

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 604 694**

51 Int. Cl.:

**C10L 5/44** (2006.01)  
**C10L 9/08** (2006.01)  
**F26B 9/08** (2006.01)  
**F26B 21/10** (2006.01)  
**G05D 23/27** (2006.01)  
**G01J 5/08** (2006.01)  
**G01J 5/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.05.2012 PCT/SE2012/050529**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **22.11.2012 WO12158114**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.05.2012 E 12786558 (2)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.08.2016 EP 2710099**

54 Título: **Método para monitorizar y controlar la temperatura de torrefacción**

30 Prioridad:

**18.05.2011 SE 1150461**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**08.03.2017**

73 Titular/es:

**BIOENDEV AB (100.0%)**  
**Box 224**  
**901 05 Umeå, SE**

72 Inventor/es:

**OLOFSSON, INGEMAR y**  
**NORDWAEGER, MARTIN**

74 Agente/Representante:

**DEL VALLE VALIENTE, Sonia**

ES 2 604 694 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Método para monitorizar y controlar la temperatura de torrefacción

### 5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere al campo de la torrefacción de biomasa. En particular, se refiere a un método y a una disposición para la monitorización y el control precisos de la temperatura de torrefacción, lo cual permite un control preciso de la calidad y las propiedades del material torrefacto.

10

### **Antecedentes**

Para poder competir con, y sustituir a, portadores de energía de combustibles fósiles tales como carbón, petróleo y gas natural, la biomasa lignocelulósica se beneficiará de alguna forma de método de tratamiento previo para superar inconvenientes inherentes. Se ha mostrado que el método de tratamiento previo de torrefacción mejora las calidades de combustible de biomasa tales como densidad de energía, el contenido en agua y las propiedades de molienda, alimentación e hidrófobas [1-4]. Estas mejoras establecen la torrefacción como un procedimiento clave en facilitar un mercado en expansión para materiales de partida de biomasa. La torrefacción es un método de tratamiento previo térmico que normalmente tiene lugar en una atmósfera sustancialmente inerte (libre de oxígeno) a una temperatura de aproximadamente 220-600°C. Durante el transcurso del procedimiento se produce un gas combustible que comprende diferentes compuestos orgánicos a partir de la materia prima de biomasa además de la biomasa torrefacta.

15

20

25

Puede decirse que el procedimiento de producir un material torrefacto a partir de biomasa lignocelulósica incluye cuatro etapas:

1) una etapa de secado, en la que se elimina agua libre retenida en la biomasa;

30

2) una etapa de calentamiento en la que se libera agua físicamente unida y se aumenta la temperatura del material hasta la temperatura de torrefacción deseada;

35

3) una etapa de torrefacción, en la que se somete realmente el material a torrefacción y que comienza cuando la temperatura del material alcanza aproximadamente 220°C-230°C. Durante esta etapa, la biomasa se descompone parcialmente y desprende diferentes tipos de compuestos volátiles, tales como hidroxiacetona, metanol, propanal, ácidos carboxílicos cortos, etc. En particular, la etapa de torrefacción se caracteriza por la descomposición de hemicelulosa a temperaturas de desde 220°C-230°C, y a temperaturas de torrefacción superiores la celulosa y la lignina también comienzan a descomponerse y desprender compuestos volátiles; la celulosa se descompone a una temperatura de 305-375°C y la lignina se descompone gradualmente a lo largo de un intervalo de temperatura de 250-500°C;

40

4) una etapa de enfriamiento para terminar el procedimiento y facilitar la manipulación. El procedimiento de torrefacción se termina en cuanto el material se enfría por debajo de 220°C-230°C.

45

El documento EP 0 081 246 A2 se refiere a un método basado en ordenador y a un sistema para determinar la temperatura de una masa que puede moverse a través de medios de procedimiento en un entorno hostil; por ejemplo en la producción de coque.

### **Sumario de la presente divulgación**

50

Los requisitos de calidad y propiedades de productos torrefactos difieren considerablemente dependiendo del uso previsto del producto. Los inventores han constatado que resulta crucial poder controlar de manera precisa la temperatura de torrefacción con el fin de generar un producto torrefacto con características deseadas. Por tanto, es importante poder medir la temperatura del material de una biomasa en un procedimiento de torrefacción de una manera correcta y fiable. Actualmente, las temperaturas en procedimientos de torrefacción se miden mediante métodos que se basan en medir la temperatura de gases en las disposiciones de torrefacción o mediante medida de la temperatura de superficie del reactor de torrefacción. Los inventores han demostrado que una medida de la temperatura de los gases en el reactor de torrefacción o la temperatura de superficie del reactor de torrefacción proporciona una indicación falsa de la temperatura real de la biomasa. Además, la diferencia entre la temperatura del gas y la temperatura del material varía con la clase de materiales lignocelulósicos que se someten a torrefacción. Por tanto, los inventores han constatado una necesidad de métodos mejorados para monitorizar y controlar el procedimiento de torrefacción de biomasa.

55

60

65

Los inventores han resuelto el problema anteriormente descrito con un método de monitorización de un procedimiento de torrefacción de una biomasa, en el que se determina la temperatura de superficie de la biomasa en la disposición de torrefacción. La invención se refiere además a un método de control de un procedimiento de torrefacción de una biomasa, que comprende las etapas de:

a) monitorizar la temperatura de superficie de una biomasa en un procedimiento de torrefacción para obtener un valor de temperatura de superficie;

5 b) comparar el valor de temperatura de superficie con un valor de referencia; y

si el valor de temperatura de superficie es inferior al valor de referencia,

10 c1) aumentar un calentamiento del procedimiento, reducir un enfriamiento del procedimiento o aumentar un tiempo de residencia de la biomasa en el procedimiento; y/o

si el valor de temperatura de superficie es superior al valor de referencia,

15 c2) reducir un calentamiento del procedimiento, aumentar un enfriamiento del procedimiento o reducir un tiempo de residencia de la biomasa en el procedimiento.

