

## **SISTEMA Y PROCESO DE PRODUCCIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE BIOACEITE A PARTIR DE BIOMASA.**

### **Campo de la invención**

5

La presente invención se relaciona con procesos termoquímicos de transformación de biomasa en productos químicos y combustibles, particularmente con procesos de pirólisis rápida para producción de bioaceite con bajo contenido de humedad, biocarbón y biogas.

### 10 **Descripción del estado de la técnica**

La biomasa es un energético a partir del cual se producen químicos y combustibles. Las características de estos productos, el rendimiento y su contenido energético dependen de la composición de la biomasa, sus características fisicoquímicas y el proceso de transformación realizado. Los procesos térmicos como por ejemplo la combustión, la gasificación, la torrefacción y la pirólisis brindan múltiples productos en cuestión de minutos o segundos.

En el proceso de pirólisis la biomasa se calienta en una atmósfera inerte para producir biocarbón, bioaceite y gases no condensables, cuya proporción depende de las condiciones de operación (temperatura, presión y tasa de calentamiento). La pirólisis rápida se caracteriza por tasas de calentamiento, que algunos casos es superior a 1000°C/s, por procesar biomasa con un tamaño de partícula alrededor de 1mm, y por temperaturas de operación entre 450-550°C. También se caracteriza por tiempos de residencia inferiores a 2s para los gases obtenidos por pirólisis y por un enfriamiento de los gases condensables para producir entre un 60-70 % bioaceite, incluyendo altos contenidos de humedad (entre el 20 y 30%), 10-15 % de biocarbón y entre 15-20 % de gases no condensables.

Los tiempos de residencia de sólidos y gases obtenidos por pirólisis por lo general son diferentes. Es deseable que la biomasa tenga un tiempo de residencia que garantice la desvolatilización. Sin embargo, el tiempo de residencia de los gases obtenidos por pirólisis debe ser corto para minimizar las reacciones secundarias no deseadas. Es importante lograr altas velocidades de enfriamiento que permitan una eficaz recolección del bioaceite, debido a que un enfriamiento lento conduce a condensar preferencialmente los componentes derivados de la lignina, con características de líquido viscoso que pueden obstruir los conductos de los equipos de intercambio de calor.

El documento US8425633 divulga métodos, procesos, aparatos, equipamiento y sistemas integrados para convertir biomasa en distintas fracciones de bioaceite para productos químicos, materias primas y combustibles. En el documento se indica, que en particular cuando se usan reactores de lecho fluidizado, se utilizan ciclones para separar el biocarbón y las cenizas de los gases obtenidos por pirólisis. El documento indica dos temas principales, la pirólisis de biomasa y el sistema de separación de las fracciones del bioaceite producido. Las etapas de separación y condensación del bioaceite de los gases obtenidos por pirólisis, comprende un separador electroquímico y un intercambiador de calor. El separador electroquímico permite capturar gotas en suspensión de bioaceite presente en los gases obtenidos por pirólisis. El separador electroquímico genera un campo eléctrico que atrae y aglomera las gotas de bioaceite. Los separadores electroquímicos son equipos cuyo control y mantenimiento son robustos y complejos comparados con los de los intercambiadores de calor convencionales. Sin embargo, las divulgaciones mencionadas sugieren que los intercambiadores de calor convencionales no ofrecen una recuperación adecuada del bioaceite.

El documento *Hugo, T. J. (2010). Pyrolysis of sugarcane bagasse. University of Stellenbosch* indica que el bagazo de caña se utiliza para producir combustibles mediante pirolisis. Procesos tales como pirolisis lenta, pirolisis al vacío, pirolisis rápida son indicadas en el documento. La temperatura de pirólisis indicada es  $500 \pm 25^\circ\text{C}$ , el tamaño de partícula es menor a 2mm y la humedad es menor al 10%. La fracción de bioaceite que se produce es entre 65-75% en peso. En la descripción de la pirolisis por lecho fluidizado, se indica que los gases obtenidos por pirólisis son pasados por ciclones para la remoción de material particulado, y posteriormente se enfrían por contacto directo con bioaceite obtenido en la pirolisis. Menciona el tipo de enfriadores por contacto directo pero no especifica detalles.

