasa tratada del reactor; y
conformar la biomasa tratada en un pellet.
2. El método de la reivindicación 1 donde se añade a la biomasa menos de aproximadamente un 50% en peso de una fuente de carbono.
3. El método de la reivindicación 2 donde la fuente de carbono es carbón en polvo, coque en polvo, o biomasa sin procesar.
- 20 4. El método de la reivindicación 1 donde la biomasa se seca hasta un contenido en humedad de menos de aproximadamente 15% en peso antes de que el material pase al reactor.
5. el método de la reivindicación 1 donde el vacío aplicado al reactor es menor de 500 torr (67 kPa), de forma más preferente menos de 200 torr (27 kPa).
- 25 6. El método de la reivindicación 1, que comprende además la etapa de introducir un catalizador en el reactor.
7. El método de la reivindicación 6 donde el catalizador es un ácido graso, éster, o triglicérido.
- 30 8. El método de la reivindicación 6 donde el catalizador se introduce bien
 - (a) antes del vapor;
 - o (b) junto con el vapor.
- 35 9. El método de la reivindicación 1 donde la biomasa tratada tiene un contenido de humedad menor de aproximadamente 30% en peso.
10. El método de la reivindicación 1, que comprende además la etapa de conformar la biomasa tratada en un pellet, preferentemente con una extrusora de composición.
- 40 11. Un pellet para su uso como fuente de combustible, que se puede obtener mediante un proceso que comprende las etapas de:
 - 45 introducir una biomasa lignocelulósica que tiene un contenido de humedad de menos de aproximadamente 30% en peso en un reactor;
aplicar un vacío al reactor;
inyectar en el reactor un vapor que tenga una temperatura de entre aproximadamente 180 °C y aproximadamente 235 °C;
 - 50 mantener la biomasa en el reactor entre aproximadamente 1 y aproximadamente 12 minutos;
extraer la biomasa tratada del reactor; y
conformar la biomasa tratada en un pellet.
12. El pellet de la reivindicación 11 donde se añade a la biomasa menos de aproximadamente un 50% en peso de una fuente de carbono.
- 55 13. El pellet de la reivindicación 12 donde la fuente de carbono es carbón en polvo, coque en polvo, o biomasa sin procesar.
14. El pellet de la reivindicación 11 donde la biomasa tratada tiene un contenido de humedad menor de aproximadamente un 30% en peso.
- 60 15. El pellet de la reivindicación 11 que se puede obtener mediante el método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.