

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 015 570**

51 Int. Cl.:

C10J 3/78 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.01.2023** **E 23151363 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.12.2024** **EP 4212606**

54 Título: **Procedimiento de gasificación de la biomasa**

30 Prioridad:

14.01.2022 FR 2200302

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.05.2025

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ENERGIE ATOMIQUE ET
AUX ENERGIES ALTERNATIVES (100.00%)
25 Rue Leblanc Bat Le Ponant
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**CHATAING, THIERRY;
RATEL, GILLES y
ROBIN, THOMAS**

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 3 015 570 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 gasificación de la biomasa

Campo técnico

La presente invención se refiere al campo general de la reutilización energética de la biomasa.

5 La invención se refiere a un procedimiento de gasificación de la biomasa.

La invención se refiere también a un dispositivo de gasificación.

La invención es particularmente interesante ya que permite separar fácilmente las sales del material carbonoso de la biomasa, lo cual aumenta el rendimiento de la gasificación.

10 La invención encuentra aplicaciones en numerosos campos industriales, y especialmente para la reutilización de residuos de la industria papelera como el licor negro, pero también para la reutilización de lodos de las plantas de depuración.

Estado de la técnica anterior

15 Actualmente, en un contexto de rarefacción de recursos fósiles y de aumento del calentamiento global, es necesario encontrar soluciones alternativas al petróleo. En particular, las investigaciones se han dirigido hacia la reutilización energética de los biorrecursos y especialmente hacia la reutilización de residuos domésticos o industriales como el licor negro procedente de la preparación de la pulpa de papel.

La mayoría de los procedimientos de transformación termoquímica de la biomasa comprenden una etapa de gasificación de la biomasa en agua supercrítica. Este procedimiento es una vía de reutilización muy adecuada para los recursos húmedos.

20 Este procedimiento consiste en gasificar la biomasa en presencia de agua en el estado supercrítico (típicamente, a temperaturas de 500°C a 600°C) para obtener un gas de síntesis compuesto esencialmente de monóxido de carbono (CO), de dihidrógeno (H₂) y de dióxido de carbono (CO₂). A partir de CO y de H₂, es posible entonces obtener cadenas de hidrocarburos CH₂ similares a las procedentes de los hidrocarburos de origen fósil y por tanto fabricar un combustible sintético. Por tanto, el carbono se recupera en forma de metano o gas de síntesis para producir los combustibles.

25

La etapa de gasificación puede estar precedida por una etapa de pirólisis.

Sin embargo, este procedimiento en agua supercrítica se enfrenta a problemas de suciedad por las sales (inorgánicas) y los minerales contenidos en el recurso los cuales impactan directamente la eficiencia del procedimiento.

30 El procedimiento de gasificación hidrotermal de la biomasa se puede realizar a temperatura más baja (entre 374°C y 500°C) en presencia de un catalizador como el rutenio como catalizador [1]. Sin embargo, tales catalizadores son sensibles a los contaminantes, y especialmente al azufre, y se desactivan fácilmente en condiciones supercríticas. Los compuestos azufrados también pueden producir el sulfuro de hidrógeno H₂S. Por lo tanto, se separan antes de la etapa de gasificación, gracias a un lecho absorbente (metálico u óxido metálico) para formar los sulfuros insolubles. La biomasa también se trata previamente con un tratamiento térmico de al menos 300°C. Durante el procedimiento, las sales precipitan y pueden ser recuperadas. Gracias a la utilización del rutenio se produce principalmente el metano.

35

La separación de iones de sulfato también se puede realizar mediante la adición de cationes, por ejemplo, cationes de calcio o cationes de bario [2].

40 También es posible separar las sales por precipitación en las condiciones supercríticas [3]. El separador contiene un lecho fluidizado que puede comprender granos de arena, perlas de vidrio, de cerámica o de metal. El tamaño de estos elementos se elige de manera que no pasen a través de las rejillas. También se utilizan intercambiadores térmicos integrados en el separador de sales. Las sales se separan del fluido supercrítico, por ejemplo, con un dispositivo de tipo hidrociclón. Aunque el sistema de intercambio térmico a través de tubos sea eficiente, un tal sistema es voluminoso.

45

Otro documento describe un sistema de recuperación de las sales en un lecho fluidizado con partículas [4]. La gasificación hidrotermal se lleva a cabo en un tubo. Este lecho está compuesto de uno o más componentes como la arena, los agregados de origen mineral (piedras), por ejemplo, partículas de acero inoxidable, de vidrio o de cerámica. Las partículas tienen dimensiones de 20 µm a 1 mm. Estos componentes se introducen ya sea al mismo tiempo que la biomasa o previo a la introducción de la biomasa. Las sales presentes en la biomasa se pueden solidificar y luego formar una parte del lecho de partículas.

50

Sin embargo, una tal solución no se puede utilizar con un material viscoso como el licor negro concentrado ya que el sistema podría obstruirse rápidamente. Además, un tal sistema no puede funcionar continuamente ya que debe detenerse para recuperar las partículas que contienen la sal.

5 Las patentes US 2017/066981 A1, FR 2 882 046 A1 y US 2018/009692 A1 especifican los procedimientos y los dispositivos similares a la invención reivindicada.

Exposición de la invención

Un objetivo de la presente invención es proponer un procedimiento de gasificación que supere los inconvenientes de la técnica anterior, y en particular un procedimiento que permita recuperar fácilmente las sales inorgánicas inicialmente presentes en la biomasa.

10 Para ello, la presente invención propone un procedimiento de gasificación de la biomasa que comprende las siguientes etapas:

a) poner en contacto en un reactor principal perlas calentadas a una temperatura entre 600°C y 1000°C, y de preferencia entre 900°C y 1000°C, con una mezcla por tratar que comprende agua y una biomasa, comprendiendo la biomasa una parte orgánica y sales,

15 siendo las perlas de un material elegido entre un acero, una aleación metálica, el vidrio o una cerámica, y teniendo de preferencia un diámetro comprendido entre 500 µm y 2 mm, de preferencia entre 700 µm y 1 mm,

el reactor principal está presurizado a más de 222 bares, por ejemplo, a más de 250 bares y, de preferencia, calentado a una temperatura superior a 200°C e inferior a 374°C, por ejemplo, comprendida entre 200°C y 300°C,

20 (b) gasificar al menos parcialmente la materia orgánica, en presencia de las perlas a una temperatura superior a 374°C y a una presión superior a 222 bares, de preferencia a una temperatura comprendida entre 400°C y 500°C y a una presión superior a 250 bares (por ejemplo a una temperatura de 450°C y a una presión de 300 bares), mediante lo cual se forma una fase gaseosa, una fase acuosa y un residuo sólido, y mediante lo cual las sales precipitan sobre las perlas, formando una capa de sales que recubre las perlas,

25 El procedimiento comprende además las siguientes etapas:

c) separar las perlas recubiertas por la capa de sales de la parte orgánica,

d) regenerar las perlas, por ejemplo, según las siguientes subetapas:

d1) disolver la capa de sales de las perlas, por ejemplo, lavando las perlas con una solución acuosa a una temperatura inferior a 374°C, mediante lo cual se disuelven las sales,

30 d2) calentar las perlas a una temperatura comprendida entre 600°C y 1000°C y de preferencia entre 900°C y 1000°C, lo cual permite además eliminar posibles trazas de carbono, siendo la etapa d2) de preferencia realizada por combustión en presencia de dióxigeno.

