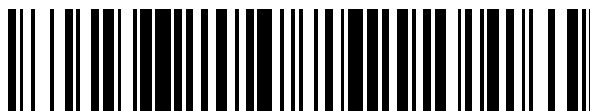


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 688 056**

51 Int. Cl.:

C10B 7/10 (2006.01)

C10C 5/00 (2006.01)

C10B 53/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.05.2010 PCT/EP2010/056051**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.11.2010 WO10128055**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.05.2010 E 10715896 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.07.2018 EP 2427532**

54 Título: **Procedimiento de densificación energética de un producto en forma de sólidos divididos, con vistas a obtener aceites pirolíticos con fines energéticos**

30 Prioridad:

07.05.2009 FR 0902214

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

30.10.2018

73 Titular/es:

**E.T.I.A.-EVALUATION TECHNOLOGIQUE,
INGENIERIE ET APPLICATIONS (100.0%)
Chemin Départemental 200
60201 Compiègne Cedex, FR**

72 Inventor/es:

**LEPEZ, OLIVIER y
SAJET, PHILIPPE**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 688 056 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de densificación energética de un producto en forma de sólidos divididos, con vistas a obtener aceites pirolíticos con fines energéticos

5 La presente invención se refiere a la densificación energética de un producto en forma dividida, en particular, una biomasa, con vistas a obtener aceites pirolíticos con fines energéticos.

10 En cuanto a las biomásas, podrán tratarse de biomásas de origen vegetal o de partes sólidas de lodos de una planta depuradora. También podrá tratarse de desechos industriales, en particular, de desechos poliméricos (materiales plásticos, cauchos, ...).

Antecedentes de la invención

15 Se conocen dispositivos de tratamiento térmico de sólidos divididos, que comprenden al menos un elemento de transferencia que tiene al menos un eje longitudinal y una parte helicoidal montada para girar en torno a dicho eje longitudinal en una envoltura tubular, estando la masa de la parte helicoidal formada por un material eléctricamente conductor y estando conectado a una fuente de alimentación de energía eléctrica para constituir un medio de transferencia de calentamiento. Tal dispositivo se ilustra en los documentos WO-A-99/39549 y FR-A-2 892 888 de la solicitante.

Se conocen como variante unos dispositivos de tratamiento con un tubo vibratorio que también se calienta por efecto Joule, como se ilustra, por ejemplo, en los documentos FR-A-2 788 260 y FR-A-2 788 336.

25 Sin embargo, los dispositivos de este tipo no están adaptados para unos tratamientos a temperaturas que oscilan de 300 °C a 850 °C, como es el caso en el campo de la pirólisis donde se desea maximizar el contenido en fase gaseosa y optimizar así el rendimiento de densificación energética.

30 Para tales aplicaciones, la solicitante ha propuesto perfeccionar el dispositivo mencionado anteriormente, previendo una envoltura tubular cuyas paredes internas son de un material refractario, constituyendo entonces dichas paredes, a su vez, unos medios de calentamiento por radiación de la masa de sólidos divididos que progresa por la envoltura tubular, siendo siempre los tiempos de permanencia contemplados del orden de varias decenas de minutos, concretamente, debido al aumento relativamente lento de la temperatura del producto (del orden de unas decenas de grados por minuto).

35 En todos los casos, los tratamientos conocidos de pirólisis siguen teniendo todavía poco rendimiento operativo y, en particular, no están adaptados para la pirólisis de una biomasa con vistas a obtener aceites pirolíticos con fines energéticos.

40 El dispositivo de los documentos mencionados anteriormente además también se ha utilizado en un tratamiento de pirólisis previsto específicamente en un contexto totalmente distinto, a saber, la producción de ahumados alimentarios, como se describe en el documento WO-A-2004/077966. Tal instalación no presentaría ningún interés en el marco de una aplicación para la densificación energética de una biomasa con vistas a obtener aceites pirolíticos con fines energéticos debido al mal rendimiento de los aceites obtenidos, rendimiento que podría alcanzar como mucho aproximadamente un 40 % de aceites. Además, la potencia eléctrica sirve exclusivamente para calentar el producto a la temperatura de pirólisis, de manera que el coste de producción es muy elevado.

