

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 566 374**

51 Int. Cl.:

C10L 9/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.11.2012 E 12783219 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.12.2015 EP 2776539**

54 Título: **Reactor de torrefacción y de trituración de biomasa, sistema e instalación de tratamiento de biomasa que integra tal reactor, procedimiento asociado**

30 Prioridad:

09.11.2011 FR 1160206

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

12.04.2016

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (100.0%)
Bâtiment le Ponant D, 25 rue Leblanc
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

CHATAING, THIERRY

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 566 374 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

Reactor de torrefacción y de trituración de biomasa, sistema e instalación de tratamiento de biomasa que integra tal reactor, procedimiento asociado

5 **Campo técnico**

La invención se refiere a un nuevo reactor de torrefacción y de trituración de biomasa, preferentemente lignocelulósica, así como a un sistema y una instalación de tratamiento de biomasa que integra tal reactor y su procedimiento de puesta en marcha asociado.

15 La aplicación principal apuntada por la invención es la realización de combustibles llamados biocombustibles. Los biocombustibles se componen clásicamente de biomasa lignocelulósica y se obtienen por astillado, típicamente de trozos forestales o por granulación para los biocombustibles más elaborados.

20 La invención tiene por lo tanto características de una instalación de tratamiento de biomasa que pone en marcha una prensa para granular aguas abajo el nuevo reactor de torrefacción y de trituración para obtener biocombustibles con las características mejoradas con respecto a los puestos en marcha hasta este día. Un tratamiento combinado de torrefacción y de granulación permite obtener biocombustibles con una densidad energética elevada, típicamente del orden de 20 a 22 MJ/kg, una densidad másica elevada, típicamente del orden de 600 a 650 kg/m³, y propiedades hidrófobas importantes. Los inventores tienen como objetivo por lo tanto una mejora de las propiedades hidrófobas de los biocombustibles así como un aumento de su contenido energético, típicamente superior de 20 a 30%, con respecto a los de biocombustibles actualmente existentes.

25 La invención se aplica igualmente a la gasificación de biomasa en vista de la realización de biocarburantes a partir del gas de síntesis ampliamente conocido bajo la denominación Syngaz. En esta aplicación, el nuevo reactor de torrefacción y de trituración según la invención es preferentemente instalado aguas arriba de una unidad de acondicionamiento/almacenaje de polvo, ella misma aguas arriba de un reactor de gasificación para producir posteriormente biocarburantes.

30 **Técnica anterior**

35 En un contexto en el que el consumo no para de aumentar, la valorización de la biomasa se considera con el fin de diversificar los recursos de energía. Los sectores de conversión térmica por gasificación y combustión son particularmente considerados. La combustión de biocombustibles es un sector particular.

40 La torrefacción de la biomasa, preferentemente lignocelulósica, es una etapa de pretratamiento de la biomasa. En efecto, la estructura fibrosa y elástica de la biomasa hace su micronización de gran consumo de energía y confiere al producto triturado características inadaptadas a una inyección en forma pulverizada. La torrefacción es un tratamiento térmico suave de la biomasa en la interfaz entre el secado y la pirólisis, generalmente realizado a temperaturas comprendidas entre los 200°C y 350°C y que tiene como objetivo eliminar el agua y modificar una parte de la materia orgánica de la biomasa para romper sus fibras.

45 Dicho de otro modo, este tratamiento térmico suave altera la estructura fibrosa de la biomasa, que facilita así su trituración y su inyección en un reactor de gasificación o de co-combustión.

El pretratamiento por torrefacción mejora igualmente las propiedades de la biomasa en particular en vista de su almacenaje confiriéndole particularmente un carácter hidrófobo y una resistencia a las degradaciones biológicas.

50 La torrefacción de la biomasa lignocelulósica es por lo tanto una etapa de pretratamiento en vista de su inyección en forma pulverizada en un reactor de flujo comportado (reactor de gasificación) o en un reactor llamado de co-combustión (biomasa y carbón) en una central térmica de carbón o en vista de su granulación para realizar biocombustibles.

55 Con las instalaciones industriales actualmente existentes en el mercado, para obtener características mejoradas de biocombustibles, tales como las evocadas en el preámbulo, la biomasa debe sufrir una torrefacción durante una duración clásica de 20 a 40 minutos. Esta duración de tratamiento es importante y es por eso que necesita instalaciones de gran tamaño que dependen de la tecnología utilizada. Se puede citar las empresas CMI, Whysmont o TOPELL que ya ponen en marcha este tipo de instalaciones.

60 Además, como se indica en el preámbulo, un tratamiento combinado de torrefacción y granulación permite obtener biocombustibles con una densidad energética elevada, típicamente del orden de 20 a 22 MJ/kg, una densidad másica elevada, típicamente del orden de 600 a 650 kg/m³, y propiedades hidrófobas importantes.

65 La solicitud de patente US 2003/0221363 divulga, de manera muy general, un tratamiento de biomasa que combina una etapa de torrefacción con una etapa posterior de granulación claramente distinta de la torrefacción. Diferentes

tecnologías de calentamiento son citadas para poner en marcha la torrefacción (véase el párrafo [0050]: horno de soleras múltiples con quemador integrado de la figura 2; tornillo sin fin calentador con quemador integrado de la figura 3; recalentador de lecho fluidizado; horno rotativo; horno intermitente). De hecho, el conjunto de estas tecnologías no son industrialmente probadas hasta ahora. Ninguna garantía parece llevada al buen mantenimiento mecánico de los granulados producidos en la salida del

Además, si la integración energética parece adquirida, particularmente del compactador, inmediatamente aguas abajo del reactor de torrefacción, ninguna mención en las condiciones de funcionamiento es hecha. En particular, ninguna precisión es dada en el tiempo necesario en la torrefacción, parámetro por tanto especial en el control de la torrefacción.

Estudios técnico-económicos de los diferentes procedimientos muestran que el control del tiempo de permanencia de las partículas de biomasa durante el tratamiento es un criterio esencial de evaluación de los procedimientos de torrefacción y condiciona directamente su interés económico. Se puede citar aquí la publicación [1] que pone en evidencia este criterio.

Por otro lado, el retorno de experiencia de la invención de la presente invención en la torrefacción muestra que el par temperatura/tiempo de permanencia de la biomasa, está estrechamente unido al tipo de biomasa utilizada (madera, paja, etc.). Para una duración de torrefacción dada, la temperatura es un parámetro ajustable que permite responder a la variabilidad de la biomasa en la mayoría de los casos. Hasta hoy, el tiempo de permanencia necesario en la etapa de torrefacción que se puede calificar de importante, es decir, del orden de 20 a 50 minutos, ya que está directamente relacionado con el tamaño relativamente importante de las partículas de biomasa sometidas a la torrefacción, típicamente del orden del centímetro.

Además, buen número de publicaciones ponen al día la necesidad de tener un par predeterminado del tiempo de permanencia/temperatura de tratamiento para controlar la torrefacción en general y en particular la pérdida de masa que resulta de ello.

El documento GB 2448531 presenta una tecnología de torrefacción dedicada a la biomasa cortada toscamente, del orden de 100 mm de longitud por partícula, antes de ser triturada y llevada a una dimensión final del orden de 10 mm por partícula tostada y después triturada aguas arriba. La torrefacción se realiza a una temperatura de 300°C durante una duración de 15 min que conduce a una pérdida de masa importante, es decir de al menos un 40% (véase la página 8, líneas 20 a 24). La solución desarrollada según este documento GB 2449531 se adapta únicamente a una aplicación de co-combustión con el carbón y no presenta ninguna optimización del tiempo de tratamiento de torrefacción. Al contrario, la elección de utilizar en la entrada del procedimiento de la biomasa cortada toscamente, de gran dimensión, aumenta más el tiempo necesario a la torrefacción.

Por otro lado, se conoce en otros campos que el de la biomasa realizar una etapa de trituración en caliente, es decir, a unas temperaturas comprendidas entre 100-350°C de la materia a tratar.