La invención se diferencia fundamentalmente de la técnica anterior por la puesta en contacto de un flujo por tratar que contiene la biomasa y agua con perlas calentadas a temperaturas muy altas (entre 600°C y 1000°C, o incluso entre 900°C y 1000°C) en un reactor presurizado a más de 222 bares. Cuando la mezcla por tratar entra en contacto con las perlas calientes, se produce un importante intercambio térmico: las perlas proporcionan suficiente energía para aumentar la temperatura de la mezcla de reacción in situ y para que las condiciones en el reactor principal se vuelvan supercríticas (es decir, temperatura superior a 374°C y presión superior a 222 bares). El agua contenida en el flujo de material está entonces en las condiciones supercríticas. Las sales contenidas en la biomasa precipitan sobre las perlas, formando una capa alrededor de estas últimas. Por tanto, las sales quedan atrapadas en las perlas y separadas del material carbonoso de la biomasa.

Ventajosamente, la mezcla por tratar es precalentada a una temperatura de 150°C a 300°C, antes de la etapa a).

45 Ventajosamente, el procedimiento comprende una etapa durante la cual se inyecta etanol en el reactor principal para disolver los aceites contenidos en la biomasa o resultantes de la etapa a). El etanol se puede inyectar en el reactor principal simultáneamente con el flujo de material o después de la etapa a).

De manera ventajosa, las perlas caen en el reactor principal por gravedad.

50 Durante la etapa b) la parte orgánica reutilizable es gasificada. Durante la etapa b), la parte orgánica puede gasificarse en el reactor principal o de preferencia en un reactor de gasificación (también llamado reactor de agua supercrítica (SCW)).

ES 3 015 570 T3

La gasificación se lleva a cabo a una temperatura, de preferencia, inferior a 600°C y de preferencia inferior a 500°C.

La etapa b) conduce a una gasificación parcial de la biomasa. Al final del procedimiento, es posible completar el procedimiento de gasificación de la biomasa.

- 5 Ventajosamente, el procedimiento comprende además una etapa e) posterior durante la cual se realiza otra etapa de gasificación a una presión superior a 222 bares y de preferencia superior a 250 bares para gasificar completamente la materia orgánica (es decir, para gasificar la materia orgánica no gasificada durante la etapa b). Según una primera variante, la temperatura durante la etapa e) está comprendida entre 600 y 700°C. Este modo de realización es ventajoso en el caso donde la biomasa contiene azufre. Según otra variante, la etapa
- 10 e) se realiza en presencia de un catalizador a baja temperatura (es decir, a una temperatura inferior a 500°C): se trata de una reacción de gasificación catalítica.

Según una variante de realización ventajosa, las subetapas d1) y d2) se realizan en el reactor principal. Por ejemplo, las perlas se lavan en el reactor principal, mediante lo cual se pueden reutilizar directamente para un nuevo ciclo.

- 15 Según una variante muy ventajosa, el reactor principal o el reactor de gasificación está en comunicación fluida con una cámara de recuperación y las perlas se recuperan en la cámara de recuperación, por ejemplo, por gravedad, durante la etapa c).

Ventajosamente, la subetapa d1) se realiza en la cámara de recuperación.

- 20 Ventajosamente, la subetapa d2) se realiza por medio de un reactor de calentamiento o mediante varios reactores de calentamiento posicionados en serie, estando el o los reactores posicionados entre la cámara de recuperación y el reactor principal. Por ejemplo, se utilizará un reactor de precalentamiento y un reactor de calentamiento colocados en serie.

- 25 Ventajosamente, durante la subetapa d1), las perlas se lavan, de preferencia, con la fase acuosa de la etapa b), opcionalmente diluida. Esto permite disolver las sales presentes en las perlas y por tanto limpiar estas últimas. Por tanto, el líquido obtenido se evacua con las sales. Estas sales pueden ser idealmente reutilizadas, por ejemplo, por la industria papelera o por otras industrias. Opcionalmente se puede añadir agua para esta etapa de regeneración para poder recuperar completamente las sales.

- 30 Ventajosamente, la energía puede ser suministrada por el residuo sólido o carbón producido durante la gasificación hidrotermal y/o por otros biorrecursos de carbono. Para ello, una etapa de combustión del carbón depositado en las perlas puede ser llevada a cabo mediante inyección de oxígeno, ventajosamente en el reactor de precalentamiento.

Ventajosamente, el residuo sólido resultante de la etapa b) se utiliza para contribuir al calentamiento de las perlas a una temperatura entre 600°C y 1000°C y de preferencia entre 900°C y 1000°C durante la subetapa d2).

- 35 El procedimiento presenta numerosas ventajas:

- funcionamiento en ciclo cerrado que limita los problemas de estanqueidad a alta presión y temperatura,
- implementación de soluciones tecnológicas probadas,
- poder atrapar y recuperar continuamente las sales mediante la limpieza continua de las perlas,
- mejorar los intercambios de calor por el contacto directo entre las perlas y el agua supercrítica,

- 40 - poder reciclar las perlas utilizadas,

- reutilizar el carbono atrapado mediante combustión,

- reciclar la fase acuosa para el lavado de las perlas,

- convertir en energía el carbón producido y atrapado durante la reacción por combustión (como aporte calorífico al procedimiento),

- 45 - reciclar la fase acuosa para el lavado de las perlas,

- algunos gases no reutilizables se pueden utilizar, por ejemplo, para hacer funcionar una turbina,

- evitar obstruir el dispositivo y poder procesar los materiales viscosos,

- no es necesario realizar previamente la pirólisis: todas las etapas de conversión se llevan a cabo en condiciones hidrotermales,

- la etapa de gasificación se lleva a cabo a alta temperatura (alrededor de 600°C) sin catalizador o con un catalizador,

5 La invención se refiere también a un dispositivo de gasificación.

Comprendiendo el dispositivo de gasificación:

10 - un reactor principal, de preferencia configurado para ser presurizado a más de 222 bares, por ejemplo, a más de 250 bares y, de preferencia, calentado a una temperatura superior a 200°C, por ejemplo, comprendida entre 200°C y 300°C, comprendiendo el reactor principal una entrada de mezcla por tratar, una entrada de perlas y una salida para evacuar una solución que comprende las perlas y la mezcla por tratar,

- un reactor de gasificación capaz de ser calentado a una temperatura superior a 374°C, de preferencia entre 400°C y 600°C, aún más preferiblemente entre 400°C y 500°C, y sometido a una presión superior a 222 bares, de preferencia superior a 250 bares, estando el reactor de gasificación conectado a la salida del reactor principal, estando el reactor de gasificación provisto de una salida,

15 - las perlas de un material elegido entre el acero, una aleación metálica, el vidrio o una cerámica, teniendo las perlas de preferencia un diámetro comprendido en el intervalo de 500 µm a 2 mm, de preferencia de 700 µm a 1 mm,

20 - una cámara de recuperación de perlas, conectada a la salida del reactor de gasificación y provista de una salida para evacuar una mezcla que comprende una fase gaseosa y una fase acuosa y una salida para evacuar las perlas,

- un sistema de circulación que permite hacer circular las perlas en el reactor principal, en el reactor de gasificación y luego en la cámara de recuperación.