50 Se conocen, además, otras instalaciones de pirólisis que han sido diseñadas para tratar biomásas en lecho fluidificado secándolas con el fin de aumentar su poder calorífico inferior, haciendo pasar a contracorriente una mezcla de aire y arena caliente con el fin de realizar un calentamiento muy rápido de la biomasa. Las condiciones de temperatura de la pirólisis son desde luego favorables para la densificación energética de una biomasa, pero las instalaciones implicadas son extremadamente complejas y, además, no se puede desechar el inconveniente inherente de la presencia de partículas de arena en los aceites pirolíticos obtenidos, lo que implica un filtrado aguas abajo de la instalación.

55 De manera general, actualmente, parece difícil implementar una pirólisis de biomasa con vistas a obtener aceites pirolíticos con fines energéticos que a la vez presente condiciones operativas favorables para tal pirólisis, un buen rendimiento del proceso, es decir, un rendimiento al menos igual a aproximadamente un 65 % de aceites y un coste de producción razonable.

60 Objeto de la invención

65 La invención tiene por objeto proponer un procedimiento de densificación energética de un producto en forma de sólidos divididos, en particular, una biomasa, con vistas a obtener aceites pirolíticos con fines energéticos, que no presenten los inconvenientes mencionados anteriormente, es decir, capaces de implementar a la vez unas condiciones operativas favorables para la pirólisis y obtener un elevado rendimiento del proceso (entre un 50 % y un

80 % de aceites), con unos valores de poder calorífico inferior (P.C.I) tan elevados como sea posible (entre 4000 y 7000 kcal/kg) y esto en unas condiciones óptimas con respecto al consumo de energía, la contaminación y la simplicidad de implementación.

5 Sumario de la invención

El problema técnico mencionado anteriormente se resuelve conforme a la invención gracias a un procedimiento de densificación energética de un producto en forma de sólidos divididos, en particular, una biomasa, con vistas a obtener aceites pirolíticos con fines energéticos que tengan unos valores de poder calorífico inferior comprendidos entre 4000 y 7000 kilocalorías por kilogramo, incluyendo dicho procedimiento las siguientes etapas sucesivas:

- acondicionamiento del producto por calentamiento y secado, con el fin de llevar dicho producto a una temperatura próxima a 100 °C y a una humedad relativa que no supere aproximadamente un 10 % en un dispositivo de acondicionamiento;
- pirólisis del producto que se hace circular, a continuación, por un reactor de pirólisis sustancialmente hermético, cuya entrada está conectada de manera estanca a la salida del dispositivo de acondicionamiento, conteniendo dicho reactor al menos un tornillo transportador o un tubo vibratorio calentado por efecto Joule, calentándose progresivamente dicho producto hasta una temperatura comprendida entre 300 °C y 850 °C con una velocidad de aumento de temperatura de varias centenas de grados por segundo, regulándose la potencia de la corriente eléctrica que atraviesa el tornillo transportador o el tubo vibratorio para asegurar el calentamiento por efecto Joule, en función del producto para mantener el nivel térmico durante el tiempo de permanencia de dicho producto en dicho reactor;
- extracción de los gases de pirólisis por la parte alta del reactor con vistas a su rápida condensación en un condensador vertical; y
- recuperación de los aceites pirolíticos en la parte baja del condensador vertical.

De este modo, gracias al acondicionamiento mencionado anteriormente, idealmente, el producto está preparado para una pirólisis perfectamente adaptada al tratamiento deseado, con un aumento de temperatura que es rápido y a la vez un tiempo de permanencia en el reactor de pirólisis que es relativamente corto, efectuándose el tratamiento térmico naturalmente en ausencia de oxígeno, es decir, con un contenido de oxígeno que permanece inferior a aproximadamente un 5 %. Además, la regulación eléctrica en función del producto implicado, que es simple de implementar, permite minimizar considerablemente el consumo de energía, ya que es suficiente contentarse con mantener el nivel térmico durante el tratamiento.

Se puede prever que el tiempo de permanencia del producto en el reactor de pirólisis esté comprendido entre varios segundos y varias decenas de minutos.