Otro aspecto de la invención se refiere a una disposición de torrefacción que tiene una zona para calentamiento y/o torrefacción, en la que un termómetro de infrarrojos está dispuesto en la zona de tal manera que puede medirse la temperatura de superficie de material que entra en la zona, está en la zona o sale de la zona y en el que una salida de gas de purga está dispuesta en el termómetro de IR de tal manera que puede suministrarse gas de purga al espacio entre una lente del termómetro de IR y el material.

### Breve descripción de las figuras

25 La figura 1 muestra una disposición de torrefacción que comprende termómetros de IR para la medida de la temperatura de superficie en la disposición de torrefacción.

La figura 2 muestra un termómetro de IR y una salida de gas de purga dispuesta en una tubería de extremo abierto común, para la medida de la temperatura de superficie en una disposición de torrefacción.

30 La figura 3 muestra medidas mediante termómetro de IR realizadas durante la misma serie de torrefacción, en condiciones de estado estacionario usando gas nitrógeno frío o gas nitrógeno caliente para eliminar gases activos frente a IR, y para prevenir la condensación de sustancias condensables en el gas de torrefacción.

### 35 Definiciones:

Torrefacción:

40 Un método de tratamiento previo térmico que tiene lugar en una atmósfera prácticamente inerte (con reducción del contenido en oxígeno o libre de oxígeno) a una temperatura superior a 220°C pero inferior a 600°C y que produce una biomasa torrefacta y gases de combustión. Durante una etapa de torrefacción, partes de la biomasa, en particular hemicelulosa, se descomponen y desprenden diferentes tipos de compuestos volátiles orgánicos. En un procedimiento de torrefacción que comienza a partir de biomasa sin procesar, la etapa de torrefacción real va precedida por una etapa de secado en la que se elimina agua libre retenida en la biomasa y por una etapa de calentamiento en la que se calienta la biomasa hasta la temperatura de torrefacción deseada.

Zona de calentamiento:

50 Una región específica de un compartimento en una disposición de torrefacción, ubicada aguas arriba de una zona de torrefacción con respecto a una entrada de biomasa de una disposición de torrefacción, que comprende medios para regular específicamente la temperatura en dicha región específica y en la que la temperatura de una biomasa se aumenta hasta una temperatura próxima a la temperatura de torrefacción deseada antes de la torrefacción.

Zona de torrefacción:

55 Una región específica de un compartimento en una disposición de torrefacción, ubicada aguas abajo de una zona de calentamiento con respecto a una entrada de biomasa de una disposición de torrefacción, que comprende medios para regular específicamente la temperatura en dicha región específica y en la que la temperatura de una biomasa previamente calentada se mantiene prácticamente constante a la temperatura de torrefacción deseada durante un tiempo de torrefacción deseado en la que una temperatura de torrefacción deseada está en un intervalo de entre 60 220°C y 600°C.

Zona de conexión

65 Una región específica en una disposición de torrefacción ubicada inmediatamente aguas arriba de una zona de calentamiento e inmediatamente aguas abajo de una zona de torrefacción con respecto a una entrada de biomasa

de dicha disposición de torrefacción.

Tiempo de torrefacción:

- 5 El tiempo durante el cual se mantiene la temperatura del material prácticamente constante a la temperatura de torrefacción. El tiempo de residencia del material en la zona de torrefacción puede denominarse tiempo de torrefacción.

**Descripción detallada**

10 Actualmente, las temperaturas en procedimientos de torrefacción se miden mediante métodos que se basan en medir la temperatura de gases en las disposiciones de torrefacción o midiendo la temperatura de superficie del reactor de torrefacción. Los inventores demuestran en el presente documento que estas clases de medidas proporcionan una indicación falsa de la temperatura real de la biomasa. Además, la diferencia entre la temperatura del gas y la temperatura real del material es diferente dependiendo de qué clase de material lignocelulósico esté sometido a torrefacción. Los inventores demuestran además que medidas de la temperatura de superficie de la biomasa proporcionan un valor fiable de la temperatura real del material y por tanto que este valor puede usarse para controlar el procedimiento de torrefacción y para generar material torrefacto con características deseadas, véase el ejemplo 1.

20 Por tanto, un primer aspecto de la invención se refiere a un método para monitorizar un procedimiento de torrefacción de una biomasa, caracterizado porque se determina la temperatura de superficie de la biomasa en la disposición de torrefacción.

25 En un segundo aspecto la invención se refiere a un método de control de un procedimiento de torrefacción de una biomasa, que comprende las etapas de:

- a) monitorizar la temperatura de superficie para obtener un valor de temperatura de superficie;
  - 30 b) comparar el valor de temperatura de superficie con un valor de referencia; y
- si el valor de temperatura de superficie es inferior al valor de referencia,
- 35 c1) aumentar un calentamiento del procedimiento, reducir un enfriamiento del procedimiento o aumentar un tiempo de residencia de la biomasa en el procedimiento; y
- si el valor de temperatura de superficie es superior al valor de referencia,
- 40 c2) reducir un calentamiento del procedimiento, aumentar un enfriamiento del procedimiento o reducir un tiempo de residencia de la biomasa en el procedimiento.