25 Ventajosamente, el dispositivo comprende además un reactor de calentamiento o varios reactores de calentamiento (por ejemplo, un reactor de precalentamiento y un reactor de calentamiento) colocados en serie, estando el o los reactores de calentamiento posicionados entre la cámara de recuperación y el reactor principal, estando el reactor de calentamiento configurado para calentar las perlas antes de inyectarlas en el reactor principal a través de la entrada de perlas. El reactor de calentamiento permite regenerar las perlas antes de una nueva utilización. Por tanto, las perlas pueden circular de manera continua y cíclica en los elementos citados anteriormente (reactor principal, reactor de gasificación, cámara de recuperación, reactor de calentamiento).

30 Este dispositivo es particularmente interesante ya que permite atrapar las sales y recuperarlas fácilmente.

El dispositivo no comprende el lecho fluidizado.

El sistema de intercambio de calor es muy eficaz. El suministro de energía es más eficiente a través del suministro directo in situ de calor en el interior del reactor.

35 Otras características y ventajas de la invención se desprenderán del complemento de descripción que sigue.

Es evidente que este complemento de descripción se da únicamente a título de ilustración del objeto de la invención y en ningún caso debe interpretarse como una limitación de este objeto.

Breve descripción de los dibujos

40 La presente invención se comprenderá mejor con la lectura de la descripción de ejemplos de realización dados simplemente a título indicativo y en ningún caso limitativo, haciendo referencia a los dibujos adjuntos en los cuales:

- La Figura 1 representa de manera esquemática y en sección un dispositivo de gasificación de una biomasa que permite separar las sales de la parte orgánica de la biomasa según un modo de realización particular de la invención.

45 - La Figura 2 representa de manera esquemática un dispositivo de gasificación de una biomasa que permite separar las sales de la parte orgánica de la biomasa según otro modo de realización particular de la invención.

- La Figura 3 es un gráfico que representa los perfiles de temperatura y de presión en función del tiempo de un reactor que contiene las perlas de vidrio y el licor negro, según un modo de realización particular de la invención.

50 - La Figura 4 es una imagen fotográfica de perlas de vidrio después de la puesta en contacto con el licor negro, calentamiento a 420°C y enfriamiento, según un modo de realización particular de la invención.

ES 3 015 570 T3

Las diferentes partes representadas en las figuras no están necesariamente según una escala uniforme, para hacer las figuras más legibles.

Las diferentes posibilidades (variantes y modos de realización) deben entenderse como no excluyentes entre sí y pueden combinarse entre sí.

- 5 Además, en la descripción de más adelante, los términos los cuales dependen de la orientación, tales como «arriba», «abajo», etc. de una estructura se aplican considerando que la estructura está orientada de la manera ilustrada en las figuras.

Exposición detallada de los modos de realización particulares

- 10 Ahora se describe con más detalle el procedimiento de gasificación de la biomasa. Especialmente, se describe con más detalle un procedimiento de gasificación que funciona en un circuito cerrado. El procedimiento comprende el ciclo de las siguientes etapas (Figura 1 y 2):

- realizar una o más veces un ciclo que comprende las siguientes etapas:

a) presurizar y calentar el reactor 100 principal a más de 222 bares, especialmente a más de 250 bares y a una temperatura superior a 200°C, por ejemplo, a una temperatura comprendida entre 200°C y 300°C,

- 15 luego, poner en contacto, en el reactor 100 principal, las perlas 200 calentadas a una temperatura entre 600°C y 1000°C, y de preferencia entre 900°C y 1000°C, con una mezcla por tratar que comprende agua y una biomasa, comprendiendo la biomasa una parte orgánica y las sales,

siendo las perlas de un material elegido entre un acero, una aleación metálica, el vidrio o una cerámica, y teniendo de preferencia un diámetro comprendido entre 500 µm y 2 mm,

- 20 (b) realizar una primera gasificación (gasificación parcial) de la materia orgánica a una temperatura superior a 374°C y a una presión superior a 222 bares, de preferencia a una temperatura entre 400°C y 500°C y a una presión superior a 250 bares (por ejemplo, a una temperatura de 450°C y a una presión de 300 bares), mediante lo cual se forma una fase gaseosa, una fase acuosa y un residuo sólido,

siendo durante la etapa b), la materia orgánica gasificada en presencia de las perlas 200,

- 25 mediante lo cual las sales precipitan sobre las perlas 200, formando una capa 210 de sales que recubre las perlas 200,

comprendiendo además el procedimiento las siguientes etapas:

c) recoger las perlas 200 recubiertas por la capa 210 de sales de la parte orgánica reutilizable (gas de síntesis),

d) regenerar las perlas 200 según las siguientes subetapas:

- 30 d1) retirar la capa 210 de sales de las perlas 200, por ejemplo, lavando las perlas 200 con una solución acuosa, estando la solución acuosa a una temperatura inferior a 374°C, mediante lo cual se disuelven las sales,

d2) calentar las perlas a una temperatura comprendida entre 600°C y 1000°C y de preferencia entre 900°C y 1000°C.

- 35 e) de preferencia, realizar una segunda etapa de gasificación (gasificación total) para gasificar la materia orgánica no gasificada durante la etapa b).

Por biomasa, se entiende cualquier material no homogéneo de origen biológico, el cual puede estar casi seco, como los residuos de aserradero o la paja, o empapado en agua, como los residuos domésticos.

Ventajosamente, la biomasa tiene una tasa de humedad superior al 50%.

- 40 Se puede tratar de algas (por ejemplo, microalgas o macroalgas), residuos agrícolas (tortas, residuos de madera de corona, etc.) o industriales (procedentes especialmente de la industria papelera), residuos domésticos, lodos procedentes de plantas de depuración, o de aguas residuales.

Posteriormente, la biomasa hace referencia a cualquier tipo de residuo natural, industrial o doméstico que contenga una parte orgánica reutilizable y una parte inorgánica. En particular, se puede tratar del licor negro.

- 45 La biomasa contiene una tasa de materia inorgánica significativa, típicamente entre 1 y 10% en masa. Por X y Y, se entiende en este caso, y posteriormente que los límites están incluidos.

La parte inorgánica de la biomasa puede estar formada por sales de carbonato de sodio y/o sales de carbonato de calcio y/o sales de carbonato de potasio.

ES 3 015 570 T3

La biomasa también puede tener una baja tasa de azufre o de nitrógeno, por ejemplo, del 1 al 5% en masa.

A continuación, se describen con más detalle las diferentes etapas de estas diferentes variantes de realización.

Previo a la etapa a), algunos materiales pueden ser pretratados y/o molidos finamente con el fin de evitar la obstrucción anticipada del reactor.