Las divulgaciones previas comprendidas dentro del estado de la técnica cercano a la presente invención divulgan equipos con procesos de pirolisis rápida de biomasa que presentan baja eficiencia de reacción. Existe entonces la necesidad de proporcionar un proceso completo de producción de bioaceite mediante pirolisis rápida en donde se logren tiempos de residencia adecuados y un sistema de condensación que maximice la cantidad de bioaceite producido.

### Breve descripción de las figuras

La FIG. 1 corresponde a un diagrama de flujo de un proceso de producción de bioaceite que comprende un mecanismo de suministro continuo de biomasa, un pirolizador, un mecanismo de separación de sólidos y un condensador.

- 5 La FIG. 2 corresponde a un pirolizador de lecho fluidizado que muestra una zona de fluidización, una zona de freeboard, unos medios de calentamiento, dos entradas, una salida y una malla.

- La FIG. 3 corresponde a un pirolizador de caída libre que muestra una zona de reacción,  
10 unos medios de calentamiento, dos entradas, una salida y una malla.

La FIG. 4 corresponde a un condensador de contacto directo que se comprende de bafles, dos entradas y dos salidas.

- 15 La FIG. 5 corresponde a un diagrama de flujo de un proceso de producción de bioaceite que comprende un mecanismo de suministro continuo, un pirolizador, un mecanismo de separación de sólidos y un condensador, donde se recircula fluido desde una salida del condensador hacia una entrada del pirolizador.

## 20 **Breve descripción del invento**

La presente invención corresponde a un sistema para la generación de bioaceite a partir de biomasa, y un proceso de producción de bioaceite a partir de biomasa.

- 25 El sistema para producción de bioaceite a partir de biomasa que comprende:

-un mecanismo de suministro continuo de biomasa;

-un pirolizador que tiene una entrada de biomasa que se conecta al mecanismo de suministro continuo de biomasa, y tiene una malla;

-un mecanismo de separación de sólidos que se conecta al pirolizador, y;

- 30 -un condensador que se conecta al mecanismo de separación de sólidos.

El proceso de producción de bioaceite a partir de biomasa comprende las etapas:

- a) suministrar biomasa de forma continua a un pirolizador;
- b) pirolizar la biomasa a una tasa de calentamiento superior a 1000°C/s, a una temperatura entre 300°C y 750°C, y con un tiempo de residencia inferior a 2 segundos, en el pirolizador;
- c) separar material particulado presente en los gases obtenidos por pirólisis en la etapa b), en un mecanismo de separación de sólidos;
- d) condensar los gases obtenidos por pirólisis que sean condensables a una temperatura entre -30°C y 0°C, en un condensador.

### Descripción detallada de la invención

La presente invención corresponde a un sistema para la generación de bioaceite a partir de biomasa, y un proceso de producción de bioaceite con humedades inferiores al 10% a partir de biomasa.

Para el entendimiento de la presente invención, la biomasa es un material orgánico, no derivado de una fuente fósil, el cual se origina en un proceso biológico, espontáneo o provocado, y que es utilizable como fuente de energía. En modalidades de la invención la biomasa se puede seleccionar del grupo que comprende v.g. bagazo de caña, cascarilla de arroz, hojarasca, madera, maíz y conos de maíz, cáscaras de nueces, algas, vainas de leguminosas, entre otras.

En modalidades de la invención la biomasa se somete a tratamientos previos al proceso de producción de bioaceite a partir de biomasa, como por ejemplo v.g. secado, molienda, tamizaje, torrefacción, peletización, y combinación de los anteriores.

El proceso de producción de bioaceite a partir de biomasa comprende las etapas:

- a) suministrar biomasa de forma continua a un pirolizador (2);
- b) pirolizar la biomasa a una tasa de calentamiento superior a 1000°C/s, a una temperatura entre 300°C y 750°C, y con un tiempo de residencia inferior a 2 segundos, en el pirolizador (2);
- c) separar material particulado presente en los gases obtenidos por pirólisis en la etapa b), en un mecanismo de separación de sólidos (3);

- d) condensar gases obtenidos por pirólisis que sean condensables a una temperatura entre  $-30^{\circ}\text{C}$  y  $0^{\circ}\text{C}$ , en un condensador (4).