45 En una realización preferida la temperatura de superficie de la biomasa en la disposición de torrefacción se determina usando un termómetro de infrarrojos (IR) tal como un termómetro de infrarrojos de punto o un pirómetro de infrarrojos. En una realización el termómetro de IR se enfría mediante unos medios de enfriamiento para evitar sobrecalentar el termómetro de IR. Los medios de enfriamiento pueden estar o bien en fase líquida o bien en fase gaseosa. En una realización los medios de enfriamiento son un líquido tal como agua o aceite térmico y en otra realización los medios de enfriamiento son un gas o una mezcla de gases tal como aire.

50 El termómetro de IR tiene preferiblemente una lente en la parte frontal, principalmente para enfocar el haz de IR pero también para proteger los componentes electrónicos internos. Los inventores han constatado que sustancias condensables procedentes del gas de torrefacción pueden condensarse sobre la lente e interferir con la radiación IR procedente del material torrefacto. Los inventores han constatado además que varios de los gases que desprende la biomasa durante el procedimiento de torrefacción son activos frente a IR. Por tanto, tales gases pueden alterar adicionalmente la medida del termómetro de IR. Por tanto, en una realización preferida se suministra una corriente de gas inerte no activo frente a infrarrojos en el espacio entre la lente del termómetro de IR y la biomasa, para eliminar los gases activos frente a IR, y para prevenir la condensación de sustancias condensables en el gas de torrefacción sobre la lente.

60 Además, los inventores han constatado que si el gas inerte no activo frente a infrarrojos no está lo suficientemente caliente, sustancias condensables en el gas de torrefacción pueden condensarse en el espacio entre la lente del termómetro de IR y la biomasa. Por tanto, con el fin de obtener una medida fiable el gas no activo frente a infrarrojos debe calentarse antes de introducirse en el espacio entre la lente del termómetro de IR y la biomasa. Por tanto, en otra realización preferida la temperatura del gas inerte no activo frente a infrarrojos en la salida de gas de purga es superior a 150°C, tal como superior a 200°C, tal como superior a 250°C, tal como superior a 300°C, tal como superior a 350°C, tal como superior a 400°C, tal como superior a 450°C. Preferiblemente, la temperatura del gas inerte en el espacio entre el termómetro de IR y la biomasa es lo suficientemente alta como para evitar la

condensación de gases de torrefacción y para evitar el enfriamiento de la biomasa. Sin embargo, la temperatura del gas no debe ser tan alta que caliente la temperatura de la biomasa en el procedimiento de torrefacción. Preferiblemente la temperatura del gas inerte en el espacio entre el termómetro de IR y la biomasa es próxima a la temperatura de torrefacción, tal como en el intervalo de 150°C a 750°C, tal como de 220°C a 750°C, tal como de 220°C a 700°C, tal como de 220°C a 600°C, tal como 220-500, tal como 220-450, tal como 220-400, tal como 230-600, tal como 230-500, tal como 230-450, tal como 230-400, tal como 240-500°C, tal como 240-400°C, tal como 240-350°C, tal como 270-350°C. Lo más preferiblemente la temperatura del gas inerte en el espacio entre el termómetro de IR y la biomasa es aproximadamente 30°C mayor que la temperatura de superficie de la biomasa en el momento de la medida de la temperatura, tal como 5-50°C mayor, tal como 10-50°C mayor, tal como 10-40°C mayor, tal como 20-40°C mayor. En una realización preferida el gas inerte no activo frente a infrarrojos es gas nitrógeno o un gas noble. En una realización menos preferida, se usa un gas que no es completamente inactivo frente a IR pero tiene una baja actividad frente a infrarrojos dentro del rango espectral de los termómetros de IR en lugar del gas inerte no activo frente a infrarrojos. Ejemplos de un gas de este tipo son CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, NO, vapor de agua y diferentes mezclas de dichos gases.

La cantidad de gas inerte no activo frente a infrarrojos introducido debe ser lo suficientemente alta como para eliminar los gases activos frente a IR y para prevenir la condensación de sustancias condensables en el gas de torrefacción sobre la lente. Dicha cantidad de gas inerte no activo frente a infrarrojos variará dependiendo de la disposición de torrefacción, la disposición del termómetro de IR y la temperatura de torrefacción, pero a una presión de 1 ATM puede estar, por ejemplo, en el intervalo de 2-100 l/min tal como 2-50 l/min, tal como 5-100 l/min, tal como 5-50 l/minuto, tal como 5-25 l/min.

En otra realización la temperatura de superficie de la biomasa en el momento de la medida de la temperatura está en el intervalo de 220°C a 600°C, tal como 220-500°C, tal como 220-450, tal como 220-400, tal como 230-600, tal como 230-500, tal como 230-450, tal como 230-400, preferiblemente 240-500°C, preferiblemente 240-400°C, preferiblemente 240-350°C, lo más preferiblemente 270-350°C. En una realización preferida la biomasa se representa por biomasa lignocelulósica.

Otro aspecto de la invención se refiere a una disposición de torrefacción que tiene una zona para calentamiento y/o torrefacción, en la que un termómetro de infrarrojos está dispuesto en la zona de tal manera que puede medirse la temperatura de superficie de material que entra en la zona, está en la zona o sale de la zona y en la que una salida de gas de purga está dispuesta en el termómetro de IR de tal manera que puede suministrarse gas de purga (gas inerte no activo frente a infrarrojos) al espacio entre una lente del termómetro de IR y el material. En una realización, la lente del termómetro de infrarrojos y la salida de gas de purga están dispuestas en una tubería de extremo abierto común, que se extiende al interior de la zona de tal manera que el extremo abierto está orientado hacia el material. Por tanto, el gas de purga fluirá hacia fuera a través del extremo abierto de la tubería durante la operación.