- 5 De preferencia, la biomasa se muele antes de la etapa a).
- La mezcla por tratar puede precalentarse a una temperatura de 150°C a 300°C, antes de la etapa a).
- Durante la etapa a), las perlas 200 se ponen en contacto con un flujo de material que contiene agua y la biomasa.
- 10 El flujo de material comprende la biomasa y agua. Por ejemplo, el flujo de material comprende del 10 al 20% de biomasa.
- El flujo de material se puede inyectar bajo presión. Se inyecta ventajosamente bajo presión y a una temperatura entre 150 y 300°C, de preferencia entre 200°C y 300°C.
- El flujo de material se inyecta, por ejemplo, gracias a una inyección de pistón.
- 15 Las perlas 200 están a una temperatura entre 600°C y 1000°C, de preferencia entre 700°C y 1000°C y aún más preferiblemente entre 900°C y 1000°C.
- La biomasa introducida en el reactor 100 está a una temperatura comprendida, por ejemplo, entre 10°C y 300°C, de preferencia entre 20°C y 250°C. La biomasa se puede precalentar, por ejemplo, a una temperatura entre 150°C y 300°C, por ejemplo, entre 150°C y 250°C. La biomasa está a una temperatura inferior a la temperatura crítica (es decir, inferior a 374°C).
- 20 Ventajosamente, el reactor 100 principal donde se lleva a cabo la puesta en contacto entre las perlas 200 y la biomasa está presurizado. Está especialmente a una presión superior a 222 bares y de preferencia superior a 250 bares. Por tanto, cuando la biomasa entra en contacto con las perlas 200 calientes, estas últimas suministran la energía necesaria a la biomasa para que las condiciones se vuelvan supercríticas. Las sales en contacto con la superficie caliente de las perlas precipitan y cubren estas perlas, formando así una capa alrededor de estas últimas. La capa de sales puede ser continua o discontinua.
- 25 Las sales pueden comenzar a depositarse en las perlas 200 durante la etapa a).
- Las sales son por ejemplo sales de carbonato de sodio y/o carbonato de calcio y/o carbonato de potasio.
- El carbono y/o el material carbonoso también pueden quedar atrapados al mismo tiempo que las sales en las perlas. La etapa d2) permite reutilizarlas.
- 30 Las perlas 200 pueden ser de acero, de aleación metálica, de cerámica (por ejemplo, de alúmina o SiC) o de vidrio.
- Se elegirá especialmente, una aleación que resista a la corrosión y a las altas temperaturas.
- Las perlas 200 pueden comprender un revestimiento, por ejemplo, de cerámica o de un material catalítico tal como el rutenio. El revestimiento puede ser continuo o discontinuo. Cuando la biomasa comprende una baja tasa de azufre o de nitrógeno, se eligen ventajosamente perlas desprovistas de revestimiento catalítico para evitar el envenenamiento.
- 35 De preferencia, para un funcionamiento continuo, se elegirán perlas metálicas (especialmente de acero o de aleación metálica).
- 40 El diámetro de las perlas 200 está, por ejemplo, comprendido entre 500 µm y 2 mm, y de preferencia entre 700 µm y 1 mm. Las dimensiones de las perlas 200 dependen especialmente del dispositivo utilizado y especialmente del tamaño de las tuberías y de las válvulas, así como de los filtros, por ejemplo, utilizados durante la etapa d). Se elegirán, ventajosamente, perlas que tengan una superficie específica satisfactoria.
- 45 Durante la etapa a) o después de la etapa a), se puede inyectar etanol para asegurar la disolución de los aceites presentes en el reactor. El etanol podrá disolver el material carbonoso y especialmente el aceite (alquitrán) el cual pudiera depositarse en la superficie de las perlas y evitar la deposición de las sales. Ventajosamente, la utilización de etanol también evita que las perlas se peguen entre sí. Una fracción de etanol también puede descomponerse en hidrógeno y metano mejorando la conversión del material.

ES 3 015 570 T3

El etanol se puede introducir en el reactor con el flujo de material. Se puede añadir etanol en baja concentración, por ejemplo, del 5 al 10% del flujo de material inicial. Según otra variante de realización, el etanol se añade directamente al separador de sales.

5 Durante la etapa b), el material se somete a una primera etapa de gasificación en un entorno supercrítico. Se trata de una gasificación parcial.

La reacción de gasificación puede tener lugar con o sin catalizador.

Una vez completada la reacción de gasificación, se obtiene:

- una fase gaseosa que comprende gases no condensables que comprenden, entre otros, el monóxido de carbono (CO), el dióxido de carbono (CO₂), el hidrógeno (H₂), el metano (CH₄),

10 - una fase sólida: los residuos sólidos carbonosos que se agrupan bajo los nombres de «carbón», «carbón vegetal», y

- una fase acuosa.

También se pueden obtener trazas de bioaceites en condiciones supercríticas hasta 400°C.

15 Durante la etapa c), se recoge el material carbonoso (es decir, se separa el material carbonoso de las sales). Esta etapa se realiza a una temperatura superior a 374°C para no disolver las sales. De preferencia, se realiza a una temperatura entre 374°C y 400°C.

Se pueden implementar varias variantes de realización:

20 - la biomasa se puede gasificar en el reactor 100 principal utilizado durante la etapa a) y las perlas 200 recubiertas con sales 210 se retiran del reactor 100 y/o se evacua el material carbonoso del reactor 100 principal; por ejemplo, se extraen las perlas 200 del reactor 100 gracias a una esclusa de aire posicionada en la parte baja del reactor, o

25 - la biomasa se gasifica en un reactor 300 de gasificación en presencia de las perlas 200, luego las perlas 200 recubiertas con sales 210 se retiran del reactor 300 de gasificación y/o se evacua el material carbonoso del reactor 300 de gasificación; por ejemplo, se extraen las perlas 200 del reactor 300 gracias a una esclusa de aire posicionada en la parte baja del reactor 300.

Las perlas 200 desempeñan la función de soporte para las sales. Por tanto, se facilita la evacuación del reactor.

Luego, durante la etapa d), se regeneran las perlas. Las perlas se lavan con una solución acuosa. Ventajosamente, se lavan con la fase acuosa resultante de la etapa b). La fase acuosa se puede utilizar tal cual o diluida. La etapa d) permite recuperar las sales por disolución en la fase líquida.

30 El lavado se realiza ventajosamente con una agitación mecánica y/o dispositivo vibratorio y/o en presencia de ultrasonidos.

La temperatura durante la etapa d) está, por ejemplo, entre 300 y 320°C, lo cual permite optimizar la eficiencia del procedimiento.

35 Esta fase de limpieza dura, por ejemplo, entre 15 y 20 minutos en configuración por lotes. Para un funcionamiento continuo, se pueden elegir tiempos de residencia de unos pocos segundos a unos pocos minutos, por ejemplo, de 10 segundos a 5 minutos, de preferencia de 30 segundos a 2 minutos.

La fase acuosa que contiene las sales es evacuada y filtrada. Los poros del filtro son de preferencia lo suficientemente pequeños para evitar la pérdida del carbón que contiene el carbón reutilizable.

40 Es posible realizar la etapa d) en cada ciclo o después de varios ciclos. La frecuencia de la etapa d) depende de la cantidad de sales recuperadas en la superficie de las perlas.

Las fases acuosa, gaseosa y sólida son separadas. La separación se lleva a cabo de preferencia a una temperatura más baja. La fase acuosa y los residuos sólidos se utilizan, por ejemplo, para regenerar las perlas 200 (etapa d). La fase acuosa se puede diluir con agua de red si el volumen de la fase acuosa no es suficiente para limpiar las perlas.

45 Ventajosamente, el procedimiento comprende una etapa durante la cual las perlas se someten a una etapa de combustión. Esta etapa permite eliminar el carbono residual («carbón») depositado en su superficie durante la etapa a) y/o b).

La etapa de combustión del carbono residual depositado sobre las perlas 200 puede tener lugar en el reactor 100 principal utilizado durante la etapa a). Si las perlas han sido extraídas de este reactor 100, por ejemplo,

ES 3 015 570 T3

durante la etapa c), pueden ser reintroducidas en el reactor 100 gracias a un dispositivo de transporte (por ejemplo, un pistón).