Preferentemente, antes de la etapa de acondicionamiento, el producto en forma de sólidos divididos se almacena con una granulometría comprendida entre 10 µm y 1 mm, preferentemente, entre 100 µm y 300 µm y a una humedad relativa comprendida entre 1 % y 12 %, preferentemente, entre 5 % y 10 %. Gracias a la granulometría fina, se garantiza de este modo que haya una cinética rápida y gracias a una humedad tan baja como sea posible, se garantiza la obtención de aceites ricos en poder calorífico inferior.

También ventajosamente, la extracción de los gases de pirólisis se efectúa en la última parte del reactor con respecto al sentido de circulación del producto, manteniendo la temperatura hasta su llegada al condensador vertical. El que se mantenga la temperatura permite evitar que se los alquitranes contenidos en los gases de pirólisis se condensen demasiado pronto.

Preferentemente, entonces, los gases de pirólisis se enfrían rápidamente en cuanto entran en el condensador vertical, por el paso de dichos gases entre unos tubos por los que circula un fluido refrigerante a una temperatura de aproximadamente 0 °C. En particular, los gases de pirólisis pasan entre un haz de tubos verticales, de manera que el goteo de los condensados realice una limpieza de dichos tubos.

Preferentemente, el procedimiento también incluye la evacuación, por la parte alta del condensador vertical, de unas fracciones no condensables de los gases de pirólisis, con vistas a la combustión rápida de dichas fracciones en un horno de combustión o, como variante, con vistas a su reciclado en un secadero de aire caliente que garantice el acondicionamiento del producto. En particular, la evacuación de las fracciones no condensables se efectúa por extracción forzada, mediante un captador de gotas.

También ventajosamente, el procedimiento incluye asimismo la extracción, en la salida del reactor y en la parte baja del mismo, del coque residual, con vistas al enfriamiento de dicho coque, en ausencia de oxígeno, en un enfriador estanco. En particular, el coque residual se enfría progresivamente en el enfriador estanco, para salir del mismo en forma de biocarbón o producto análogo a una temperatura que no supere aproximadamente los 50 °C. La descripción también divulga una instalación de implementación de un procedimiento de densificación energética de un producto en forma de sólidos divididos, en particular, una biomasa, que presente al menos una de las características mencionadas anteriormente, destacando dicha instalación porque incluye:

- un dispositivo de preacondicionamiento que permite calentar y secar el producto a unos valores prescritos de temperatura y humedad relativa;
- un reactor de pirólisis, cuya entrada está conectada de manera estanca a la salida del dispositivo de preacondicionamiento, estando dicho reactor equipado con al menos un tornillo transportador o un tubo vibratorio calentado por efecto Joule, estando previstos unos medios para regular, en función del producto, la potencia de la corriente eléctrica que atraviesa el tornillo de calentamiento o el tubo vibratorio para garantizar el calentamiento por efecto Joule;
- un condensador vertical, cuya entrada está conectada a una abertura de salida del reactor de pirólisis, que permita condensar las fracciones condensables de una parte de los gases de pirólisis, permitiendo la salida por la parte baja de dicho condensador recuperar los aceites pirolíticos obtenidos.

En un primer modo de ejecución, el dispositivo de preacondicionamiento incluye una piletta de doble envoltura recorrida por un fluido caliente y un tornillo transportador montado para girar dentro de dicha piletta a una velocidad constante y regulada, estando dicha piletta equipada, por la parte alta, con una tolva de alimentación y una salida para la evacuación de los vapores.

En otro modo de ejecución, el dispositivo de preacondicionamiento incluye un secadero de aire caliente equipado con un tapiz de cinta transportadora atravesado por el aire caliente.

También ventajosamente, el reactor de pirólisis incluye un recinto cerrado cuyas paredes son de material refractario. En particular, el recinto cerrado de material refractario está conectado, mediante unas válvulas de esclusa, a la entrada alta del dispositivo de preacondicionamiento y a la salida baja de un enfriador estanco destinado a enfriar en ausencia de oxígeno el coque residual.

El recinto cerrado de material refractario podrá incluir, eventualmente, en la parte alta unos tubos que permitan inyectar un gas de reacción o un gas neutro.

También preferentemente, los dos extremos del tornillo transportador calentado por efecto Joule se disponen en el exterior del recinto cerrado de material refractario, enfriándose dichos extremos antes de conectarse a los medios de alimentación eléctrica asociados de la unidad de generación de potencia eléctrica.