Así, ya ha sido considerado realizar una etapa de trituración en caliente, con ayuda de un triturador de martillos en particular para el tratamiento de los residuos pesados de petróleo tipo asfalto, tal como se describe en la solicitud de patente WO 2009/114195 A1, o para la degradación de material plástico, tal como se describe en la solicitud de patente WO 98/09997. En esta solicitud WO 98/09997, la gama de temperatura indicada está comprendida entre 200-500°C, pero necesita un precalentamiento de la carga antes de la trituración. La solicitud de patente WO 9008177 en definitiva tiene características de la recuperación de petróleo en lodos de extracción y describe el funcionamiento de un triturador de martillos en caliente, a una temperatura del orden de 225°C con regulación de temperatura por baño de aceite para evitar la degradación del petróleo durante el funcionamiento. Está previsto además hacer la separación del polvo generado y del gas por medio de un ciclón (véase la figura 3). En las tres solicitudes de patente citadas, no solamente es nulamente considerado realizar la trituración en caliente de biomasa, sino que ninguna enseñanza puede ser sacada para hacerlo efectivamente. Así, el control del tiempo de permanencia en el triturador considerado no es mencionado ya que no es de hecho esencial para su aplicación considerada.

Se conoce igualmente de la técnica anterior, la posibilidad de realizar en combinación una etapa de trituración de un material y una etapa de secado en una sola operación.

Así, la patente US 4085897 propone un triturador-secador para el tratamiento a priori de todo tipo de materiales y en particular el carbón. Si la solución divulgada es bien adaptada a la del secado con el aire, es incompatible para la torrefacción de biomasa que debe operarse con un mínimo de oxígeno para evitar la combustión de la biomasa durante su torrefacción y el desbocamiento de la reacción.

La patente JP 60000899 propone el mismo enfoque pero con el aire a más altas temperaturas comprendidas entre 200 y 400°C para el tratamiento de lodos. La solución divulgada es por lo tanto de hecho incompatible con una etapa de torrefacción de biomasa. Además, las temperaturas indicadas son incompatibles con una etapa de secado ya que le volvería a generar rechazos de COV (compuestos orgánicos volátiles) que deben ser controlados para respetar

las normas medioambientales.

Finalmente, se conoce de la solicitud de patente FR 2924435 A1, la posibilidad de realizar en combinación una etapa de trituración y una etapa de torrefacción de biomasa lignocelulósica en una sola operación necesariamente puesta en marcha en un reactor de lecho fluidizado. El objetivo resultante esta solución según la solicitud FR 2924435 es la reducción del consumo de energía de trituración, y el tiempo de permanencia de las partículas de biomasa no es una preocupación real. Así, los tiempos de permanencia dados permanecen clásicamente utilizados hasta ahora para una etapa de torrefacción, es decir tiempos importantes de 10 a 40 minutos, ya que permanecen dependientes de la granulometría de entrada de lecho fluidizado de las partículas (véase página 4, líneas 20-23). Ahora bien, como se indica en el preámbulo, el control del tiempo de permanencia de las partículas durante el tratamiento es un criterio esencial de evaluación de los procedimientos de torrefacción y condiciona directamente su interés económico. Además, con la lectura de esta solicitud de patente, no se sabe realmente como se fija la temperatura necesaria en la torrefacción de las partículas, igual si a priori es por el gas vector de puesta en movimiento de las partículas en la entrada a través de la tubería central. Además, no se sabe cómo la energía necesaria en el calentamiento del gas vector es llevada. Además, de por la concepción misma de este reactor con lecho fluidizado, hay numerosos intercambios térmicos entre por una parte las partículas y el gas vector y por otra parte las partículas y los órganos del triturador de cuchillas puestos en marcha (véase la figura 4). Dicho de otro modo, no hay control de los intercambios térmicos. Por otro lado, el triturador de cuchillas puesto en marcha presenta ciertos inconvenientes unidos directamente a la etapa de torrefacción.

En efecto, esta transformación termoquímica modifica las características intrínsecas de la biomasa tratada con en particular una polimerización que hace muy abrasivo el polvo obtenido. Se puede deducir que una degradación (erosión) muy rápida de las cuchillas puede producirse en consecuencia con una dispersión de la granulometría de las partículas en la salida y por tanto un disfuncionamiento progresivo de la instalación. En definitiva, la invención piensa que la operación de trituración-torrefacción según esta solicitud FR 2924435 es difícil de poner en marcha en particular con condiciones de pilotaje muy complejas, teniendo en cuenta la precisión dada en las velocidades de la fluidificación a respetar frente a por una parte la gran variabilidad de la biomasa tratada (composición, tasa de humedad) y por otra parte la gama muy grande en presión cubierta (1 a 30 bares). En efecto durante la operación de torrefacción unos gases son emitidos en mayor o menor cantidad en función de la temperatura y del tiempo de permanencia de las partículas. Este liberación de gases impacta directamente en la velocidad de fluidificación y por lo tanto en el funcionamiento del lecho fluidizado.

Un objeto de la invención es por lo tanto proponer una solución que pone en marcha una etapa de torrefacción y una etapa de trituración de biomasa durante una sola operación, es decir, en una cámara única de un reactor y que palia todos o parte de los inconvenientes de la solicitud de patente FR 2924435.

Un objeto particular es por lo tanto proponer una solución de adaptación de una tecnología de triturador existente para poner en marcha concomitantemente una trituración y una torrefacción, controlando los intercambios térmicos en tiempos de permanencia de las partículas en la cámara del triturador considerablemente reducidos, preferentemente inferiores a 5 minutos. En efecto, ensayos realizados en partículas de biomasa de tamaños muy pequeños, del orden de 200 μm , muestran que las condiciones óptimas de torrefacción (pérdida de masa, contenido energético) pueden ser obtenidas para tiempos de permanencia inferiores a 5 minutos en función de la temperatura.

Otro objeto de la invención es proponer una instalación de tratamiento de biomasa que integra un reactor que pone en marcha concomitantemente una trituración y una torrefacción y que comprende una prensa para granular aguas abajo del reactor, y cuyo balance energético sea eficaz.

Exposición de la invención

Para hacerlo, la invención se refiere a un reactor de trituración y de torrefacción de biomasa, que comprende:

- una cámara delimitada interiormente por paredes internas;
- medios de trituración, dispuestos en el interior de la cámara, y adaptados para triturar la biomasa, preferentemente lignocelulósica;
- unos medios de calentamiento adaptados para calentar y mantener en temperatura por conducción térmica al menos una parte de los medios de trituración y al menos una parte de las paredes internas de la cámara con una temperatura predeterminada, llamada de torrefacción, comprendida entre 200°C y 350°C con el fin de realizar simultáneamente la trituración y la torrefacción de biomasa en el seno de la cámara.

La invención trata igualmente de un reactor de trituración y de torrefacción de biomasa, que comprende:

- una cámara delimitada interiormente por paredes internas;
- unos medios de trituración dispuestos en el interior de la cámara, que comprende un árbol central rotativo montado

en rotación en la cámara y elementos de trituración presentes en dicho árbol central rotativo para triturar contra las paredes internas de la biomasa, preferentemente lignocelulósica, presente en el interior de la cámara;

5 - unos medios de calentamiento para calentar y mantener por conducción térmica a través de los medios de trituración la biomasa presente en el interior de la cámara, con una temperatura predeterminada llamada de torrefacción comprendida entre 200°C y 350°C, con el fin de realizar simultáneamente la trituración y la torrefacción de la biomasa en la cámara.

10 La invención pone en marcha una acción combinada de una trituración y de un tratamiento térmico de torrefacción que permite una reducción del tamaño de las partículas y por lo tanto el tiempo de tratamiento de las partículas, llamado tiempo de permanencia en un entorno que varía de 200 a 350°C.

15 La invención consiste esencialmente en realizar una torrefacción rápida por la sinergia entre los medios del triturador, sus condiciones de funcionamiento y las condiciones operatorias de la torrefacción.

Gracias a la invención, se puede considerar el control de un tiempo de permanencia corto y de la temperatura para la operación de torrefacción.

20 La invención aporta una ganancia en compacidad y en optimización energética considerable frente a una configuración secuencial de las operaciones torrefacción y trituración antes de la granulación.