- 5 De preferencia, la combustión se lleva a cabo en un reactor 800 de calentamiento posicionado antes del reactor 100 principal y que permite calentar las perlas 200 antes de introducirlas en el reactor 100 principal (Figura 4). La combustión se realiza ventajosamente a una temperatura entre 700°C y 1000°C y de preferencia entre 900°C y 1000°C. Se realiza ventajosamente a presión atmosférica (1 bar).

Se pueden añadir otros materiales carbonosos procedentes del mismo procedimiento. Por ejemplo, se puede tratar de materiales carbonosos procedentes de la industria papelera: las cortezas de árboles y otros compuestos procedentes de la madera.

- 10 Se midió por calorimetría que el sólido residual con la sal tiene un poder calorífico de 15 MJ/kg para la gasificación del licor negro a 600°C. Si se extrae la sal, el sólido contiene una energía superior a 30 MJ/kg (Dulong). Esto puede ser suficiente para suministrar energía para la combustión.

Esta etapa permite, ventajosamente, precalentar las perlas con el fin de realizar un nuevo ciclo.

Este ciclo de etapas se repite ventajosamente varias veces hasta obtener la cantidad de gas deseada.

- 15 Al finalizar el procedimiento de separación de las sales, es posible completar el procedimiento de gasificación de la biomasa (etapa e):

- ya sea a baja temperatura (típicamente a una temperatura inferior a 500°C) en presencia de un catalizador: se trata de una reacción de gasificación catalítica,

- 20 - o a alta temperatura (típicamente a una temperatura comprendida entre 600 y 700°C); este modo de realización es ventajoso en el caso donde la biomasa contiene azufre.

Aunque esto no es de ninguna manera limitante, la invención encuentra particularmente las aplicaciones en el campo de la industria papelera y en particular para la reutilización del licor negro.

Ahora se describirá con más detalle el dispositivo para implementar el procedimiento de circuito cerrado.

El dispositivo comprende los siguientes elementos posicionados sucesivamente en serie (Figuras 1 y 2):

- 25 - un reactor 100 principal (también llamado reactor de pregasificación),
- un reactor 300 de gasificación,
- una cámara 500 de recuperación de las perlas (también llamada cámara de separación).
- un reactor 800 de calentamiento conectado al reactor 100 principal.

El dispositivo comprende al menos dos entradas y al menos una salida:

- 30 - una entrada de material 101 por tratar dispuesta al nivel del reactor 100 principal,
- una salida de salmuera 603 dispuesta entre la cámara 500 de recuperación y el reactor 800 de calentamiento, para evacuar la salmuera,
- una salida 502 de mezcla agua/gas dispuesta al nivel de la cámara 500 de recuperación para evacuar una
35 mezcla de agua supercrítica y de gas de síntesis, estando la salida 502 de mezcla de agua/gas ventajosamente conectada a otro reactor de gasificación (no se representa) para completar el procedimiento de gasificación de la biomasa.

- 40 Para un dispositivo de funcionamiento continuo, las perlas 200 circulan continuamente en los diferentes componentes del dispositivo. Por ejemplo, una parte de las perlas 200 está en el reactor 100 principal mientras que otra parte está en el reactor 300 de gasificación y otra parte de las perlas 200 está en la cámara 500 de recuperación.

- 45 Esta variante permite un funcionamiento continuo del dispositivo. Permite tener una unidad dedicada al calentamiento de las perlas con o sin combustión, una unidad dedicada a la gasificación y una unidad dedicada al lavado de las perlas. Por tanto, se evita someter el reactor de combustión a numerosas variaciones de presión y temperatura (calentamiento, y luego lavado). Tales variaciones extremas de temperatura y de presión pueden poner a prueba rápidamente el material del reactor. Se puede utilizar un intervalo más amplio de materiales. Además, se simplifica el intercambio térmico después de la combustión.

Este modo de funcionamiento continuo puede comprender el siguiente ciclo de etapas:

ES 3 015 570 T3

- implementar la etapa a) en el reactor 100 principal, pudiendo la etapa a) conducir al inicio de la gasificación de la materia orgánica, pudiendo las perlas empezar a cubrirse de sales durante esta etapa,

- implementar la etapa b) en el reactor 300 de gasificación (se trata, de preferencia, de un tubo), en presencia de las perlas 200 para tener el tiempo de residencia óptimo,

5 - implementar la etapa c) enrutando las perlas 200 en la cámara 500 de recuperación,

luego, después de la realización de uno o más ciclos, se implementan las siguientes etapas:

- implementar la etapa d1) en la cámara 500 de recuperación y, de preferencia, en una cámara 600 de disolución de sales (se trata, de preferencia, de un tubo), para tener el tiempo de residencia óptimo,

- implementar la etapa d2) en el reactor 800 de calentamiento posicionado antes del reactor 100 principal,

10 - implementar de preferencia la etapa e) en otro reactor de gasificación conectado a la salida 502 de la cámara 500 de recuperación.

Ahora se describe de manera más detallada la disposición de los diferentes componentes del dispositivo.

15 El reactor 100 principal o reactor de pregasificación comprende la entrada de material 101 por tratar, una entrada 102 de perlas y una salida 103 para evacuar un medio de reacción que comprende las perlas, agua y la biomasa.

La biomasa se puede almacenar en un reactor de almacenamiento. Se puede disponer un sistema de transferencia que comprende una esclusa de aire de transferencia entre el reactor de almacenamiento y el reactor 100 principal o reactor de pregasificación para transferir la biomasa desde el reactor de almacenamiento hacia el reactor 100 principal.

20 La entrada 102 de perlas también está conectada al reactor 800 de calentamiento.

Las perlas 200 calentadas se ponen en contacto con la mezcla por tratar en el reactor 100 principal o reactor de pregasificación. El reactor puede estar:

- a alta presión (típicamente superior a 250 bares) y a temperatura ambiente (entre 20 y 25°C), o

25 - a alta presión (típicamente superior a 222 bares y de preferencia superior a 250 bares) y a una temperatura superior a 200°C y de preferencia inferior a 374°C (por ejemplo 300°C).

Las perlas 200 transfieren su calor a la mezcla por tratar: la temperatura de la mezcla aumenta y pasa a condiciones supercríticas (temperatura superior a 374°C). Se forma una mezcla de reacción en el reactor 100 principal o reactor de pregasificación.

30 La mezcla de reacción es luego enrutada en el reactor 300 de gasificación conectado a la salida 103. Este reactor es, por ejemplo, un tubo. Tiene una longitud adecuada para que la energía almacenada en las perlas se libere al agua supercrítica y que las sales se depositen en las perlas 200 durante el paso del agua a fase gaseosa.

35 A la salida 302 del reactor 300 de gasificación, la mezcla de reacción es evacuada en una cámara 500 de recuperación. En esta cámara 500, se separa por un lado una mezcla de gas y de agua supercrítica y por otro lado las perlas 200 recubiertas por la capa 210 de sales. La parte baja de la cámara 500 está regulada a una temperatura inferior a la temperatura crítica de 374°C (por ejemplo, a una temperatura de 360°C) para que el gas supercrítico vuelva a ser líquido y, por tanto, vuelva a disolver las sales en el agua. Una salida 502 permite evacuar el agua supercrítica y el gas de síntesis. Una salida 503 permite evacuar las perlas.

40 Para favorecer la disolución de las sales, las perlas 200 pueden pasar de una cámara 600 de disolución, ventajosamente en forma de tubo, llena de agua, por ejemplo, por gravedad, sobre una longitud adecuada. El tubo comprende un primer extremo conectado a la salida 503 de la cámara 500 de separación. En el otro extremo del tubo 600, la salida 603 de salmuera permite evacuar el líquido cargado de sal. El caudal extraído es ventajosamente equivalente al caudal de entrada.