También ventajosamente, la abertura de salida del reactor de pirólisis está conectada al condensador vertical por un conducto asociado equipado por toda su longitud con unos medios, eléctricos o hidráulicos, de conservación de la temperatura.

También resulta interesante prever que el condensador vertical esté equipado interiormente con un haz de tubos verticales por los que circula un fluido refrigerante.

De manera aún más preferente, el condensador vertical presenta en la parte alta una salida para la evacuación de las fracciones no condensables de los gases de pirólisis, estando esta salida conectada por un conducto asociado a un horno de combustión. En particular, el conducto que lleva al horno de combustión incluye un ventilador extractor que funciona con aspiración y está regulado para mantener una presión negativa en el reactor de pirólisis. Por último, el conducto mencionado anteriormente que lleva al horno de combustión puede estar equipado, aguas arriba del ventilador extractor, con un captador de gotas.

Otras características y ventajas de la invención se apreciarán con mayor claridad tras la lectura de la siguiente descripción detallada, con referencia a los dibujos adjuntos, que se refieren a un modo de ejecución particular del procedimiento de la instalación de densificación energética conforme a la invención.

Breve descripción de los dibujos

Se hace referencia a las figuras de los dibujos adjuntos, donde:

- la figura 1 ilustra esquemáticamente una instalación de densificación energética, que implementa el procedimiento de la invención; y
- la figura 2 ilustra una variante de la instalación anterior, que utiliza otro tipo de dispositivo de preacondicionamiento.

Descripción detallada de la invención

La figura 1 ilustra esquemáticamente una instalación (1) que permite tratar un producto en forma de sólidos divididos, en particular, una biomasa, con una densificación energética de este producto con vistas a obtener aceites pirolíticos con fines energéticos.

El producto implicado será, en general, una biomasa, abarcando este término las fracciones biodegradables de productos, los desechos y residuos procedentes de la agricultura, la silvicultura y las industrias relacionadas, en

particular, las biomásas de origen vegetal o unas partes sólidas de los lodos de una planta depuradora, así como, las fracciones biodegradables de los desechos industriales y municipales. La invención podrá aplicarse, no obstante, al tratamiento de otros desechos industriales que no entren dentro de la definición mencionada anteriormente de la biomasa, por ejemplo, desechos poliméricos (materiales plásticos, cauchos, ...).

5 De manera general, los productos implicados son unos sólidos divididos capaces de producir aceites pirolíticos cuando se llevan a temperaturas de 300 °C a 800 °C en ausencia de oxígeno, teniendo estos aceites un contenido energético o químico susceptible de revalorizarse.

10 En primer lugar, el producto a tratar, denotado (P), se introduce en un dispositivo de preacondicionamiento (10) que permite calentar y secar el producto a unos valores prescritos de temperatura y humedad relativa.

15 El dispositivo de preacondicionamiento (10) incluye una pileta de doble envoltura (11) recorrida por un fluido caliente, teniendo el circuito hidráulico asociado una entrada (18) y una salida (19). Se monta un tornillo transportador (12) para que gire en la pileta de doble envoltura (11), siendo arrastrado por una motorización exterior (13) asociada. La pileta de doble envoltura (11) presenta una entrada (14) conectada a una tolva de alimentación (15). El producto (P) se carga y almacena en esta tolva (15), que podrá estar provista de un sensor de nivel (alto y bajo) y de un sistema anti-bóvedas mecánico con el fin de evitar el ataluzado y los fenómenos de abovedado que impedirían la evacuación del producto.

20 De manera importante, el producto (P) almacenado se seleccionará para que presente una granulometría pequeña, comprendida entre 10 µm y 1 mm y, preferentemente, entre 100 µm y 300 µm y una humedad relativa igualmente baja, comprendida entre 1 % y 12 %, preferentemente, entre 5 % y 10 %.

25 La elección de estos criterios de granulometría y de humedad garantiza que el producto esté idealmente condicionado con vistas a una pirólisis tan rápida como sea posible.