En otra realización la disposición de torrefacción comprende al menos una zona de calentamiento y al menos una zona de torrefacción y la disposición de torrefacción comprende disposiciones de transporte de material de tal manera que el tiempo de residencia del material en la(s) zona(s) de torrefacción puede controlarse por separado del tiempo de residencia en la(s) zona(s) de calentamiento y en la que la(s) zona(s) de torrefacción está(n) ubicada(s) en un compartimento diferente de la(s) zona(s) de calentamiento y en la que los dos compartimentos están conectados mediante una zona de conexión y en la que el termómetro de infrarrojos está dispuesto en dicha zona de conexión.

En una realización el termómetro de infrarrojos es un termómetro de infrarrojos de punto o un pirómetro de infrarrojos.

En otra realización el transporte de material en la zona de conexión está mediado por la gravedad o por medidas mecánicas. En otra realización la zona de conexión está ubicada en un compartimento de la disposición de torrefacción que no está representado por un compartimento rotatorio. En una realización el transporte de material en la zona de conexión no está mediado por la rotación del compartimento que encierra la zona de conexión. En una realización la salida de gas de purga está conectada a una bombona de gas que comprende dicho gas inerte no activo frente a infrarrojos. En otra realización dicha bombona comprende gas nitrógeno o un gas noble.

#### Descripción detallada de realizaciones a modo de ejemplo

La figura 1 muestra una disposición de torrefacción que tiene una entrada (1) de biomasa, una zona (2) de calentamiento (dispuesta en un tambor) en la que se calienta el material hasta una temperatura próxima a la temperatura de torrefacción y una zona (4) de torrefacción (también dispuesta en un tambor) en la que se somete la biomasa a torrefacción. El transporte de la biomasa en la zona (2) de calentamiento está mediado por un tornillo de transporte de zona de calentamiento que está accionado por un motor (3) de tornillo de transporte de zona de calentamiento. El transporte de la biomasa en la zona (4) de torrefacción está mediado por un tornillo de transporte de zona de torrefacción que está accionado por un motor (5) de tornillo de transporte de zona de torrefacción. Los motores (3, 5) de tornillo de transporte pueden estar dispuestos para hacer rotar los tambores completos, en cuyo caso los tornillos están fijados a los tambores, o sólo los tornillos. El material torrefacto sale de la zona de

torrefacción a través de una salida (6) de biomasa y posteriormente se extingue por enfriamiento en los medios (7) para extinguir por enfriamiento, tales como dispositivos de aplicación de agua, y se enfría adicionalmente mediante medios (8) para enfriamiento adicional que pueden ser un dispositivo de enfriamiento de tornillo. Se recogen gases de torrefacción de la zona (2) de calentamiento y la zona (4) de torrefacción a partir de la salida (9) de gas de torrefacción para la combustión o el procesamiento. La temperatura de superficie de la biomasa dentro de la disposición de torrefacción se mide en diferentes posiciones dentro de la disposición de torrefacción usando termómetros (10, 11, 12) de IR. Un primer termómetro (10) de IR está dispuesto en la zona de conexión ubicada entre la zona de calentamiento y la zona de torrefacción. Este termómetro de IR puede ajustarse para medir la temperatura de superficie de la biomasa al final de la zona de calentamiento, en la zona de conexión o en el comienzo de la zona de torrefacción. Un segundo termómetro (11) de IR está ubicado en la salida (6) de biomasa y puede ajustarse para medir la temperatura de superficie de la biomasa en la salida de biomasa o al final de la zona de torrefacción. Un tercer termómetro (12) de IR está ubicado después de los medios (7) para extinguir por enfriamiento y antes de los medios (8) para enfriamiento adicional. Este termómetro de IR puede medir la temperatura de superficie de la biomasa extinguida por enfriamiento antes del enfriamiento adicional.

La figura 2 muestra un termómetro (21) de IR para medir la temperatura de una biomasa (32), tal como virutas de madera, en una disposición de torrefacción. El termómetro (21) de IR comprende una lente (22) en la parte frontal, principalmente para enfocar el haz de IR pero también para proteger los componentes electrónicos internos. La lente (22) está ubicada en una tubería (23) de extremo abierto que se extiende al interior de la disposición de torrefacción, tal como al interior de una zona de torrefacción, a través de una pared (33) de disposición de torrefacción, de tal manera que el extremo (34) abierto de la tubería (23) está orientado hacia la biomasa (32). Se introduce una corriente de gas de purga inerte no activo frente a infrarrojos en una entrada (27) de gas de purga de un calentador (24) de gas de purga. Antes de que el gas entre en la tubería (23) de extremo abierto a través de una salida (28) de gas de purga, se calienta el gas hasta por encima de 150°C en el calentador (24) de gas de purga. El calentador (24) de gas de purga comprende una entrada (25) de medios de calentamiento y una salida (26) de medios de calentamiento. El gas de purga fluye a través de la tubería (23) de extremo abierto y puede calentarse adicionalmente mediante el calor en la disposición de torrefacción a medida que se mueve hacia el extremo (34) abierto. En el extremo (34) abierto de la tubería (23) de extremo abierto la temperatura del gas de purga está normalmente próxima a la temperatura de torrefacción. Cuando el gas de purga entra en el espacio entre la biomasa (32) y el extremo (34) abierto, se desplazan los gases activos frente a IR desprendidos de la biomasa (32) y se detecta la temperatura de superficie de la biomasa (32) mediante el termómetro (21) de IR. Para evitar sobrecalentar el termómetro (21) de IR, el termómetro (21) de IR se enfría mediante introducción de unos medios de enfriamiento al interior de una zona (29) de enfriamiento del termómetro (21) de IR a través de una entrada (31) de medios de enfriamiento. Los medios de enfriamiento salen del dispositivo de enfriamiento (29) a través de una salida (30) de medios de enfriamiento.