25 El inventor parte de la conclusión de que el tratamiento térmico de torrefacción está estrechamente unido a la temperatura propia de las partículas, y por lo tanto de la conclusión de que hay que controlar mejor el tratamiento térmico, es decir, controlar el modo de inyección de la energía y maximizar los coeficientes de intercambios entre las partículas de biomasa a tostar y las partes calientes en contacto.

30 El inventor ha hecho entonces el inventario de los diferentes modos de transferencias térmicas tales como se conocen: estos modos que son la convección, la radiación, y la conducción dependen estrechamente de la configuración de intercambio, es decir de la naturaleza de los elementos en contacto, como esto resulta de la figura. De esta figura 1, se ve que los intercambios térmicos entre gas y sólido son los más bajos; los intercambios sólido/sólido son muy superiores pero estrechamente limitados por la resistencia de contacto entre los sólidos, en definitiva los intercambios entre sólido y líquido son incluso mejores y alcanzan un máximo durante el cambio de fase del líquido (ebullición), como se describe en la publicación [2].

35 Para alcanzar un control del tratamiento térmico, la solución propuesta en la patente FR 2924435 mencionada en el preámbulo, consiste en un triturador de cuchillas asociado a un lecho fluidizado. A partir de una comparación no exhaustiva de los diferentes tipos de triturador como el esquematizado en el diagrama de la figura 2, aparece que una solución de triturador de cuchillas y en lecho fluidizado como la de la solicitud FR 2924435 es la que necesita más caudal de gas de barrido. Además, como se mostró en la figura 1, esta solución pone en marcha coeficientes de intercambios térmicos bajos (intercambios gas/sólido esencialmente).

45 La idea en la base de la invención es por lo tanto maximizar la transferencia de energía a las partículas de biomasa controlando mejor la temperatura de torrefacción. Al encuentro de las soluciones propuestas para la torrefacción de la biomasa según el estado de la técnica, el inventor ha pensado por lo tanto en liberarse del gas para llevar la energía térmica directamente a las partículas a través de los elementos constitutivos del triturador y más particularmente a través de los medios de trituración. Dicho de otro modo, el inventor ha pensado en adaptar una tecnología de triturador existente favoreciendo al máximo los intercambios térmicos sólido/sólido, es decir reduciendo al menos las resistencias de contacto entre medios de trituración (martillos, cuchillas o cuerpo triturador) en el interior de la cámara y partículas de biomasa.

50 Dicho de otro modo, la invención consiste en llevar la energía de torrefacción a las partículas que componen la biomasa a través de los medios de trituración que son calentados por contacto directo por los medios de calentamiento.

55 Preferentemente, los medios de calentamiento y las paredes internas de la cámara presentan conductividades térmicas casi idénticas.

60 Ventajosamente, cuando el material de las paredes internas es elegido entre el acero o el acero inoxidable 304L, entonces el de los medios de trituración puede ser elegido entre los aceros duros, tales como el acero 350HB. Las paredes internas de la cámara de reactor pueden estar revestidas de un material de blindaje, tal como el CREUSABRO[®], que conviene en el cuadro de la invención. Los medios de calentamiento consisten ventajosamente en elementos caloriducto en contacto físico con la pared periférica de la cámara.

65 Según el tipo de los medios de trituración considerado, se puede además considerar al menos un elemento caloriducto en contacto físico con al menos una parte de los medios de trituración.

- Otro ganancia considerable en los intercambios de calor, el hecho de poner en contacto elementos caloriductos con la pared periférica de la cámara (carcasa) y/o con los medios de trituración presentes en el árbol central rotativo, permite garantizar el mantenimiento preciso de la temperatura de torrefacción durante la trituración de las partículas de biomasa y eventualmente en cualquier punto del reactor. Se maximiza así el aporte de energía que controla finamente la temperatura del procedimiento de torrefacción/trituración.
- Es ventajoso repartir los caloriductos alrededor de la carcasa de la cámara, su número dependiendo evidentemente de las dimensiones de la cámara.
- Típicamente, en un primer enfoque, se reparten los caloriductos de 40 a 50 cm si la carcasa de la cámara es de acero suave. Así, preferentemente, se prevé una pluralidad de elementos caloriductos repartidos uniformemente en la periferia y en contacto físico contra la pared periférica de la cámara en al menos una mayor parte de su longitud.
- Para garantizar el mantenimiento en temperatura de los medios de trituración giratorios (cuchillas, martillos), se prevé ventajosamente un elemento caloriducto dispuesto en el interior de un árbol central sobre el que están fijados o presentes al menos una parte de los medios de trituración, estando montado el árbol en rotación en la cámara en al menos una mayor parte de su longitud. Teniendo en cuenta los tamaños usualmente encontrados para los medios de trituración, tales como los martillos, y la naturaleza de su/s material/es, típicamente el acero, la conducción en este/estos material/es permite garantizar un margen bajo de Ture entre los medios de trituración giratorios (martillos, cuchillas) y el árbol rotativo sobre el que están fijados: típicamente, se puede obtener un margen inferior a 2°C para una conductividad de 45 W/m²°C en una longitud de 40 cm con un flujo de 225 W/m².
- Con fines de integración energética en una instalación de tratamiento de biomasa y con el fin de aumentar los intercambios térmicos, los elementos caloriductos según la invención están cada uno dotados al menos en uno de sus extremos de aletas para constituir un intercambio térmico entre un gas y el fluido caloportador en el interior de dicho caloriducto.
- En lo que se refiere a la elección del fluido caloportador de los caloriductos según la invención, el inventor ha hecho inventario de los actualmente conocidos. La tabla 2 recapitulativa extraída de la publicación [3] da una vista exhaustiva. En el cuadro de la invención, el inventor piensa que el Gilotherm ® DO y el Naphtalene son los mejores adaptados para responder a las condiciones operacionales del reactor según la invención. Por supuesto, el experto en la técnica podrá elegir otros fluidos caloportadores en los caloriductos con otros materiales de cámara en función de las aplicaciones consideradas (tipo de biomasa a tratar).
- Una solución alternativa a los caloriductos mencionados anteriormente puede consistir en utilizar un fluido caloportador que circula en las diferentes partes del triturador que necesitan que su temperatura sea controlada, por ejemplo en los elementos de trituración presentes en el árbol central rotativo montado en rotación en la cámara y/o el árbol mismo. El reactor puede entonces comprender una bomba hidráulica que permite adaptar el caudal del fluido caloportador en los elementos precedentes en función de la temperatura deseada.
- En lo que se refiere a la tecnología de trituradores a adaptar en el cuadro de la invención, el inventor piensa que dos tipos de triturador presentan características particularmente bien adaptadas a la operación de torrefacción: el triturador de martillos y el triturador vibrante.
- El triturador de martillos ofrece una capacidad de intercambio térmico muy importante por la acción directa del martillo y de la calandria (carcasa) en las partículas de biomasa. Así es preferible realizar un precalentamiento de la calandria (carcasa del reactor) y de los martillos del triturador e igualmente inyectar un gas precalentado. Otra ventaja del triturador de martillos se refiere a su resistencia a la abrasión y su aptitud ya probada a tratar la biomasa (clásicamente utilizada para producir la harina de madera aguas arriba de las unidades de granulación).
- Así, según un primer modo de realización, los medios de trituración comprenden martillos fijos en un árbol central montado en rotación en la cámara, estando adaptados los martillos para chocar y estallar las partículas de biomasa contra la pared interna periférica de la cámara, llamada carcasa, constituyendo así un triturador de tipo de martillos. Según este primer modo de realización, se prevé montar un elemento caloriducto en el interior del árbol central, permitiendo el montaje al elemento caloriducto igualmente estar en rotación con el árbol. Se mejora así tanto la eficacia del caloriducto por efecto de centrifugación del líquido contenido en el caloriducto que por lo tanto se va a repartir por las paredes del tubo de este.
- Para controlar y ajustar el tiempo de permanencia de las partículas de biomasa en el triturador de martillos, se pueden prever dos variantes en función de la posición en configuración instalada del reactor. Por posición en configuración instalada, se entiende la posición que el reactor según la invención ocupa cuando funciona, es decir cuando pone en marcha una operación simultaneada de trituración y de torrefacción de biomasa.
- Cuando el reactor/triturador de martillos según la invención es instalado con su eje longitudinal en vertical, la utilización de un primer selector dinámico con velocidades variables es preferido.