30 El tornillo dosificador (12) del dispositivo de preacondicionamiento (10), del tipo de doble envoltura recorrida por un fluido caliente, permite asegurar a la vez el transporte a una velocidad constante y regulada por el reactor de pirólisis (20) que está conectado aguas abajo a dicho dispositivo de preacondicionamiento, esto gracias a un variador de frecuencia, así como un calentamiento y un secado del producto que están garantizados por el paso del fluido por la doble envoltura.

35 Gracias a este dispositivo de preacondicionamiento, el producto se lleva a una temperatura próxima a los 100 °C, con una humedad relativa que no supera aproximadamente el 10 %, lo que permite que el producto entre ya caliente en el reactor de pirólisis, favoreciendo así enormemente el aumento de temperatura de dicho producto. En efecto, hay que recordar que la velocidad de aumento de la temperatura es esencial durante la reacción de pirólisis para aumentar el contenido de aceites producidos y esta velocidad se verá aún más favorecida si el producto está caliente y seco, con unos valores de varias centenas de grados por segundo.

40 La pileta de doble envoltura (11) está equipada, asimismo, por la parte alta, con una salida (17) que permite la evacuación de los vapores, pudiendo estar equipada esta salida con un extractor de tipo ventilador, no representado en el presente documento.

45 No obstante, es necesario vigilar que la temperatura del producto en la pileta de doble envoltura (11) no sea demasiado elevada, con el fin de que la reacción de transformación del material no arranque prematuramente en esta zona de la instalación, antes de que este penetre en el reactor de pirólisis. El producto que entra en el reactor de pirólisis estará, por tanto, a una temperatura de aproximadamente 100 °C y a una humedad relativa que no exceda aproximadamente un 10 % y, preferentemente, comprendida entre un 5 % y un 7 %.

50 El producto así calentado y secado en el dispositivo de preacondicionamiento (10) sale de dicho dispositivo por una salida (16) para penetrar en un reactor de pirólisis (20), cuya entrada está conectada de manera estanca con la salida del dispositivo de preacondicionamiento (10). La estanqueidad está garantizada, en este caso, por una válvula de esclusa (23).

55 El reactor de pirólisis (20) está equipado al menos con un tornillo transportador (22) calentado por efecto Joule, garantizando a la vez dicho tornillo el traslado y el calentamiento del producto que circula por dicho reactor. El reactor de pirólisis (20) incluye un recinto cerrado (21), cuyas paredes son, preferentemente, de un material refractario.

60 El tornillo transportador (22), en este caso único, calentado por efecto Joule arrastra así el producto de la parte aguas arriba hacia la parte aguas abajo, estando las condiciones de pirólisis aparejadas a la vez a un nivel de temperatura comprendido entre 300 °C y 850 °C y a un tiempo de permanencia en el reactor, en función del producto, que estará comprendido, en particular, entre unos segundos y unas decenas de minutos.

65

Se sabe que la rapidez de la pirólisis favorece, por degradación de la lignina contenida en la biomasa, la formación de grupos fenólicos de alto peso molecular (al menos 300 Dalton) correspondientes al mismo tiempo a unas moléculas de mayor poder calorífico inferior que es lo que se busca en esta aplicación. A la inversa, un aumento lento de temperatura, de unos grados por segundo y, por tanto, un tiempo de permanencia relativamente largo del producto en el reactor de pirólisis podría favorecer la formación de ácido acético, lo que podría contribuir a modificar la degradación de la lignina en grupos fenólicos de menor peso molecular (inferior a 300 Dalton), de poder calorífico inferior menos elevado, pero con una potencia aromática más interesante, lo que explica la elección de este tipo de condiciones operativas durante la producción de aromas de ahumados (ahumados líquidos) por pirólisis lenta de virutas de madera, como se recuerda más arriba.

De este modo, en el marco de esta pirólisis, el producto se calienta progresivamente hasta una temperatura comprendida entre 300 °C y 850 °C, con un tiempo de permanencia en el reactor de pirólisis (20) comprendido, por ejemplo, entre varios segundos y varias decenas de minutos.