La figura 3 muestra medidas de termómetro de IR realizadas durante la misma serie de torrefacción, en condiciones de estado estacionario usando gas nitrógeno caliente y frío para eliminar gases activos frente a IR, y para prevenir la condensación de sustancias condensables en el gas de torrefacción. Se demuestra que las medidas de termómetro de IR son mucho más precisas cuando el gas de protección está caliente. La temperatura promedio de las medidas con gas frío es inferior a la de las medidas con gas caliente, probablemente debido a la condensación de sustancias en el gas de torrefacción cuando se emplea el gas frío.

**Ejemplos**

Ejemplo 1

Biomasa	Tiempo de residencia (min)	Temperatura de referencia (°C)	Temperatura de atmósfera (°C)	Superficie de reactor (°C)	Temp. de termómetro de IR (°C), gas de protección frío	Temp. de termómetro de IR (°C), gas de protección caliente	Dif. n.º 1 * (°C)	Dif. n.º 2 ** (°C)	Dif. n.º 3 *** (°C)
Picea	25	300	329	332	300	318	-11	-14	1
Picea	16,5	270	277	294	271	273	-4	-21	
Eucalipto	16,5	270	267	272	-	269	2	-4	
Eucalipto	8	270	272	300	-	271	-1	-29	

\* Dif. n.º 1 = termómetro de IR (con gas de protección caliente) - temperatura de atmósfera

\*\* Dif. n.º 2 = termómetro de IR (con gas de protección caliente) - temperatura de superficie de reactor

\*\*\* Dif. n.º 3 = termómetro de IR (con gas de protección caliente) - TIR (con gas de protección frío)

La tabla anterior muestra resultados de cuatro experimentos de torrefacción diferentes realizados en una planta piloto de torrefacción continua con un tambor rotatorio como reactor. Durante el mismo experimento se midió la

temperatura de atmósfera (es decir la temperatura de los gases en el reactor de torrefacción), la temperatura de superficie de la pared del reactor y la temperatura de superficie de la biomasa. La temperatura de atmósfera se midió a 10 cm del extremo del reactor y a aproximadamente 5-10 cm hacia arriba desde la biomasa con un termopar de tipo N. La temperatura de superficie del reactor se midió fuera del reactor rotatorio con un termopar de tipo N. La temperatura de superficie de la biomasa se midió con un termómetro de IR (Heitronics CT09, rango espectral de 8-14  $\mu\text{m}$ ), en todos los casos con gas nitrógeno caliente y en dos casos también con gas nitrógeno frío.

Conclusión 1: Dif. n.º 1 en la tabla muestra que la temperatura de atmósfera (es decir la temperatura de los gases en el reactor de torrefacción) no es útil para determinar la temperatura de torrefacción porque la medida se desvía de manera irregular de la temperatura de superficie de la biomasa (termómetro de IR con gas nitrógeno caliente).

Conclusión 2: Dif. n.º 2 muestra que la medida de la temperatura de superficie del reactor no es útil para determinar la temperatura de torrefacción porque la medida se desvía de manera irregular de la temperatura de superficie de la biomasa (termómetro de IR con gas nitrógeno caliente).

Conclusión 3: Dif. n.º 3 muestra que la medida con termómetro de IR se desvía de manera irregular entre gas nitrógeno caliente y frío. Junto con la información en el ejemplo 2 queda claro que debe preferirse el uso de gas nitrógeno caliente con respecto a gas nitrógeno frío para la determinación de la temperatura de torrefacción.

## Ejemplo 2

La figura 3 muestra medidas con termómetro de IR realizadas durante la misma serie de torrefacción, en condiciones de estado estacionario. Se realizaron medidas con gas frío aproximadamente 3 h antes de que las medidas con gas caliente. El gas frío tiene una temperatura de 30°C y el gas caliente en este caso tiene aproximadamente 320°C en la salida de gas de purga. El uso de gas nitrógeno frío proporciona una incertidumbre de aproximadamente 40-50°C y la medida puede diferir en hasta 32°C entre cada lectura de 10 ms. Mientras tanto, usar gas caliente limita el alcance de medida hasta menos de 10°C y la medida puede diferir hasta 6°C entre cada lectura de 10 ms. La mayor parte del alcance de temperatura cuando se usa gas caliente puede atribuirse al hecho de que el termómetro de IR en algunos segundos de cada rotación del tambor está realizando la medida en el tambor de acero y no en la madera sometida a torrefacción. El gas frío está enfriando el gas de torrefacción de modo que sustancias condensables se condensan en el gas y por tanto proporcionan lecturas falsas. A partir de los experimentos descritos anteriormente queda claro que las medidas con termómetro de IR son mucho más precisas cuando el gas nitrógeno está caliente y por tanto es posible explicar la mayor parte de la variación en la medida. El promedio de medidas con gas frío es menor que para las medidas con gas caliente probablemente debido a las sustancias condensables en el gas de torrefacción.