La ventaja principal llevada por un selector dinámico es su gran flexibilidad de selección y de ajuste del tamaño de las partículas en la salida de reactor haciendo variar su velocidad de rotación (ajuste posible en función del tipo de biomasa tratada).

- 5 Cuando el reactor/triturador de martillos según la invención es instalado con su eje longitudinal en horizontal, se realiza preferentemente una aspiración de las partículas aguas abajo del reactor, como se explica después: se reduce así considerablemente la distribución granulométrica en el reactor y se mejora su rendimiento.

10 Otras tecnologías de triturador presentan características ventajosas para realizar la operación combinada de trituración y de torrefacción según la invención. Como se dice anteriormente, el triturador vibrante tiene intrínsecamente excelentes propiedades: trituración de bajo consumo energético, distribuciones granulométricas estrechas, poco despegue de partículas que reducen el riesgo de atmósferas explosivas (reglamentación ATEX resultante de directivas europeas) y en definitiva, un control del tiempo de permanencia por una compuerta de laminado en la salida del triturador.

15 Según un segundo modo de realización, los medios de trituración están constituidos por cuerpos de trituración montados libres en el interior de la cámara, y el reactor comprende medios de puesta en vibración de la cámara, los medios de vibración de la cámara contra los cuerpos de trituración estando adaptados para moler las partículas de biomasa por una parte entre los cuerpos de trituración y por otra parte entre estos y la pared interna periférica de la cámara, llamada carcasa, constituyendo así un triturador de tipo vibrante. Los medios de vibración están preferentemente asociados a contrapesos para adaptar la frecuencia de vibración. En el cuadro de la invención, se pueden adaptar ciertos trituradores de tipo vibrante ya existentes con el fin de poner en marcha simultáneamente la etapa de torrefacción. Por ejemplo, unos trituradores vibrantes comercializados bajo la denominación comercial PALLA en nombre de la empresa RITEC se adaptan perfectamente. Con este tipo de trituradores, se pueden así considerar barras o bolas de molienda en el interior de la cámara como cuerpos trituradores.

20 Según este segundo modo de realización, los medios de calentamiento consisten ventajosamente en elementos calorídeos únicamente repartidos en la pared periférica de la cámara, los intercambios térmicos por una parte entre la carcasa de cámara y los cuerpos trituradores y por otra parte entre los cuerpos trituradores entre ellos que permiten transmitir mejor el calor en las partículas de biomasa.

25 Dada su mayor sensibilidad a la tasa de humedad del producto entrante y a las pérdidas de masa aumentada durante la operación de torrefacción desarrollada, se privilegia el segundo modo de realización para biomásas secadas con una tasa de humedad baja.

35 La utilización de un primer selector dinámico con velocidad variable según este segundo modo de realización es igualmente ventajosa. Preferentemente, la disposición del primer selector dinámico es tal que está colocado en la parte alta del reactor, preferentemente incluso en el último tercio del tubo de trituración que permite evacuar los gases producidos (gas de torrefacción+vapor de agua). Se garantiza así un funcionamiento del reactor como usualmente para un triturador vibrante.

40 La invención se refiere por lo tanto también a un sistema que comprende un reactor de trituración y de torrefacción de biomasa descrito precedentemente y un primer selector dinámico con velocidad variable inmediatamente aguas abajo del reactor, estando dicho primer selector dinámico adaptado para obtener en la salida del reactor partículas inferiores a un primer diámetro deseado y para reinyectar en el triturador las partículas de diámetro superior al primer diámetro deseado.

45 Se puede en definitiva considerar adaptar una tecnología de triturador de cuchillas. Según un tercer modo de realización, los medios de triturador comprenden así muescas practicadas en un árbol central montado en rotación en la cámara, estando las muestras adaptadas para cortar las partículas de biomasa contra la pared interna periférica de la cámara, llamada carcasa, constituyendo así un triturador de tipo de cuchillas.

50 Como el primer modo de realización, se prevé montar un elemento calorídeo en el interior del árbol central, el montaje permitiendo al elemento calorídeo igualmente estar en rotación con el árbol. Se mejora así tanto la eficacia del calorídeo por el efecto de centrifugación del líquido contenido en el calorídeo que se para a repartir por lo tanto en las paredes del tubo de este.

55 La invención se refiere también a un procedimiento de puesta en marcha de un reactor o de un sistema descrito precedentemente, según el cual se precalientan los medios de calentamiento hasta que alcanzan la temperatura predeterminada de torrefacción, comprendida entre 200°C y 350°C, antes de la alimentación del reactor de biomasa secada.

60 Preferentemente, la alimentación de biomasa secada se hace con una tasa de humedad de esta en una gama de 10 a 15%. Esta tasa es ventajosa ya que degrada más o menos el rendimiento energético global del procedimiento de torrefacción según la invención. Se realiza preferentemente la alimentación de biomasa secada en el reactor por gravedad.

En caso de aporte importante de energía a realizar, se inyecta además un flujo de gases llevados a la temperatura predeterminada de torrefacción directamente en la cámara.

- 5 Como se indica más arriba, cuando el reactor está en posición horizontal en configuración de utilización, se realiza preferentemente una aspiración de las partículas aguas abajo de dicho reactor.

La invención se refiere en definitiva a una instalación de tratamiento de biomasa, preferentemente lignocelulósica, para realizar biocombustibles en forma de granulados. Así la instalación comprende un reactor o un sistema descrito precedentemente y una prensa para granular y además un segundo selector dinámico realizado aguas abajo en el reactor, y llegado el caso en el primer selector dinámico, el segundo selector dinámico estando adaptado para separar partículas en la salida del reactor y teniendo un diámetro inferior al primer diámetro, aquellas cuyo diámetro es superior al segundo diámetro deseado, una de las salidas del segundo selector dinámico estando unida a la prensa para granular para alimentarla de partículas de dimensión comprendida entre el primero y el segundo diámetro, la otra de las salidas del segundo selector dinámico estando adaptada para extraer las partículas de dimensión inferior al segundo diámetro deseado. El segundo diámetro deseado corresponde a partículas muy finas de biomasa, típicamente de diámetro aparente inferior a 10 μm . El segundo selector dinámico es preferentemente asociado a un ciclón: el ciclón es así dispuesto entre el segundo selector dinámico y la prensa para granular. En lo que se refiere a la prensa para granular, se elige una prensa que funciona a las temperaturas de torrefacción, sea entre 200°C y 300°C, lo que permite la obtención de granulados con un consumo energético reducido y un mantenimiento mecánico muy bueno de los granulados. Por ejemplo, prensas para granular comercializadas por la empresa Promill-Stolz se adaptan perfectamente.

Con fines de integración energética, la salida del segundo selector dinámica adaptada para extraer las partículas de dimensión inferior al segundo diámetro deseado está unida a una cámara de combustión distinta de la cámara de reactor, adaptada para realizar una post-combustión de los gases resultantes de la torrefacción y de las partículas de dimensión inferior al segundo diámetro a una temperatura predeterminada, llamada de post-combustión, comprendida entre 800 y 1000°C, preferentemente igual a 850°C. Dicho de otro modo, el gas resultante del reactor cargado en finas partículas de biomasa tostada es utilizado como combustible en una cámara de post-combustión que funciona preferentemente a 850°C.

Se está pendiente entonces de ajustar la velocidad del segundo selector dinámico para obtener una autosuficiencia en energía para la cámara de post-combustión en régimen permanente. Dicho de otro modo, el ajuste del PCI (abreviado de potencia calorífica inferior) del gas más las partículas es sometido con la velocidad del segundo selector dinámico.