Los dos extremos (27) del tornillo calentador (22) se prolongan por el exterior del recinto cerrado (21) de material refractario y estos extremos se enfrían antes de conectarse a los medios de alimentación eléctrica asociados al nivel de los bloques (28) representados esquemáticamente en el presente documento. Los dos extremos del eje de la espiral que atraviesa las paredes refractarias se calientan así antes de conectarse, cada uno, a unos medios de conexión a los bornes de un generador de corriente eléctrica. Como se debe llevar la temperatura del eje por debajo de 100 °C, preferentemente, se utilizará una serie de aletas de enfriamiento con aire fijadas sobre el eje o unos medios de enfriamiento por fluido líquido. En cuanto a los dos extremos del eje de la espiral sin alma, están conectados a un conjunto de escobilla y porta escobillas que permite la conexión a las dos polaridades de una corriente eléctrica, alterna o rectificada, de baja tensión y gran intensidad. La potencia de la corriente que atraviesa las espirales estará graduada por un graduador electrónico con tiristor en función de la temperatura deseada y programada en las espirales. Uno de los extremos del eje del tornillo calentador (22) está así conectado a un conjunto moto-reductor y motor, esquematizado en el presente documento con la referencia (26), controlado por un variador de frecuencia, con el fin de ajustar la velocidad de rotación del tornillo en función del tiempo de permanencia deseado y programado para el producto.

De conformidad con una característica del procedimiento de la invención, la potencia eléctrica que garantiza el calentamiento por efecto Joule se regula en función del producto, para mantener el nivel térmico deseado durante la totalidad del tiempo de permanencia del producto en el reactor (20) y también para alcanzar un umbral de autotermicidad.

Tal regulación eléctrica es muy simple de implementar con unos sensores de temperatura y permite minimizar el consumo energético, ya que es suficiente contentarse con mantener el nivel térmico durante el tratamiento.

De este modo, una unidad de potencia eléctrica, representada en el presente documento por un armario (100), conectado a los diferentes elementos de control y a los diferentes sensores, permite garantizar el control del conjunto. En el presente documento se ha ilustrado esquemáticamente, con trazos mixtos, dos de estas conexiones, denotadas 101, 102. Se dispondrán dos sensores de temperatura a lo largo del recinto de material (21) refractario, con el fin de medir la temperatura que predomina en el interior de dicho recinto por toda la longitud del mismo. En el presente documento se han representado dos de estos sensores (25), que sirven para medir la temperatura del "techo" del recinto. El recinto cerrado (21) de material refractario también incluye en el presente documento, por la parte alta, unos tubos (29) que permiten inyectar un gas de reacción o un gas neutro tal como el nitrógeno, en caso de que se supere un valor predeterminado, estando el dispositivo de seguridad de inyección de gas conectado a la medición de temperatura del techo del horno. También se preverá, en general, un dispositivo de medición de temperatura del producto a lo largo de su progresión por dentro del horno, con el fin de grabar los perfiles de temperatura en el transcurso de la reacción de pirólisis, así como un dispositivo de medición de temperatura de las espirales, dado que es esta la que garantiza la regulación de la potencia eléctrica y, por lo tanto, de calentamiento de las espirales en función de un valor predeterminado y parametrizado.

El recinto cerrado (21) que está constituido, con su cobertura, de material refractario (por ejemplo, cemento refractario o cerámica refractaria), permite obtener un calentamiento óptimo del producto por parte del tornillo calentador (22) a una temperatura tal que el efecto de retorno del calentamiento del material refractario sobre el producto por convección y por radiación contribuya, complementando el calentamiento directo del producto por el propio tornillo, a un calentamiento inmediato, rápido e intenso de las partículas de biomasa.

El arranque de la instalación, preferentemente, se realizará sin precalentamiento del horno, a fin de evitar los riesgos de inflamación de la biomasa dividida y ya caliente cuando se introduce en el horno. El calentamiento del horno se hace cuando el producto empieza a circular por el mismo, de manera que se produzca un empobrecimiento de oxígeno del aire ambiente en el interior del horno a medida que la temperatura surte efecto sobre la biomasa y empieza su descomposición térmica. El empobrecimiento de oxígeno en la atmósfera del horno, hasta una tasa residual de aproximadamente un 5 %, permite obtener unas condiciones de total seguridad para la pirólisis de la biomasa. Estas condiciones son también favorables para la formación preponderante de aceites pirolíticos de gran poder calorífico inferior.