La biomasa requerida para el proceso de producción tiene:

- 5        - un tamaño de partícula entre 0,2mm y 0,4mm;
  - una humedad inferior al 10%; y,
  - un contenido de ceniza inferior al 20%. La biomasa preferiblemente tiene un contenido de ceniza menor al 5%.
- 10      El tamaño de partícula entre 0,2mm y 0,4 mm es el equivalente al pasante por una malla mesh 30.

- En la etapa (a), el suministro de biomasa además de ser continuo, debe evitar el ingreso de aire al pirolizador. Adicionalmente, durante la etapa (a) se evita la salida de gases
- 15      obtenidos por pirólisis a causa del suministro de la biomasa, para ello se suministra una corriente de gas inerte. La corriente de gas inerte se suministra a un flujo tal que arrastra el contraflujo del gas del pirolizador (2) que tiende a salir de este durante el suministro de biomasa.

- 20      En la etapa (b), la temperatura es preferiblemente entre  $450^{\circ}\text{C}$  y  $550^{\circ}\text{C}$ . Por ser un proceso de pirólisis, se utiliza un flujo de gas inerte para pirólisis. Adicionalmente, la etapa (b) se realiza a presión atmosférica.

- En una modalidad de la invención, en la etapa (a) se utiliza un gas inerte diferente al gas
- 25      inerte utilizado en la etapa (b).

En una modalidad de la invención, el gas inerte utilizado en la etapa (a) es igual al utilizado en la etapa (b).

Para el entendimiento de la presente invención gas inerte y gas inerte para pirólisis, es un gas o una mezcla de gases que no reaccionan con la biomasa durante el proceso de pirólisis.

En la etapa (c), durante la remoción de material particulado presente en los gases obtenidos por pirólisis, no se deben condensar fluidos condensables. Por consiguiente la temperatura de salida de los gases de la etapa (c) debe ser superior a 100°C.

En la etapa (d), la temperatura es preferiblemente de -28°C a -15°C. Preferiblemente es una temperatura nominal de -20°C. En esta etapa (d) se condensan los gases condensables presentes en los gases obtenidos por pirólisis. Los gases condensables condensados conforman el bioaceite.

En una modalidad de la invención, la etapa (d) se realiza por contacto directo con un fluido refrigerante. En esta modalidad, el fluido refrigerante es nitrógeno líquido. En esta modalidad, los gases no condensables son arrastrados por el fluido refrigerante y la humedad en el bioaceite pasa a la corriente del nitrógeno, logrando un producto con humedad inferior al 10%.

En una modalidad de la invención, la etapa (d) se realiza por contacto indirecto con un fluido refrigerante. El fluido refrigerante fluye por ductos que se disponen operacionalmente en el condensador (4), y permiten la transferencia de calor. En esta modalidad se obtiene bioaceite con contenido de humedad superior al 10%.

Haciendo referencia a la FIG.5, en la modalidad de la invención que la etapa (d) se realiza por contacto indirecto, el flujo de gas inerte para pirólisis de la etapa (b) comprende el flujo de gases no condensables que salen de la etapa (d).

Haciendo referencia a la FIG.1, en la modalidad de la invención que la etapa (d) se realiza por contacto directo, el flujo de gas inerte para pirólisis de la etapa (b) comprende el flujo de gases no condensables, y el flujo de refrigerante de salen de la etapa (d).

El bioaceite que se obtiene es un líquido que tiene las siguientes características:

- poder calorífico correspondiente a la mitad de un combustible diésel convencional;
- se conforma por una mezcla de aldehídos, fenoles, cetonas, ácidos, alcoholes, furanos, ésteres, oligómeros derivados de lignina, azúcares y agua;
- 5    - tiene una humedad en peso entre 5% y 20%;
- pH entre 2,0 y 3,5; y,
- una viscosidad entre 4 y  $7 \frac{Ns}{m^2}$ .