45 El tubo 600 está a una temperatura inferior a 374°C para poder disolver las sales. De preferencia, está a una temperatura superior a 300°C para evitar enfriar demasiado la solución y luego minimizar el suministro de energía durante el calentamiento de las perlas 200.

50 El tubo 600 alimenta un reactor 700 de precalentamiento con perlas 200 a través de la salida 602. Este reactor 700 está ventajosamente provisto con un tornillo de Arquímedes para transportar las perlas 200 desde la parte inferior a la parte superior del reactor 700. Durante la fase de transporte de las perlas, el reactor se calienta (ya sea eléctricamente o mediante un gas caliente producido por un quemador) para permitir el paso en condiciones

supercríticas del agua residual y el almacenamiento de energía en las perlas, siendo estas últimas liberadas de sales.

El reactor 700 puede estar provisto con una entrada 701 de dióxígeno. Ventajosamente, la utilización de dióxígeno permite quemar el carbono residual depositado en las perlas 200.

- 5 Un reactor 800 de calentamiento, por ejemplo, un intercambiador espiral, está dispuesto entre el reactor 700 de precalentamiento y el reactor 100 principal para completar esta operación de calentamiento de las perlas 200. El reactor 800 tiene una longitud desplegada optimizada que permite montar las perlas 200 a una temperatura adecuada a las condiciones de prueba deseadas (típicamente entre 700°C y 1000°C, de preferencia entre 900°C y 1000°C) por ejemplo gracias a los humos calientes generados por un quemador.
- 10 Por tanto, las perlas sobrecalentadas alimentan el reactor 100 principal a través de la entrada 102 por gravedad para un nuevo ciclo.

Ejemplo ilustrativo y no limitativo de un modo de realización con un reactor de tipo discontinuo

- 15 En este ejemplo, se utilizó un reactor discontinuo de 500 ml (industria TOP). En el reactor discontinuo, se añadieron 90 g de perlas de vidrio con 27 g de agua y 3 g de etanol. Las perlas fueron precalentadas a una temperatura de al menos 700°C. El reactor fue calentado a una temperatura de 400 a 420°C. Se inyectaron aproximadamente 27 g de licor negro. La presión está alrededor de 250 bares. Una vez que la temperatura alcanzó los 420°C durante 5 minutos, el reactor fue enfriado según el tratamiento térmico que se representa en el gráfico de la Figura 3. Luego se analizaron los gases formados. A esta temperatura, fueron formados principalmente el nitrógeno, el dióxido de carbono y el hidrógeno en bajas cantidades.

- 20 Una vez enfriado el reactor se abrió. Las perlas se separaron de la fase acuosa. Se observó que las perlas estaban recubiertas con una capa bastante dura de sales y soldadas entre sí (Figura 4). La capa de sal se puede recuperar, por ejemplo, mezclando vigorosamente las perlas, lo cual permite romper la capa de sal y/o mediante lavado con una solución acuosa.

Ejemplo ilustrativo y no limitativo de un modo de realización con un reactor que funciona continuamente.

- 25 A título ilustrativo y no limitativo, a continuación, se dará más en detalle el dimensionamiento de una unidad de gasificación que puede procesar 100 kg/h de biomasa en modo continuo. Una tal unidad se representa, por ejemplo, en la Figura 2.

Las condiciones en los límites son las siguientes: $T_{frío}$ en el elemento 500 = 360°C, T_{salida} de gas (S1)=500°C, $T_{salmuera}$ (S2)=360°C.

- 30 El recurso E es inyectado en la entrada 101. Se trata de una biomasa al 20% MS. El caudal es de 100kg/h. La biomasa está a temperatura ambiente $T_{amb}=20^{\circ}C$.

Las perlas son de acero inoxidable 304L con un diámetro de 2 mm, $C_p=500$ J/kg°K, $R_o=7000$ kg/m³. Hay aproximadamente 34000 perlas.

- 35 Cuando las perlas se introducen en el reactor 100 a través de la entrada 102 de perlas, están a una temperatura de 790°C. El caudal es de 1000 kg/h. La potencia por suministrar e intercambiar es de 60 kW.

El reactor 100 permite poner en contacto y mezclar las perlas calientes con la biomasa. El reactor 100 es de Inconel 600. La entrada 101 de biomasa puede estar perpendicular al flujo de perlas o en contracorriente al flujo de perlas. La entrada 101 de biomasa tiene un diámetro de 15 mm. Se puede tratar de una perforación vertical posicionada en la parte superior del reactor 100. De preferencia, se trata de una perforación lateral.

- 40 La entrada 102 de perlas tiene un diámetro de 17.1 mm y un espesor de 3.2 mm (perforación lateral tangencial).

Ventajosamente, el reactor 100 comprende una parte cilíndrica al nivel de las entradas 101 y 102 y una parte en forma de cono al nivel de la salida 103 para facilitar la evacuación de la mezcla. El cono de salida tiene, por ejemplo, una altura $H=200$ mm. La parte cilíndrica tiene, por ejemplo, un diámetro $D=100$ mm y una altura $H=400$ mm.

- 45 La salida 103 del reactor tiene, por ejemplo, un diámetro de 20 mm. Está conectada a la entrada del reactor 300 de gasificación.

El reactor 300 de gasificación es de Inconel 600. El reactor 300 es de preferencia un tubo de 20x2.7 mm y de longitud $L=2000$ mm. Tiene, por ejemplo, una inclinación ajustable (20 a 60°). La potencia eléctrica es $P_{elec}=5$ kW (compensación de pérdidas térmicas).

- 50 La salida 302 del reactor 300 de gasificación tiene, por ejemplo, un diámetro de 20 mm.

ES 3 015 570 T3

La cámara 500 de recuperación es un separador sólido/gas de Inconel 600. La salida 502 de gas para evacuar los gases (S1) tiene, por ejemplo, un diámetro de 15 mm.

5 La cámara 500 de recuperación tiene, por ejemplo, las siguientes dimensiones: D=100 mm y H=400 mm. La parte inferior de la cámara 500, tiene de preferencia una forma de cono para facilitar la evacuación de las perlas. El diámetro de la salida 503 es, por ejemplo, de 20 mm. El cono de salida tiene, por ejemplo, una altura H=200 mm. La parte baja de la cámara está a una temperatura inferior a 374°C (por ejemplo 360°C) para que el gas supercrítico se vuelva líquido y se resolubilicen las sales.

10 La redisolución de sales se puede mejorar utilizando un componente 600 adicional. Por ejemplo, podría tratarse de un tubo de acero inoxidable 304L, que tenga, por ejemplo, una longitud L=2000 mm. La inclinación es ajustable (10 a 45°).

El diámetro de la salida 602 que permite transferir las perlas hacia el reactor 700 de precalentamiento es, por ejemplo, de 20 mm. El diámetro de la salida 603 de salmuera (S2) es, por ejemplo, de 20 mm.

15 El tornillo de Arquímedes del elemento 700 puede ser de acero inoxidable 304L. Se trata, por ejemplo, de un tubo de 20x2 mm con aletas engastadas en espiral, espesor=5 mm, paso= 20 mm, tornillo Dext= 100 mm, Longitud=1000 m. El motor del tornillo de Arquímedes tiene, por ejemplo, una potencia de P=1kw con reductor, y una velocidad variable de 0 a 10 rpm.