De conformidad con otra característica del procedimiento de la invención, se ha previsto una extracción de los gases de pirólisis por la parte alta del reactor (20) de pirólisis, con vistas a su rápida condensación en un condensador vertical (30).

5 La expresión "gases de pirólisis" utilizada en el presente documento engloba naturalmente como todo el mundo sabe una mezcla mixta de aceites, agua y gases no condensables.

10 Por lo tanto, se ha previsto un condensador vertical (30), cuya entrada está conectada a una abertura de salida (31) del reactor de pirólisis (20), permitiendo este condensador vertical condensar las fracciones condensables de una parte de los gases de pirólisis, presentando dicho condensador una salida (35) por la parte baja que permita recuperar los aceites pirólicicos obtenidos. La abertura de salida (31) del reactor de pirólisis (20), preferentemente, estará posicionada, por la parte lateral, en la última parte del reactor de pirólisis (20).

15 Además, resulta interesante que la extracción de los gases de pirólisis se efectúe manteniendo la temperatura hasta su llegada al condensador vertical (30). En efecto, mantener los gases de pirólisis a una temperatura al menos equivalente a la que impera en el techo del horno permite evitar cualquier riesgo de condensación prematura de los aceites. La distancia entre la salida de los gases del horno y la entrada del condensador vertical debe ser asimismo lo más corta posible, con el fin de evitar la acumulación de polvo en esta zona, lo que podría conllevar la formación depósitos y el estrechamiento del diámetro de la abertura (31). La conexión entre el reactor de pirólisis (20) y el condensador vertical (30) está garantizada, en este caso concreto, por un conducto asociado (32) equipado por toda su longitud con unos medios (33), eléctricos o hidráulicos, de conservación de la temperatura. Estos medios (33) pueden ser un trazado eléctrico o un aislamiento de fluido que garantice que se conserve la temperatura deseada. De este modo se garantiza que se evita una condensación prematura de los aceites que generan alquitranes.

25 Esta parte de los gases de pirólisis se enfría rápidamente en cuanto entran en el condensador vertical (30) por el paso de dichos gases entre unos tubos (34) por los que circula un fluido refrigerante, por ejemplo, a una temperatura de aproximadamente 0 °C. La entrada del circuito de fluido refrigerante está denotada (34.2) y la salida (34.1). Preferentemente, la parte implicada de los gases de pirólisis entra directamente por la parte baja y lateral del condensador vertical (30).

30 Entonces resulta particularmente interesante que el condensador vertical (30) esté equipado con un haz de tubos verticales (34), de manera que el goteo de los condensados realice una limpieza de dichos tubos.

35 El enfriamiento rápido de los humos es, en efecto, muy importante para realizar una condensación rápida. Con este fin, la disposición vertical del condensador es así interesante ya que tiene la ventaja de la autolimpieza de los tubos por el goteo de los condensados, condensándose las fases líquidas de poca viscosidad a menor temperatura y, por lo tanto, en la parte superior de los tubos, limpiando y disolviendo las moléculas más pesadas de mayor viscosidad y que se han condensado en la parte baja de los tubos. En la parte baja del condensador vertical (30), se encuentran las fracciones pesadas que se condensan rápidamente a altas temperaturas.

40 Se entenderá que la condensación rápida de esta parte de los gases de pirólisis es importante con objeto de evitar su recombinación.

45 En paralelo a la condensación de las fracciones condensables de los gases de pirólisis con vistas a la recuperación de los aceites pirólicicos obtenidos, se ha previsto una evacuación de las fracciones no condensables (constituidas por gases y eventualmente gotas de aceite) al nivel de una salida alta (37) del condensador vertical (30). Esta salida (37) está conectada por un conducto asociado (38) a un horno de combustión (36). El conducto (38), que ventajosamente sale lateralmente y por la parte superior del condensador (30), permite así evacuar las fracciones no condensables de los humos, pudiendo representar estas fracciones entre un 5 y un 15 % en masa del caudal de biomasa tratada. El conducto (38) que lleva al horno de combustión (36) incluye un ventilador extractor (38.1) que funciona en aspiración y está regulado para mantener una presión negativa en el reactor de pirólisis (20). Esto permite realizar una extracción forzada de las fracciones no condensables de los humos. Eventualmente se podría prever, aguas arriba del ventilador extractor (38.1), un captador de gotas (39) que permita captar las vesículas de aceite que no se hayan condensado. Este captador de gotas (39) permite de este modo eliminar y recoger al máximo las vesículas o gotitas de aceite que eventualmente estén todavía presentes. El captador de gotas (39) presenta para tal efecto en el presente documento una salida (39.1) que permite recoger las vesículas o gotitas de aceite. A la salida del ventilador extractor (38.1), los gases se envían al horno de combustión (36), en el que se mantiene la combustión mediante unos quemadores (36.1) de gas, fueloil o biomasa, que permiten la combustión completa de los gases del proceso. La evacuación de los humos de combustión se hace por una salida alta a través de una chimenea de evacuación (36.2) del hogar.