## Bibliografía

[1] M. J Prins *et al.* More efficient biomass gasification via torrefaction. Energy 2006, 31, (15), 3458-3470.

[2] P. C. A. Bergman *et al.* Torrefaction for Entrained Flow Gasification of Biomass; Report C--05-067; Energy Research Centre of The Netherlands (ECN): Petten, Países Bajos, julio de 2005;

[3] K. Håkansson *et al.* Torrefaction and gasification of hydrolysis residue. XVI Conferencia y feria europea de la biomasa, Valencia, España. ETAFlorence, 2008.

[4] A. Nordin, L. Pommer, I. Olofsson, K. Håkansson, M. Nordwaeger, S. Wiklund Lindström, M. Broström, T. Lestander, H. Örborg, G. Kalén, Swedish Torrefaction R&D program. Primer informe anual del 18-12-2009 (2009).

**REIVINDICACIONES**

1. Método para monitorizar un procedimiento de torrefacción de una biomasa, caracterizado porque la temperatura de superficie de la biomasa en la disposición de torrefacción se determina usando un termómetro de IR y en el que se suministra una corriente de gas inerte no activo frente a infrarrojos en el espacio entre una lente del termómetro de IR y la biomasa y en el que la temperatura del gas inerte no activo frente a infrarrojos en una salida de gas de purga es superior a 150°C, tal como superior a 200°C, tal como superior a 250°C, tal como superior a 300°C, tal como superior a 350°C, tal como superior a 400°C, tal como superior a 450°C.
2. Método de control de un procedimiento de torrefacción de una biomasa, que comprende las etapas de:
  - a) monitorizar la temperatura de superficie según la reivindicación 1 para obtener un valor de temperatura de superficie;
  - b) comparar el valor de temperatura de superficie con un valor de referencia; y  
si el valor de temperatura de superficie es inferior al valor de referencia,
  - c1) aumentar un calentamiento del procedimiento, reducir un enfriamiento del procedimiento o aumentar un tiempo de residencia de la biomasa en el procedimiento; y/o  
si el valor de temperatura de superficie es superior al valor de referencia,
  - c2) reducir un calentamiento del procedimiento, aumentar un enfriamiento del procedimiento o reducir un tiempo de residencia de la biomasa en el procedimiento.
3. Método según las reivindicaciones 1-2, en el que el gas inerte no activo frente a infrarrojos es gas nitrógeno o un gas noble.
4. Método según la reivindicación 3, en el que el gas inerte no activo frente a infrarrojos es gas nitrógeno.
5. Método según la reivindicación 1-4, en el que la temperatura de superficie de la biomasa en el momento de la medida de la temperatura está en el intervalo de entre 220°C y 600°C, tal como 220-500°C, tal como 220-450°C, tal como 220-400°C, tal como 230-600°C, tal como 230-500°C, tal como 230-450°C, tal como 230-400°C, preferiblemente 240-500°C, preferiblemente 240-400°C, preferiblemente 240-350°C, lo más preferiblemente 270-350°C.
6. Método según la reivindicación 1-5, en el que la biomasa es biomasa lignocelulósica, tal como virutas de madera.
7. Disposición de torrefacción que tiene una zona para calentamiento y/o torrefacción, en la que un termómetro (21) de infrarrojos está dispuesto en la zona de tal manera que puede medirse la temperatura de superficie de material que entra en la zona, está en la zona o sale de la zona y en la que una salida (28) de gas de purga está dispuesta en el termómetro de IR de tal manera que puede suministrarse un gas inerte no activo frente a infrarrojos al espacio entre una lente (22) del termómetro de IR y el material, en la que la lente está ubicada en una tubería (23) de extremo abierto caracterizada porque la disposición de torrefacción comprende además un calentador (24) de gas de purga que tiene una entrada (27) de gas de purga, la salida (28) de gas de purga, una entrada (25) de medios de calentamiento y una salida (26) de medios de calentamiento, de modo que el gas inerte no activo frente a infrarrojos puede calentarse hasta por encima de 150°C en el calentador de gas de purga antes de que entre en la tubería de extremo abierto.
8. Disposición de torrefacción según la reivindicación 7, en la que la lente del termómetro de infrarrojos y la salida de gas de purga están dispuestas en una tubería de extremo abierto común, que se extiende al interior de la zona de tal manera que el extremo abierto está orientado hacia el material.
9. Disposición de torrefacción según las reivindicaciones 7-8, en la que dicha salida de gas de purga está conectada a un recipiente de gas, tal como una bombona, que comprende dicho gas inerte no activo frente a infrarrojos.
10. Disposición de torrefacción según la reivindicación 9, en la que dicho recipiente de gas comprende gas nitrógeno o un gas noble.
11. Disposición de torrefacción según las reivindicaciones 7-10, que comprende al menos una zona de calentamiento y al menos una zona de torrefacción y en la que la disposición de torrefacción comprende disposiciones de transporte de material de tal manera que el tiempo de residencia del material en las zonas

de torrefacción puede controlarse por separado del tiempo de residencia en la(s) zona(s) de calentamiento y en la que las zonas de torrefacción están ubicadas en un compartimento diferente de las zonas de calentamiento y en la que los dos compartimentos están conectados mediante una zona de conexión y en la que el termómetro de infrarrojos está dispuesto en dicha zona de conexión.

5  
12. Disposición de torrefacción según la reivindicación 11, en la que la zona de conexión está ubicada en un compartimento de la disposición de torrefacción que no está representado por un compartimento rotatorio y en la que el transporte de material en la zona de conexión no está mediado por la rotación del compartimento que encierra la zona de conexión.