Haciendo referencia a la FIG. 1, el sistema para producción de bioaceite a partir de  
10 biomasa, comprende:

- un mecanismo de suministro continuo de biomasa (1);
- un pirolizador (2) que tiene una entrada de biomasa (2b) que se conecta al mecanismo de suministro continuo de biomasa (1), y una malla (2a);
- 15    - un mecanismo de separación de sólidos (3) que se conecta al pirolizador (2), y;
- un condensador (4) que se conecta al mecanismo de separación de sólidos (3).

Haciendo referencia a la FIG. 1, el mecanismo de suministro continuo de biomasa (1) se conforma de:

- 20    - una tapa (1a);
- una tolva (1b);
- un transportador tornillo sin fin (1c) que tiene una entrada que se conecta con la tolva (1b), y una salida que se conecta con el pirolizador (2); y,
- una entrada de gas inerte (1e).

25

La tapa (1a) se dispone en la entrada de la tolva (1b). La tapa (1a) permite el ingreso de biomasa a la tolva (1b) cuando sea requerido, y permite cerrar la tolva (1b) en los momentos que no se suministra biomasa.

- 30    En una modalidad de la invención, haciendo referencia a la FIG. 1, la tapa (1a) es una brida con un sello (1d) que se dispone encima de la entrada de la tolva y se fija mediante medios

de sujeción. Los medios de sujeción pueden ser v.g. pernos, tornillos, cerraduras a presión, pines, remaches, entre otros.

En una modalidad de la invención la tapa (1a) se asegura a la tolva (1b) por medio de un  
5 ajuste de giro.

En una modalidad de la invención la tapa (1a) es una tapa abatible, la cual se asegura con medios de sujeción a la tolva (1b).

10 La entrada de gas inerte (1e) se dispone operacionalmente en la tolva (1b) para suministrar el flujo de gas inerte que hace contraflujo a los gases obtenidos por pirólisis que intentan ingresar por la salida (2b) del pirolizador (2) que se conecta con el mecanismo de suministro continuo de biomasa(1).

15 En una modalidad de la invención, haciendo referencia a la FIG.2, el pirolizador (2) es un pirolizador de lecho fluidizado. En el pirolizador (2) se distingue una zona de fluidización (A) y una zona de freeboard (B) que se ubica encima de la zona de fluidización (A).

Haciendo referencia a la FIG.2, la zona de fluidización (A) comprende:

20

- una entrada de biomasa (2b);
- una placa de distribución (2c);
- una entrada de gas inerte (2d); y,
- un vehículo de calentamiento (2e).

25

El gas inerte que ingresa por la entrada de gas (2d) es el flujo de gas inerte para pirólisis.

Haciendo referencia a la FIG.2, la entrada de gas inerte (2d) se ubica en la parte inferior de la zona de fluidización (A). La placa de distribución (2c) se dispone encima de la entrada

de gas inerte (2d). El vehículo de calentamiento (2e) se dispone encima de la placa de distribución (2c). La entrada de biomasa (2b) se dispone operacionalmente en la zona de fluidización (A), de tal manera que la biomasa se fluidiza y se calienta con el vehículo de calentamiento (2e).

5

El vehículo de calentamiento (2e) es un material particulado inerte, que no sufre cambios físicos ni cambios químicos a la temperatura de operación del pirolizador (2). El vehículo de calentamiento (2e) tiene un tamaño de partícula entre 0,2mm y 0,4mm. El vehículo de calentamiento (2e) funciona como cuerpo radiante, que aumenta la tasa de transferencia de calor hacia la biomasa. Durante la operación del pirolizador (2), el vehículo de calentamiento (2e) permanece dentro de la zona de fluidización (A). El vehículo de calentamiento (2e) favorece la fluidización de la biomasa, y permite el paso del gas inerte y de la biomasa hacia la zona de freeboard (B). La velocidad límite de fluidización del vehículo de calentamiento (2e) es superior a la velocidad límite de fluidización de la biomasa.

15

En una modalidad de la invención, el vehículo de calentamiento (2e) se selecciona del grupo que comprende v.g. sílice, granalla de acero inoxidable, dolomita, arena de cuarzo, alumina, caliza, partículas de óxidos y combinaciones de los anteriores.