Ventajosamente, la cámara de combustión comprende al menos un quemador multicomcombustible para simultáneamente realizar una post-combustión de los gases resultantes de la torrefacción y de las partículas de dimensión inferior al segundo diámetro y de los combustibles de la materia sólida. El quemador multicomcombustible está ventajosamente unido a la prensa para granular de manera que los combustibles de materia sólida son granulados tostados producidos por dicha prensa para granular. Tal quemador permite un ajuste rápido y preciso de la temperatura de la post-combustión en las fases transitorias (puesta en régimen, oscilaciones) por la combustión de granulados y preferentemente producidos por la prensa para granular. En calidad de quemadores multicomcombustible susceptibles de ser utilizados en el cuadro de la invención, se pueden citar los comercializados por la empresa Leroux et Lotz Technologie.

Así, ventajosamente, la salida de la cámara de combustión está unida al reactor de manera que calienta los medios de calentamiento por los gases de post-combustión.

- 50 Según una característica, la salida de la cámara de combustión está unida a la entrada del reactor de manera que inyecta los gases de post-combustión, a la temperatura de torrefacción, en la cámara de reactor.

Según otra característica, la salida de la cámara de combustión está unida a los intercambiadores térmicos constituidos por las aletas de los caloriductos de manera que la energía de calentamiento del fluido caloportador de los caloriductos es llevada por los gases de post-combustión.

Según un modo de realización ventajoso, la instalación comprende además un intercambiador térmico suplementario, distinto de los intercambiadores térmicos de los caloriductos, cuyo circuito de fluido caliente está unido a la salida de la cámara de combustión y cuyo circuito de fluido frío está unido a un secador adaptado para secar la biomasa antes de su alimentación en el reactor, de manera que la energía de calentamiento del secador es llevada por los gases de post-combustión.

Dicho de otro modo, los gases de combustión que salen de la cámara de post-combustión llegan al intercambiador térmico suplementario para por una parte precalentar ya sea el vapor de agua ya sea un gas y enviarlo al secador de biomasa, y por otra parte para ajustar la temperatura de los gases de post-combustión a un valor variable siguiendo la biomasa tratada, típicamente comprendida entre 250 y 350°C, e inyectarle en la cámara del reactor. Utilizando el

intercambiador térmico suplementario en la instalación de tratamiento de biomasa según la invención, se controla incluso mejor la temperatura de torrefacción en el intercambiador que tiende a estabilizar el procedimiento de torrefacción/trituración.

5 Breve descripción de los dibujos

Otras ventajas y características de la invención surgirán con la lectura de la descripción detallada de la invención hecha a título ilustrativo y no limitativo en referencia a las figuras siguientes entre las que:

- 10 - la figura 1 es un diagrama que muestra los niveles de coeficiente de intercambio térmico en función de los fluidos o sólidos en contacto mutuo;
- la figura 2 es un diagrama que muestra los caudales de gas de barrido necesarios en función de la tecnología de trituradores utilizados según el estado de la técnica;
- 15 - la figura 3 es una vista esquemática en corte longitudinal de un reactor de trituración y de torrefacción de biomasa según la invención que pone en marcha una tecnología de trituración de martillos;
- las figuras 3A y 3B son vistas esquemáticas en corte transversal del reactor según la figura 3;
- 20 - la figura 4 es una vista esquemática de un primer modo de realización de una instalación de tratamiento de biomasa que integra un reactor de trituración y de torrefacción de biomasa según la invención;
- la figura 5 es una vista esquemática de un segundo modo de realización de una instalación de tratamiento de biomasa que integra un reactor de trituración y de torrefacción de biomasa según la invención.

Exposición detallada de modos de realización particulares

30 En la descripción que va a seguir los términos “entrada”, “salida”, “aguas arriba”, “aguas abajo” se utilizan en referencia a la dirección de transferencia de la biomasa y de los fluidos a la vez en el reactor según la invención, en un sistema y una instalación que integra tal reactor. Igualmente, los términos “superior”, “inferior”, “encima”, “debajo” se utilizan por referencia a la orientación física vertical u horizontal del reactor y del secador de la instalación según la invención.

35 Por diámetro de las partículas, se entiende su diámetro equivalente, es decir el diámetro de la esfera que se comportaría de manera idéntica durante una operación de análisis granulométrica elegida.

Las figuras 1 y 2 han sido comentadas anteriormente. Ya no son comentadas por lo tanto aquí.

40 En las figuras 3 a 3B, se ha representado un reactor de trituración y de torrefacción concomitante de biomasa lignocelulósica, tal como la madera, conforme a la invención.

45 El reactor 1 según la invención comprende una cámara 10 única delimitada a su periferia cilíndrica por una pared lateral, usualmente llamada carcasa 11, y respectivamente de una y otra parte por dos paredes 12, 13 de extremo.

El reactor 1 representado es realizado a partir de un triturador de martillos. Así, el reactor comprende un árbol central rotativo 14 montado en niveles 140 dispuestos en el exterior de la cámara 1.

50 Una pluralidad de martillos 15 está fijada en el árbol rotativo 14 definiendo plantas regularmente espaciadas a lo largo de la cámara. Cada planta comprende igualmente un número de martillos 15 repartidos angularmente regularmente.

55 Como es visible en las figuras 3 y 3B, está previsto así un número de once plantas a lo largo de la cámara, comprendiendo cada planta un número de cuatro martillos posicionados de 15º a 90º los unos de los otros.

Así, cuando la biomasa, secada previamente a una tasa de humedad preferentemente comprendida entre 10 y 15%, se alimenta en el reactor 1, los martillos 15 en rotación a través del árbol 14 van a chocar y estallar las partículas de biomasa contra la pared interna 10 periférica de la cámara.

60 Según la invención, con el fin de realizar simultáneamente la trituración y la torrefacción de biomasa en el seno de la cámara 10, controlando mejor los intercambios térmicos entre los diferentes elementos del reactor (carcasa, martillos, árbol rotativo) y las partículas de biomasa a tostar, se prevé implantar caloriductos 16 adaptados para calentar y mantener en temperatura por conducción térmica los martillos 15 y el árbol rotativo 14 en el que se montan y la carcasa 11 de la cámara a una temperatura predeterminada, llamada de torrefacción, comprendida
65 entre 200°C y 350°C.

Más exactamente, un primer caloriducto 160 es insertado en el interior del árbol rotativo 14. El montaje previsto es tal que el caloriducto 160 concierne gira con el árbol 14. Se mejora así incluso más la eficacia del caloriducto 160 por efecto de centrifugación del líquido que contiene, este último yendo a repartirse por toda la pared interna del caloriducto durante la rotación.

5 Como es mejor representado en las figuras 3A y 3B, segundos caloriductos 161 están en contacto físico con la carcasa 11 del reactor. Estos segundos caloriductos 161 son repartidos regularmente angularmente.

10 Como es visible en las figuras 3A y 3B, se prevé así un número de ocho caloriductos 161 en el perímetro de la cámara y toda la altura de esta, los ocho caloriductos 161 estando distantes a 45° los unos de los otros.

15 Como es visible en la figura 3, los extremos 1600 de los caloriductos comprenden aletas con el fin de constituir un intercambiador térmico óptimo entre un gas caliente que circula en cada cavidad 17 y el fluido caloportador en el interior de cada caloriducto. Este fluido caloportador es preferentemente del naphthalene o del Gilotherm ®DO.

20 Además, según la invención, el dimensionamiento del reactor 1 tiene en cuenta esencialmente del ajuste del tiempo de permanencia necesario para las partículas de la biomasa considerada. Este ajuste depende de dos parámetros: la temperatura efectiva de la pared interna 110 de la carcasa 11, del árbol rotativo 14, de los martillos 15 en contacto físico con las partículas de biomasa, y del tamaño de las partículas. La regulación puede ser diferente siguiendo el tipo de biomasa utilizado y necesita en función de la configuración instalada del reactor 1, medios apropiados aguas abajo del reactor.

25 Así, cuando el reactor 1 que acaba de ser descrito está en posición vertical en configuración instalada, la implantación de un primer selector dinámico 2 adaptado para forzar las partículas de gran diámetro a permanecer en el reactor más tiempo con el fin de combinar la reducción de tamaño por trituración y el tratamiento térmico de torrefacción.