20 El reactor 700 de calentamiento es de acero inoxidable 304L. De preferencia, se trata de un tubo de dimensiones: 100x5 mm y L= 1100 mm. La entrada 801 del reactor 800 de calentamiento es una perforación lateral, por ejemplo, con un diámetro de 20 mm. La salida del reactor 800 es una perforación lateral, por ejemplo, con diámetro de 17.1 mm. La potencia de Pélec es de 20 kW. Por ejemplo, se utilizan cables de calefacción enrollados alrededor del reactor 800. El reactor es de preferencia tubular. La serpentina de calentamiento es de Inconel 625 con las siguientes características: Tubo 17.1x3.2 mm, L=5000 mm enrollado en hélice (D=320 mm). Por ejemplo, se eligen 5 espiras en H=800 mm y Pélec=40 kW (zona de calentamiento mediante radiación de tipo Kanthal).

25 Referencias

[1] US 2010/0154305 A1

[2] US 2014/0054507 A1

[3] WO 2016/113685 A1

[4] US 2017/0218286 A1

30

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de gasificación de la biomasa que comprende las siguientes etapas:
- 5 a) poner en contacto en un reactor (100) principal las perlas (200) calentadas a una temperatura entre 600°C y 1000°C, y de preferencia entre 900°C y 1000°C, con una mezcla por tratar que comprende agua y una biomasa, comprendiendo la biomasa una parte orgánica y sales,
- siendo las perlas de un material elegido entre un acero, una aleación metálica, el vidrio o una cerámica, y teniendo de preferencia un diámetro comprendido entre 500 µm y 2 mm,
- estando durante la etapa a), el reactor (100) principal presurizado a más de 222 bares, por ejemplo, a más de 250 bares y, de preferencia, calentado a una temperatura superior a 200°C e inferior a 374°C, por ejemplo, a 10 una temperatura comprendida entre 200°C y 300°C,
- b) gasificar al menos parcialmente la materia orgánica, en presencia de las perlas (200), a una temperatura superior a 374°C y a una presión superior a 222 bares, de preferencia a una temperatura comprendida entre 400°C y 500°C y a una presión superior a 250 bares, mediante lo cual se forma una fase gaseosa, una fase acuosa y un residuo sólido, y mediante lo cual las sales precipitan sobre las perlas (200), formando una capa 15 (210) de sales que recubre las perlas (200),
- comprendiendo además el procedimiento las siguientes etapas:
- c) separar las perlas (200) recubiertas por la capa (210) de sales de la parte orgánica,
- d) regenerar las perlas (200) por ejemplo según las siguientes subetapas:
- 20 d1) retirar la capa (210) de sales de las perlas (200), por ejemplo, lavando las perlas (200) con una solución acuosa a una temperatura inferior a 374°C, mediante lo cual se disuelven las sales,
- d2) calentar las perlas (200) a una temperatura comprendida entre 600°C y 1000°C y de preferencia entre 900°C y 1000°C, siendo la etapa d2) de preferencia realizada mediante combustión en presencia de dioxígeno.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque el procedimiento comprende una etapa durante la cual se inyecta etanol en el reactor (100) principal para disolver los aceites contenidos en la biomasa.
- 25 3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el procedimiento comprende además una etapa e) posterior durante la cual se realiza otra etapa de gasificación a una presión superior a 222 bares y de preferencia superior a 250 bares para gasificar la materia orgánica no gasificada durante la etapa b), estando la temperatura durante la etapa e) comprendida entre 600 y 700°C o siendo la etapa e) realizada en presencia de un catalizador a una temperatura inferior a 500°C.
- 30 4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque, durante la etapa b), la parte orgánica se gasifica en un reactor (300) de gasificación.
5. Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado porque el reactor (300) de gasificación está en comunicación fluida con una cámara (500) de recuperación y porque, durante la etapa c), las perlas (200) se recuperan en la cámara (500) de recuperación.
- 35 6. Procedimiento según la reivindicación 5, caracterizado porque la subetapa d2) se realiza en un reactor (800) de calentamiento posicionado entre la cámara (500) de recuperación y el reactor (100) principal.
7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la mezcla por tratar se precalienta a una temperatura de 150°C a 250°C, antes de la etapa a).
- 40 8. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque durante la subetapa d1) las perlas (200) se lavan con la fase acuosa resultante de la etapa b), opcionalmente diluida.
9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el residuo sólido resultante de la etapa b) se utiliza para calentar las perlas (200) a una temperatura entre 600°C y 1000°C y de preferencia entre 900°C y 1000°C durante la subetapa d2).
- 45 10. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la biomasa tiene una tasa de humedad superior al 50 %, comprendiendo la biomasa de preferencia microalgas, macroalgas, residuos agrícolas tales como tortas, residuos de madera de corona, residuos domésticos, lodos procedentes de plantas de depuración o aguas residuales, pudiendo la biomasa ser triturada antes de la etapa a).
11. Dispositivo de gasificación que comprende:

ES 3 015 570 T3

- un reactor (100) principal, de preferencia configurado para ser presurizado a más de 222 bares, por ejemplo, a más de 250 bares y, de preferencia, calentado a una temperatura superior a 200°C, por ejemplo, comprendida entre 200°C y 300°C, que comprende una entrada (101) de mezcla por tratar, una entrada (102) de perlas y una salida (103) para evacuar una solución que comprende las perlas (200) y la mezcla por tratar,
 - 5 - un reactor (300) de gasificación capaz de ser calentado a una temperatura entre 400°C y 600°C, de preferencia entre 400°C y 500°C, y presurizado a una presión superior a 222 bares, de preferencia superior a 250 bares, estando el reactor (300) de gasificación conectado a la salida (103) del reactor (100) principal, estando el reactor (300) de gasificación provisto de una salida (302),
 - 10 - perlas (200) de un material elegido entre el acero, una aleación metálica, el vidrio o una cerámica, teniendo las perlas de preferencia un diámetro comprendido en el intervalo de 500 µm a 2 mm,
 - una cámara (500) de recuperación de las perlas, conectada a la salida (302) del reactor (300) de gasificación y provista de una salida (502) para evacuar una mezcla que comprende una fase gaseosa y una fase acuosa y una salida (503) para evacuar las perlas,
 - 15 - un sistema de circulación que permite hacer circular las perlas sucesivamente en el reactor (100) principal, en el reactor (300) de gasificación y luego en la cámara (500) de recuperación,
- comprendiendo además el dispositivo un reactor (800) de calentamiento, posicionado entre la cámara (500) de recuperación y el reactor (100) principal, estando el reactor (800) de calentamiento configurado para calentar las perlas antes de inyectarlas en el reactor (100) principal a través de la entrada (102) de perlas.