En una modalidad de la invención, el vehículo de calentamiento (2e) es arena de cuarzo (SiO).

20

La placa de distribución (2c) comprende perforaciones que permiten el paso uniforme del gas inerte, e impide el paso de material sólido desde la zona de fluidización (A) hacia la entrada de gas inerte (2d).

25

En la parte superior de la zona de freeboard (B) del pirolizador (2) se ubica una salida de gases obtenidos por pirólisis (2f), y se dispone una malla (2a) debajo de la salida de gases obtenidos por pirólisis. La malla (2a) permite el paso de los gases obtenidos por pirólisis, y obstaculiza el paso de partículas de biomasa sin reaccionar.

30

En la modalidad preferida, la malla (2a) tiene una apertura de malla correspondiente a Mesh 30.

Haciendo referencia a la FIG. 2, el pirolizador (2) comprende unos medios de calentamiento (2g) que transfieren calor a la zona de fluidización (A) y a la zona de freeboard (B).

5 Los medios de calentamiento (2g) se seleccionan del grupo que comprende de v.g. resistencias eléctricas, calentadores de inducción, quemadores de combustible, calentadores de chaqueta, calentadores de tubos radiantes, intercambiadores de calor indirectos, entre otros.

10 En una modalidad de la invención, haciendo referencia a la FIG.3 el pirolizador (2) es un pirolizador de caída libre. El pirolizador (2) de caída libre comprende:

-una entrada de biomasa (2b);

-una zona de reacción (C);

15 -una salida de gases obtenidos por pirólisis (2f);

-una entrada de gas inerte (2d);

-una placa de distribución (2c);

-unos medios de calentamiento (2g), y;

-una malla (2a).

20

Haciendo referencia a la FIG.3, la salida de gases obtenidos por pirólisis (2f) se ubica en la parte superior del pirolizador (2). La entrada de biomasa (2b) se ubica debajo de la salida de gases obtenidos por pirólisis (2f). La malla (2a) se ubica entre la entrada de biomasa (2b) y la salida de los gases obtenidos por pirólisis (2f).

25

Haciendo referencia a la FIG.3, la entrada de gas inerte (2d) se ubica en la parte inferior del pirolizador (2).

La malla (2a) se dispone operacionalmente para aumentar el tiempo de residencia de la biomasa que ingresa por la entrada de biomasa (2d), en el interior del pirolizador (2).

30

En una modalidad de la invención la malla (2a) tiene una abertura de malla equivalente a una malla Mesh 30.

5 Haciendo referencia a la FIG.3, la placa de distribución (2c) se dispone encima de la entrada de gas inerte (2d). La zona de reacción (C) es la zona del pirolizador (2) donde se piroliza la biomasa. La zona de reacción (C) se encuentra entre la placa de distribución (2c) y la malla (2a).

10 Haciendo referencia a la FIG. 2, el pirolizador (2) comprende unos medios de calentamiento (2g) que transfieren calor a la zona de reacción (C).

Los medios de calentamiento (2g) se seleccionan del grupo que comprende de v.g. resistencias eléctricas, calentadores de inducción, quemadores de combustible, calentadores  
15 de chaqueta, calentadores de tubos radiantes, intercambiadores de calor indirectos, entre otros.

El mecanismo de separación de sólidos (3) se selecciona del grupo que comprende v.g. ciclones, separadores electrostáticos, precipitadores electrostáticos, separadores  
20 electrodinámicos, filtros y combinación de los anteriores.

En una modalidad de la invención, haciendo referencia a la FIG.1, el mecanismo de separación de sólidos (3) es un ciclón. El ciclón tiene una entrada (3a) que se conecta por medio de un ducto (3b) a la salida de los gases obtenidos por pirólisis (2f). El ciclón tiene  
25 una salida (3c) que se conecta a un ducto (3d) por el cual salen los sólidos separados de los gases obtenidos por pirólisis. El ciclón tiene una salida (3e) que se conecta por medio de un ducto (3f) al condensador (4).