30 Esta configuración se muestra en la figura 3. Se calibran así las partículas trituradas y tostadas en la salida del reactor por el primer selector dinámico 2 de velocidad variable. Típicamente, la velocidad de rotación se comprende entre 2000 y 4000 tr/mn para calibrar partículas en la salida de diámetro del orden de 500 µm. En la figura 4, se han mencionado partículas en la salida calibradas a un diámetro de 1 mm. La utilización del primer selector dinámico 2 necesita un gas vector que permite el transporte del polvo (partículas de biomasa aglomeradas) y el mantenimiento de temperatura de este último.

35 Cuando el reactor 1 que acaba de ser descrito está en posición horizontal en configuración instalada, se realiza una aspiración aguas abajo del reactor 1 con ayuda de un ventilador no representado y a través de un ciclón 3, lo que reduce considerablemente la distribución granulométrica en el interior de la cámara 10 y mejora el rendimiento del reactor. Dicho de otro modo, se puede liberar del primer selector dinámico 2. Esta configuración se representa en la figura 5. Se ha mencionado además en esta figura, partículas de biomasa (harina de biomasa tostada) calibradas a un diámetro de 1 mm.

45 Se han hecho pruebas preliminares, según un análisis ATG (abreviado de análisis termo gravimétrico), en pequeñas partículas para validar la puesta en marcha del reactor 1 según la invención y definir las condiciones de su dimensionamiento. Los resultados obtenidos en madera dura (haya) muestran que el tiempo de permanencia mínimo para tamaños de partículas de 200 µm a una temperatura de 280°C debe ser de 1 mn.

En las figuras 4 y 5, se ha representado una instalación completa de tratamiento de biomasa que integra el reactor 1 según la invención y que permite producir granulados gracias a una prensa para granular.

50 Las dos instalaciones representadas están previstas para tener un consumo energético medio.

55 A excepción del primer selector dinámico 2 que acaba de ser descrito y de la configuración instalada del reactor 1 (posición vertical en la figura 4; posición horizontal en la figura 5) las dos instalaciones comprenden los mismos elementos con las mismas funciones y disposición relativas. También, una sola descripción detallada es hecha por las dos configuraciones distintas.

60 Tal como se ha mencionado, la instalación en la figura 4 está más bien destinada a producir granulados con la prensa 4 a partir de harina de madera tostada cuyas partículas tienen un diámetro inferior a 1 mm, mientras que la instalación en la figura 5 está más bien destinada a producir granulados con la prensa 4 a partir de la harina de biomasa tostada cuyas partículas tienen un diámetro inferior a 1mm.

La biomasa es secada previamente en un secador 5 a una temperatura preferentemente comprendida entre 100 y 125°C. Esta biomasa secada alimenta por gravead el reactor de torrefacción y de trituración según la invención 1, siendo este precalentado.

65 En la posición vertical en configuración instalada del reactor 1 (figura 4), se prevé aguas abajo de ese último un

ciclón 3 en serie con un segundo separador dinámico 30. El ciclón alimenta por una parte, bajo el efecto de la gravedad, la prensa para granular 4 por las partículas trituradas, tostadas y calibradas en la salida del reactor 1 y por otra parte bajo el efecto del torbellino ascendente, una cámara 6 de post-combustión por las partículas más finas (diámetro inferior a 10 µm) en la salida del ciclón 3. Este segundo selector dinámico 30 permite ajustar la cantidad de polvo de biomasa tostada comportada, y preferentemente se instala en la parte alta del ciclón/separador 3. Típicamente, la velocidad de rotación de este segundo separador 30 es del orden de 10000 tr/mn para partículas de 10 µm. Este segundo selector dinámico 30 permite ajustar el PCI (potencia calorífica inferior) del gas de torrefacción por enriquecimiento en sólido tostado antes de alimentar la cámara 6 de post-combustión, más exactamente su quemador 60 y por lo tanto de controlar su temperatura. Esta cámara 6 de post-combustión tiene como función principal la destrucción de los alquitranes generados por la torrefacción (ácido acético, ácido fórmico...).

La cámara de combustión 6 comprende un quemador multicomcombustible 60 que permite hacer una combustión mixta a la vez que los gases de torrefacción en los que las partículas más finas separadas 30 por el ciclón 3 están en suspensión y granulados sólidos. La temperatura de combustión es del orden de 850°C. Como se ha mencionado en las figuras 4 y 5, los granulados sólidos que alimentan el quemador mixto 60 pueden ser tostados o en bruto y de manera ventajosa, se producen por la prensa para granular 4.

En definitiva un intercambiador térmico 7 está dispuesto aguas debajo de la cámara de post-combustión 6. Más exactamente, el circuito de fluido caliente está unido a la salida de la cámara de combustión 6 y el circuito de fluido frío está unido al secador 5 precitado.

Como se ha mencionado en las figuras 4 y 5, el intercambiador térmico puede ser de tipo gas/gas o gas/vapor de agua. Más exactamente incluso, el circuito de fluido caliente está unido por una parte al interior de la cámara 10 del reactor según la invención y por otra parte a las cavidades 17 en las que se alojan las aletas 1600 de intercambio térmico de los caloriductos 16 (figura3).

Así en las instalaciones de tratamiento completo de biomasa que acaban de ser descritas, la energía necesaria en la operación de torrefacción es llevada por dos medios de transferencia térmica distintos: por una parte por conducción térmica por la calandria externa (carcasa 11) del reactor 1 precalentado por el gas producido por la post-combustión en la cámara de combustión 6 y, llegado el caso por el árbol central y los medios trituradores, homogeneizada por los caloriductos (componentes con cambio de fase), y por otra parte por la inyección directa del gas caliente producido por la post-combustión en la cámara 6, en el interior de la cámara 10 de reactor 1. La regulación de la temperatura de los gases se asegura por el intercambio térmico 7, lo que permite con el calentamiento por los caloriductos ajustar de manera muy precisa la temperatura de torrefacción.

Como se ha dicho anteriormente, siguiendo la tecnología de triturador utilizada en el reactor 1 según la invención, se puede considerar hacer aportes de energía complementarios. Por ejemplo, para instalaciones de gran capacidad (caudal superior a 3 t/h), se puede considerar precalentar los martillos.

Aunque no está representado, es considerable desacoplar los aportes de energía. Así, se puede considerar llevar la energía de calentamiento del fluido caloportador para los caloriductos por una combustión de granulados tostados independiente y utilizar la totalidad de la energía de los gases producidos por la post-combustión en la cámara de combustión 6 para realizar el secado en el secador 5.

Según esta alternativa, se puede igualmente obtener un mejor control de la temperatura de torrefacción en el reactor 1, la totalidad de la energía de post-combustión estando dedicada al secado.

Aunque la sola aplicación ilustrada del reactor 1 según la invención sea la realización de granulados de biocombustibles, se puede igualmente considerar otras aplicaciones de producción de biocarburante. En estas últimas aplicaciones, se puede entonces instalar el reactor de torrefacción y de trituración según la invención directamente aguas arriba de una unidad de acondicionamiento/almacenaje del polvo tostado mismo aguas arriba de un reactor de gasificación.

Referencias citadas

- [1] *Torrefaction of Wood*, part1 Weight loss kinetics (Mark J. Prins & al.) marzo de 2006, JAA77 (*Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*), pp 28-34.
 [2] *Heat transfer Handbook* de Adrian Bejan et Alland D. Kraus;
 [3] Caloriducto.- Técnicas del ingeniero [B9 545]

REIVINDICACIONES

1.- Reactor (1) de trituración y de torrefacción de biomasa, que comprende:

5 - una cámara (10) delimitada interiormente por paredes internas (110);

10 - unos medios de trituración dispuestos en el interior de la cámara (10), que comprenden un árbol central rotativo (14) montado en rotación en la cámara (10) y elementos de trituración presentes en dicho árbol central rotativo (14) para triturar contra las paredes internas (110) de la biomasa, preferentemente lignocelulósica, presente en el interior de la cámara (10);

15 - medios de calentamiento (16, 160, 161, 1600, 17) para calentar y mantener por conducción térmica a través de los medios de trituración la biomasa presente en el interior de la cámara (10), a una temperatura predeterminada llamada de torrefacción comprendida entre 200°C y 350°C, con el fin de realizar simultáneamente la trituración y la torrefacción de la biomasa en la cámara (10).