10  
13. Disposición de torrefacción según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 7 a 12, en la que el termómetro de infrarrojos comprende además una entrada (31) de medios de enfriamiento, una salida (30) de medios de enfriamiento y una zona (29) de enfriamiento de modo que el termómetro de infrarrojos se enfría mediante introducción de unos medios de enfriamiento al interior de la zona de enfriamiento.

15

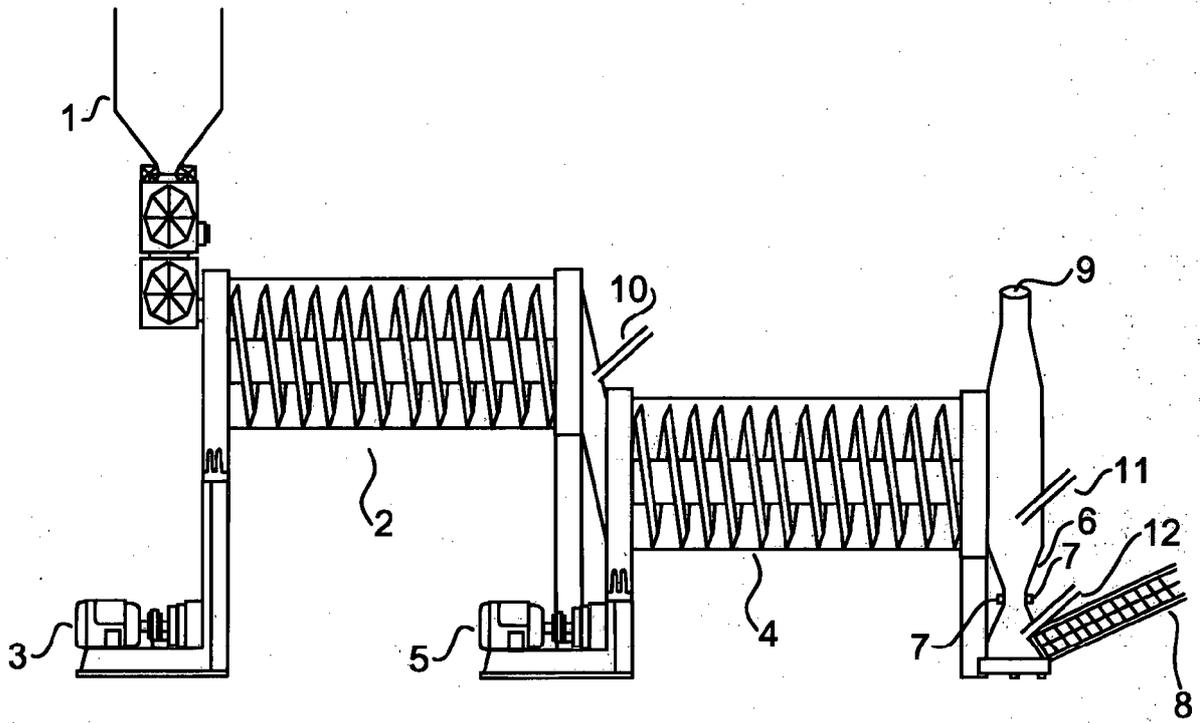


Fig. 1

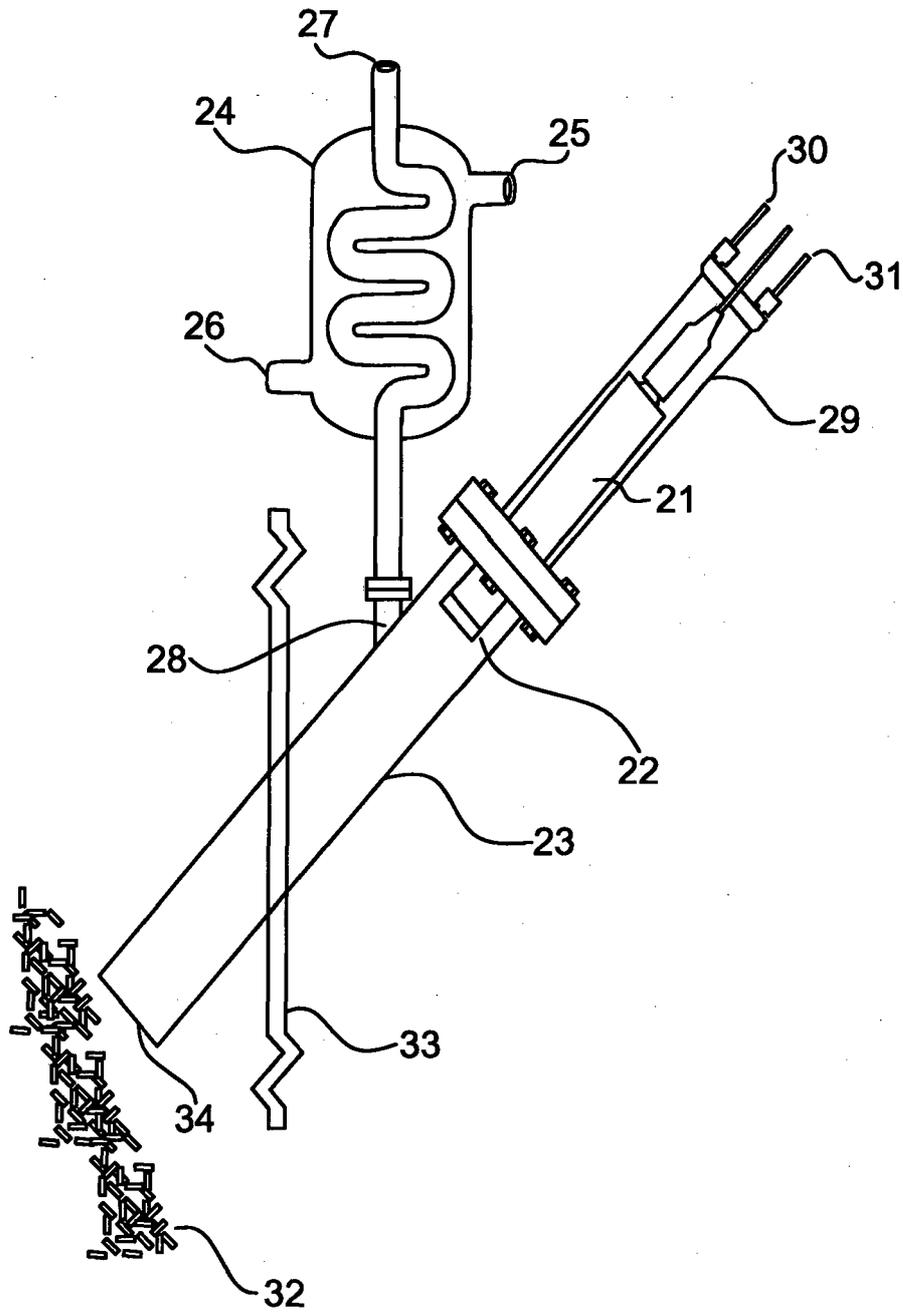


Fig. 2

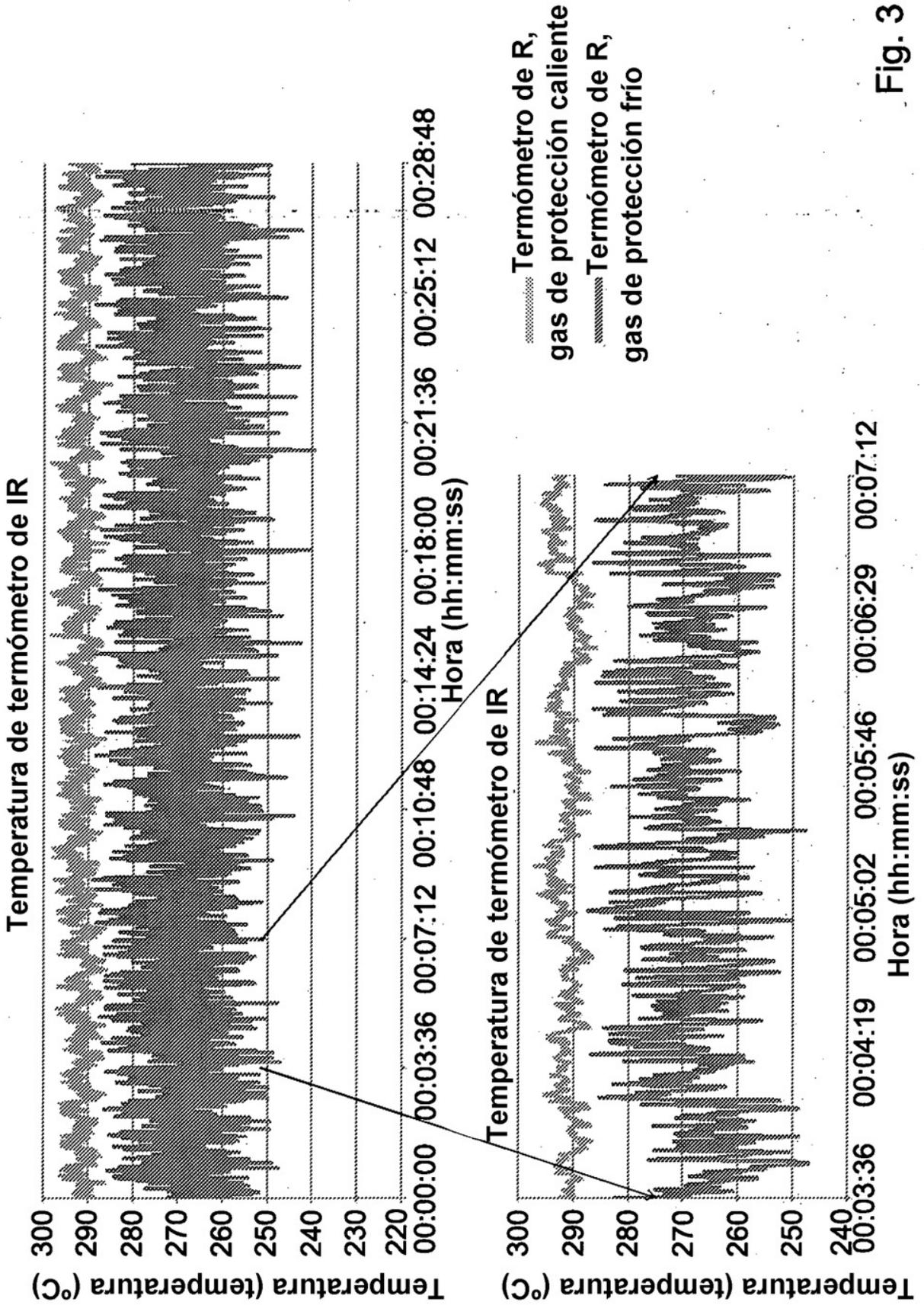


Fig. 3