En una modalidad de la invención, haciendo referencia a la FIG.1, el condensador (4) es un  
30 condensador de contacto directo de gases obtenidos por pirólisis y fluido refrigerante. El condensador (4) comprende:

- una primera entrada (4a) para un fluido refrigerante;

-una segunda entrada (4b) para los gases obtenidos por pirólisis que salen del mecanismo de separación de sólidos (3);

5      -una primera salida (4c) para los gases no condensables presentes en los gases obtenidos por pirólisis y para el fluido refrigerante;

-una segunda salida (4d) para los fluidos condensables presentes en los gases obtenidos por pirólisis;

10      -unos baffles (4e) dispuestos operacionalmente en el interior del condensador (4) de tal manera que aumentan el tiempo de residencia de los gases obtenidos por pirólisis, y del fluido refrigerante. Los baffles (4e) también funcionan como múltiples puntos de nucleación donde se inicia la condensación de los fluidos condensables presentes en los gases obtenidos por pirólisis.

15      En una modalidad de la invención, haciendo referencia a la FIG.1, la primera entrada (4a) y la segunda entrada (4b) se disponen de forma que los gases obtenidos por pirólisis arrastran el fluido refrigerante. La primera salida (4c) se ubica en la parte superior del condensador (4). La segunda salida (4d) se ubica en la parte inferior del condensador (4). La primera entrada (4a) y la segunda entrada (4b) se ubican entre la primera salida (4c) y la segunda salida (4d).

20

En una modalidad de la invención, el fluido refrigerante tiene una temperatura de saturación inferior a  $-30^{\circ}\text{C}$ . El fluido refrigerante se evapora al entrar en contacto con los gases obtenidos por pirólisis.

25

En una modalidad de la invención, el condensador (4) es un condensador de contacto indirecto semejable a un intercambiador de calor convencional como por ejemplo un intercambiador de calor de coraza y tubos, donde el fluido refrigerante fluye por los tubos.

30      **EJEMPLO DE REALIZACIÓN DE LA INVENCION.**

En el ejemplo se procesó biomasa mediante pirólisis rápida en un pirolizador (2) de lecho fluidizado que operaba a una temperatura nominal de 500°C.

La biomasa se caracterizaba por ser bagazo de caña que antes de la pirólisis pasó por procesos de secado, molienda y tamizado.

Las características de la biomasa eran:

- diámetro de partícula: entre 0.2mm y 0.4mm;
- humedad promedio: 8%;
- 10 -contenido de ceniza promedio: 3%.

Haciendo referencia a la FIG.2, el pirolizador (2) tenía:

- una zona de fluidización (A) con un diámetro interno de 10 cm y una altura de 50 cm;
- una zona de freeboard (B) con un diámetro de 14 cm y una altura de 100 cm;
- 15 -un aislamiento térmico de chaqueta de material cerámico CONCRAX 1500, que recubría la zona de fluidización (A) y la zona de freeboard (B);
- unos medios de calentamiento (2g) que consistían de un juego de 3 resistencias eléctricas de 1500W cada una, que se ubicaron de forma concéntrica a lo largo del pirolizador (2). Las resistencias se encontraban empotradas en el aislamiento térmico de chaqueta de material cerámico. Se ubicaron dos resistencias eléctricas de 1500W  
20 alrededor de la zona de Freeboard (B) y una resistencia eléctrica de 1500W alrededor de la zona de fluidización (A);
- un vehículo de calentamiento (2e) que consistía de una columna de partículas de arena sílice con una altura en reposo de 20cm. El diámetro de partícula del material inerte fue  
25 entre 0,2mm y 0,4mm, equivalente al pasante por una malla mesh30;
- una malla (2a) de acero inoxidable, que tiene una apertura de malla correspondiente a Mesh 30;
- una placa de distribución (2c) que se fabricó en acero inoxidable;

- una entrada de biomasa (2b) que se caracterizaba por ser una brida de 2,5plg(0,0635m), que se ubicaba 10cm encima de la placa de distribución (2c);
- una entrada de gas inerte (2d) de diámetro 1/2plg –NPT (0,0127m) que se ubicaba en la base del pirolizador (2);
- 5    -una salida de gases obtenidos por pirólisis (2f) de 3cm de ancho y 6cm de alto que se ubicaba a 1,50m encima de la entrada de gas inerte (2d).