2.- Reactor de trituración y de torrefacción de biomasa según la reivindicación 1, en el que los medios de trituración y las paredes internas de la cámara presentan conductividades térmicas casi idénticas.

20 3.- Reactor de trituración y de torrefacción de biomasa según una de las reivindicaciones precedentes, en el que los medios de calentamiento consisten en elementos caloriductos (16, 160, 161) en contacto físico con al menos una parte de los medios de trituración, por ejemplo:

25 - una pluralidad de elementos caloriductos repartidos uniformemente en la periferia y en contacto físico contra la pared periférica de la cámara en al menos una mayor parte de su longitud; y/o

30 - unos elementos caloriductos en contacto físico con el árbol central rotativo (14), por ejemplo un elemento caloriducto dispuesto en el interior de este último, montado en rotación en la cámara (10) y/o con los elementos de trituración presentes en dicho árbol central rotativo (14).

4.- Reactor de trituración y de torrefacción de biomasa según la reivindicación 3, en el que los elementos caloriductos están cada uno dotados al menos en uno de sus extremos de aletas (1600) para constituir un intercambio térmico entre un gas y el fluido caloportador en el interior de dicho caloriducto.

35 5.- Reactor de trituración y de torrefacción de biomasa según una de las reivindicaciones precedentes, en el que los medios de trituración comprenden:

40 - muescas presentes en el árbol central montado en rotación en la cámara, las muescas estando adaptadas para arrancar las partículas de biomasa contra la pared interna (110) periférica de la cámara (10), llamada carcasa, constituyendo así un triturador de tipo de cuchillas; o

45 - martillos (15) presentes en el árbol central rotativo (14) montado en rotación en la cámara, los martillos estando adaptados para chocar y estallar las partículas de biomasa contra la pared interna periférica de la cámara, llamada carcasa, constituyendo así un triturador de tipo de martillos.

50 6.- Sistema que comprende un reactor de trituración y de torrefacción de biomasa según una de las reivindicaciones precedentes y un primer selector dinámico con velocidad variable inmediatamente aguas abajo del reactor, dicho primer selector dinámico (2) estando adaptado para obtener en la salida del reactor partículas inferiores a un primer diámetro deseado y para reinyectar en el triturador las partículas de diámetro superior al primer diámetro deseado.

55 7.- Procedimiento de puesta en marcha de un reactor según una de las reivindicaciones 1 a 5, o de un sistema según la reivindicación 6, según el cual se precalientan los medios de calentamiento hasta que se alcanza la temperatura predeterminada de torrefacción, comprendida entre 200°C y 350°C, antes de la alimentación del reactor de biomasa secada.

8.- Procedimiento según la reivindicación 7, según el cual la alimentación de biomasa secada es hecha por graveada y/o con una tasa de humedad de esta en una gama de 10 a 15%.

60 9.- Procedimiento según una de las reivindicaciones 7 ó 8, según el cual se inyecta además un flujo de gases llevados a la temperatura predeterminada de torrefacción directamente en la cámara.

65 10.- Instalación de tratamiento de biomasa, preferentemente lignocelulósica, que comprende un sistema según la reivindicación 6, una prensa para granular (4) y además un segundo selector dinámico (30) unido aguas abajo al reactor, y llegado el caso al primer selector dinámico, estando el segundo selector dinámico adaptado para separar partículas en la salida del reactor y teniendo un diámetro inferior al primer diámetro, estas cuyo diámetro es superior a un segundo diámetro deseado, una de las salidas del segundo selector dinámico estando unida a la prensa para

granular (4) para alimentarla de partículas de dimensión comprendida entre el primer y el segundo diámetro, la otra de las salidas (30) del segundo selector dinámico estando adaptada para extraer las partículas de dimensión inferior al segundo diámetro deseado.

5 11.- Instalación de tratamiento de biomasa según la reivindicación 10, que comprende un ciclón (3) dispuesto entre el segundo selector dinámico (30) y la prensa para granular (4).

10 12.- Instalación de tratamiento de biomasa según la reivindicación 10 u 11, en la que la salida del segundo selector dinámico adaptada para extraer las partículas de dimensión inferior al segundo diámetro deseado está unida a una cámara de combustión (6) distinta de la cámara de reactor, adaptada para realizar una post-combustión de los gases procedentes de la torrefacción y de las partículas de dimensión inferior al segundo diámetro a una temperatura predeterminada, llamada de post-combustión, comprendida entre 800 y 1000°C, preferentemente igual a 850°C.

15 13.- Instalación de tratamiento de biomasa según la reivindicación 12, en la que la cámara de combustión (6) comprende al menos un quemador multicombustible (60) para simultáneamente realizar una post-combustión de los gases procedentes de la torrefacción y de las partículas de dimensión inferior al segundo diámetro y combustibles de materia sólida, por ejemplo en la que el quemador multicombustible está unido con la prensa para granular de manera que los combustibles de material sólido con granulados tostados producidos por dicha prensa para granular.

20 14.- Instalación de tratamiento de biomasa según una de las reivindicaciones 12 ó 13, en la que la salida de la cámara de combustión (6) está unida al reactor (1) de manera que calientan los medios de calentamiento para los gases de post-combustión, estando por ejemplo unida a la entrada del reactor de manera que inyectan los gases de post-combustión, a la temperatura de torrefacción, en la cámara de reactor, y/o estando unida a los intercambiadores térmicos constituidos por las aletas de los calorímetros de manera que la energía de calentamiento del fluido caloportador de los calorímetros es llevada por los gases de post-combustión.

25 15.- Instalación de tratamiento de biomasa según una de las reivindicaciones 12 a 14, que comprende además un intercambiador térmico suplementario (7), distinto de los intercambiadores térmicos de los calorímetros, cuyo circuito de fluido caliente está unido a la salida de la cámara de combustión y cuyo circuito de fluido frío está unido a un secador (5) adaptado para secar la biomasa antes de su alimentación en el reactor, de manera que la energía de calentamiento del secador es llevada por los gases de post-combustión.