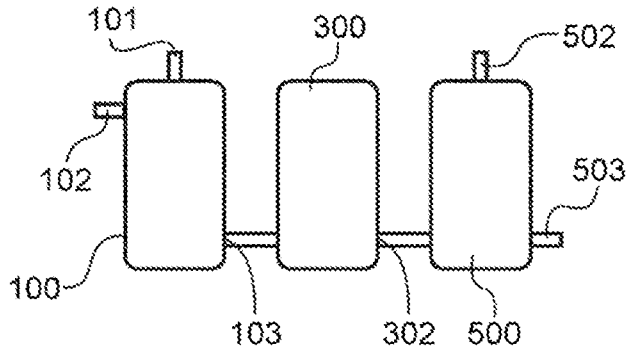


FIG. 1

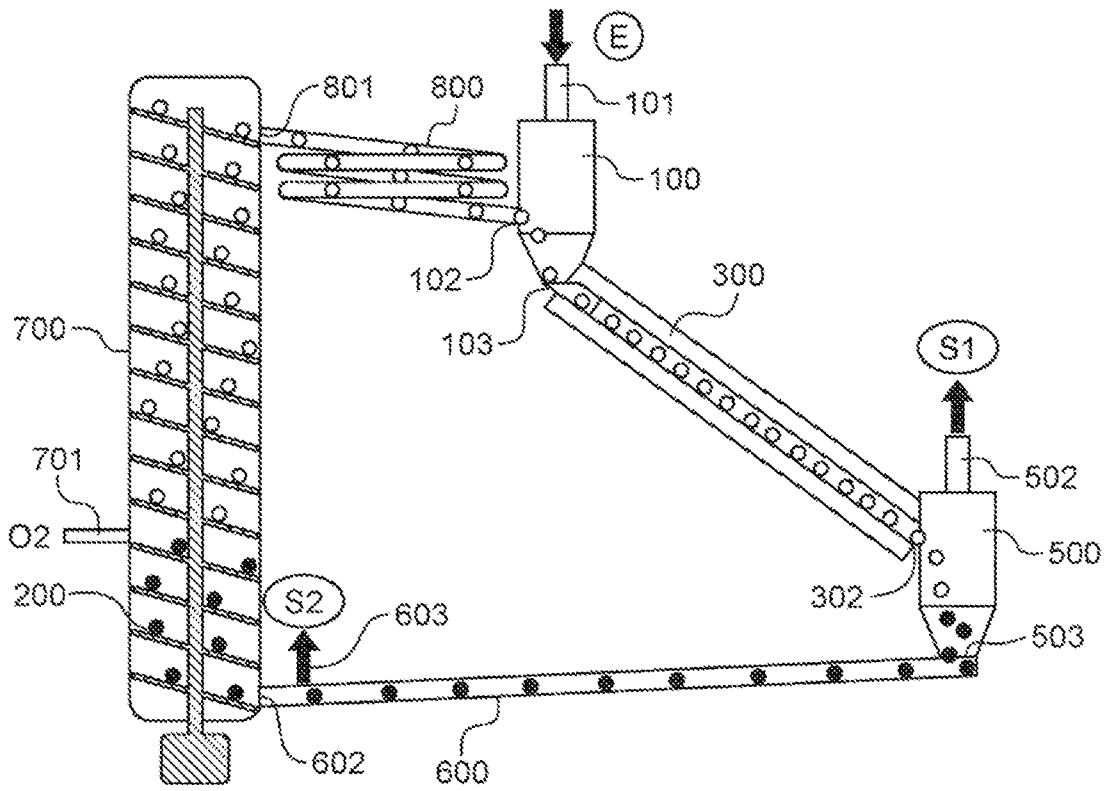


FIG. 2

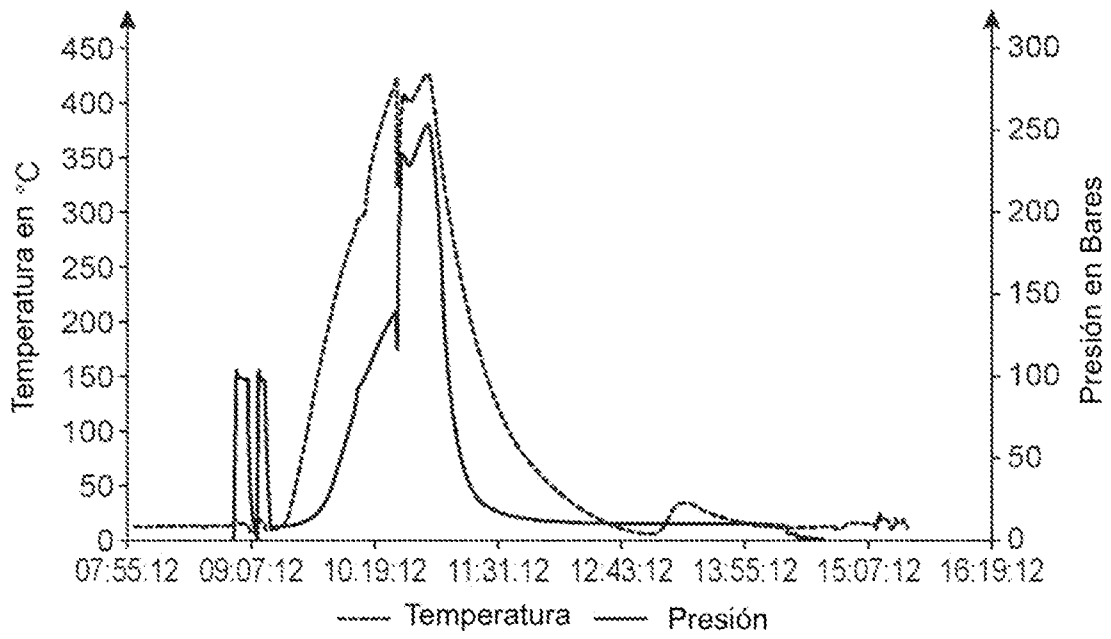


FIG.3

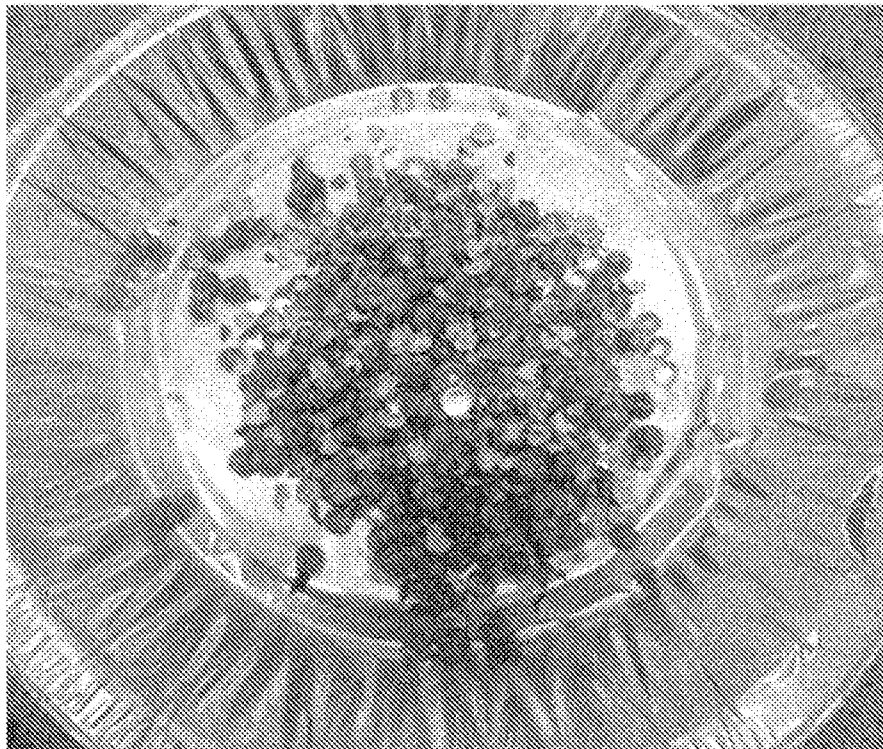


FIG.4