Para el entendimiento del presente ejemplo, altura en reposo es la altura del material inerte cuando se carga el material inerte en la zona de fluidización (A) con el pirolizador apagado.

10

Haciendo referencia a la FIG.1, en el presente ejemplo, se suministró al pirolizador (2), en la zona de fluidización (A):

- un flujo de gas inerte, de 50L/min ( $8,33 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{s}$ ) de nitrógeno grado industrial; y
- un flujo de biomasa de 2kg/h.

15

Haciendo referencia a la FIG.1, en el presente ejemplo, el flujo de biomasa se garantizó mediante un mecanismo de suministro continuo de biomasa (1) que se conformaba de:

- una tapa (1a) que se fabricó en acero inoxidable;
- una tolva (1b) con capacidad de 2kg, que se fabricó en acero inoxidable, y que tenía una entrada lateral de gas inerte caracterizada porque era un racor de 1/8plg NPT (0.003175m); y,
- 20    -un transportador tornillo sin fin (1c) que tenía una entrada que se conectaba con la tolva (1b), y una salida que se conectaba con el pirolizador (2). El transportador de tornillo sin fin (1c) tenía un paso de 2,5plg (0.0635m), y se conectaba por medio de una brida de
- 25    2,5plg (0.0635m) con la entrada de biomasa (2b).

El flujo de gas inerte que se suministraba a la tolva (1b) era de 10scfm ( $0,00472 \text{m}^3/\text{s}$ ).

La tapa (1a) era una brida con un sello (1d) que se puso encima de la entrada de la tolva (1b) y se fijó mediante ocho pernos. El sello (1d) se caracterizaba por ser un o-ring de nitrilo.

- 5 La biomasa se calentó a una tasa de calentamiento nominal de  $1000^{\circ}\text{C/s}$ , y tuvo un tiempo de residencia en el pirolizador (2) de 0,2s.

El mecanismo de separación de sólidos (3) fue un ciclón que se conectaba a un colector de partículas. El ciclón se caracterizaba porque se fabricó en acero inoxidable; y porque tenía:

10

- una altura de 50 cm;
- una entrada de gases soldada (3a) de 3 cm de ancho y 6 cm de alto;
- una salida de sólidos (3c) roscada de 1plg (0,0254m) ubicada en la base del ciclón, y;
- una salida de gases (3e) de 2,5plg (0,0635m) de diámetro conectada al condensador

15

El bioaceite se recuperó mediante condensación por contacto directo con nitrógeno líquido. El condensador (4) de contacto directo se caracterizaba porque tenía:

20

- una altura de 2,5m;
  - un diámetro de 0,5m;
  - 4 secciones con 3 baffles por sección (12 baffles totales). La separación entre baffles fue de 15cm;
  - una primera entrada (4a) de fluido refrigerante de 1/4plg NPT (0,00635m) que se
- 25 ubicaba en la base del condensador (4);
- una segunda entrada (4b) de 1,25plg NPT (0,03175m);
  - una salida de gases no condensables (4c) con un diámetro de 2plg NTP (0,0508m), y;
  - un cono que tenía una sección mayor y una sección menor, donde la sección mayor se ubicaba debajo de la base del condensador (4);
- 30 -una salida de bioaceite (4d) de una 1plg (0,0254m) de diámetro, que se ubicaba en la sección menor del cono.

35

En la salida inferior del ciclón (3c) se obtuvo una proporción de biocarbón del  $22,4\% \pm 2,6\%$ . En la salida inferior del condensador (4d) se obtuvo una proporción de bioaceite del  $74,0\% \pm 2,2\%$ . En la salida superior del condensador (4c) se obtuvo una proporción de gases no condensables derivados de la biomasa del  $3,60\% \pm 0,34\%$ .

En el presente ejemplo no se re-circuló el gas que salía por la salida superior del condensador.

- 5 Se debe entender que la presente invención no se halla limitada a las modalidades descritas e ilustradas, y la persona versada en la técnica entenderá que pueden efectuarse numerosas variaciones y modificaciones que no se apartan del espíritu de la invención, el cual solo se encuentra definido por las siguientes reivindicaciones.