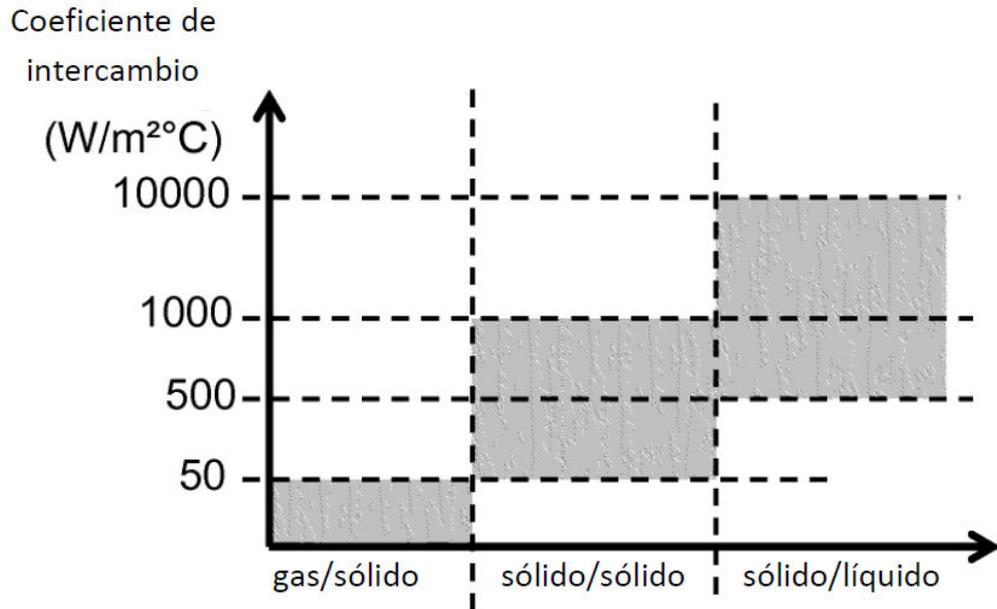


FIG.1

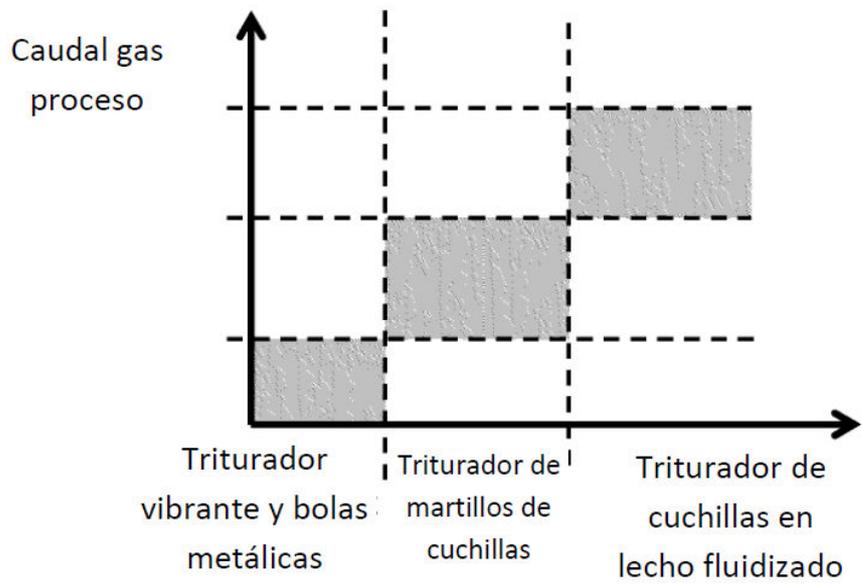


FIG.2

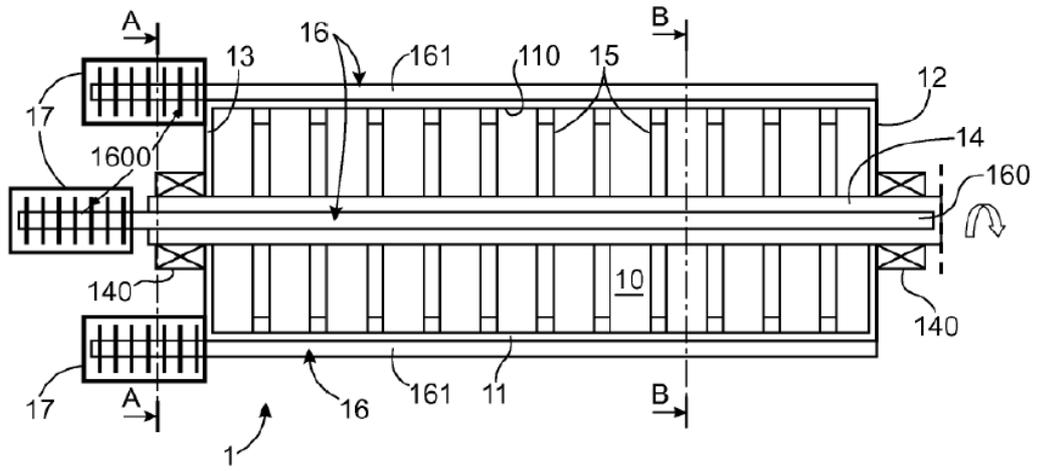


FIG. 3

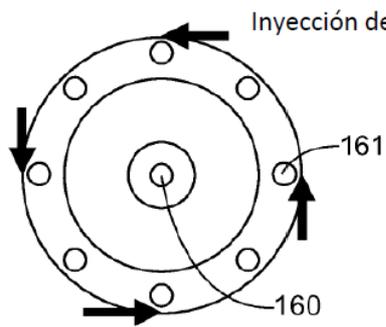


FIG. 3A

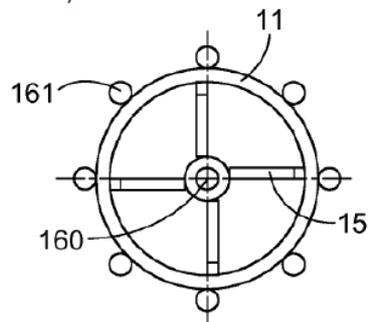


FIG. 3B

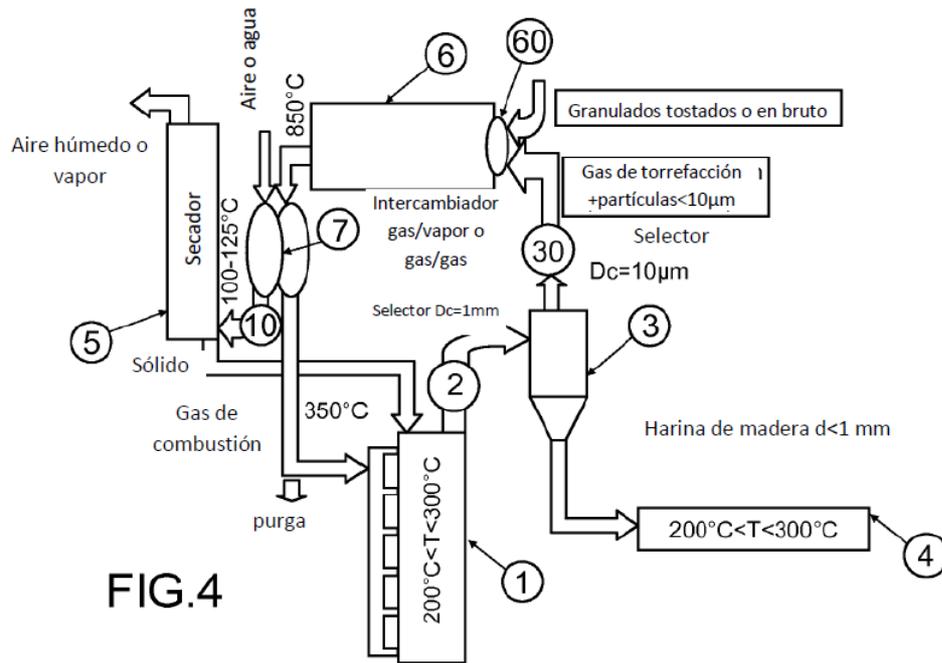


FIG.4

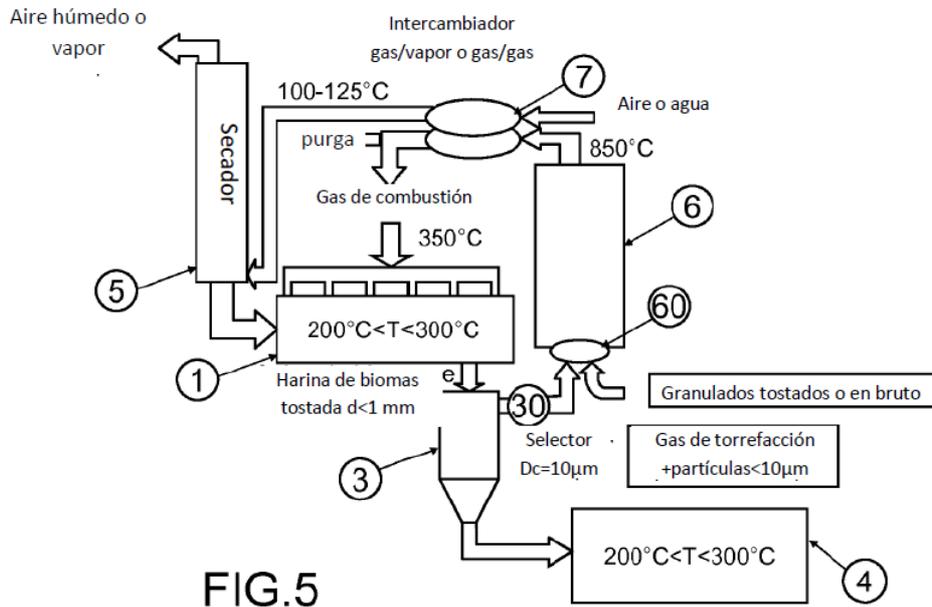


FIG.5