60 Las condiciones que hay que retener para garantizar la combustión completa de los gases, así como su desodorización son a la vez una temperatura de tratamiento del orden de 850 °C y un tiempo de permanencia en el horno de combustión del orden de 2 segundos.

65

- 5 En la parte baja del condensador vertical (30), se podría instalar un manguito equipado con una válvula (no representada en el presente documento), conectada a una cuba de recuperación de los aceites pirolíticos, lo que en este caso se ha esquematizado mediante un circuito (35.1). Ventajosamente, la parte baja del condensador vertical (30) dispondrá de un volumen muerto que permita la retención de los aceites durante el tiempo de carga, que se opera después del cierre de la válvula de aislamiento de la cuba. La temperatura de los aceites así recuperados y almacenados en unos bidones (B) se situará entre 40 °C y 80 °C. En la práctica, antes del acondicionamiento final de los aceites en bidones (B), se procederá a un filtrado de estos aceites a través de un filtro (no representado en el presente documento) de aproximadamente 5 micrómetros.
- 10 El condensador vertical (30) podrá estar equipado con un sistema de pulverización (no representado en el presente documento) para garantizar por medio de un fluido líquido, la limpieza de los tubos. Este fluido de limpieza podrá ser agua con sosa añadida para un ciclo de limpieza distinto de la fase de producción. En otro modo de funcionamiento, se podrá elegir la opción de pulverizar directamente una parte de los aceites condensados y fríos. Esta operación podrá efectuarse entonces ininterrumpidamente durante la fase de producción.
- 15 Además, se ha previsto una salida de los productos procedentes de la pirólisis, que han permanecido en forma sólida, en general, en forma de coque (o residuo carbonoso) residual.
- 20 En este caso concreto, se ha previsto una salida (24) del reactor de pirólisis (20) conectada, mediante una válvula de esclusa (42), a la entrada (41) de un enfriador estanco (50).
- 25 El enfriador estanco (40) está equipado interiormente con un tornillo de doble envoltura (45), guarnecido exteriormente con aletas de transferencia (45.1), siendo este tornillo de doble envoltura arrastrado en rotación por un motor exterior (46), con un paso de fluido (agua o aceite a presión) que permite un enfriamiento rápido (en unos minutos) del coque. El circuito de fluido refrigerante asociado está ilustrado esquemáticamente con unas entradas (48) y (48.1) y una salida (49). En cuanto a los gases, estos se escapan por una salida aguas abajo (47). Preferentemente, las entradas (48) y (48.1) están conectadas directamente a la salida (34.1) del condensador vertical (30) y, preferentemente, la salida (47) está conectada, mediante una unidad de enfriamiento (no representada en la figura 1), en la entrada (34.2) del condensador vertical (30).
- 30 Esto permite enfriar así el coque residual, en ausencia de oxígeno, hasta una temperatura que no supera los 50 °C, lo que permite evacuar el coque hacia el exterior con total seguridad. La evacuación se hace por una salida baja (43) del enfriador estanco (40), mediante una válvula de esclusa (44), para producir un montón residual recuperable (50) de biocarbón o de un producto análogo. A modo indicativo, la proporción de coque representará aproximadamente de un 1 a un 25 % en masa de la biomasa tratada.
- 35 La estanqueidad entre los gases contenidos en el proceso y el aire exterior está así perfectamente asegurada por las válvulas de esclusa (42 y 44), lo que garantiza la estanqueidad necesaria para la seguridad, evitando la presencia de oxígeno lo que podría provocar una explosión.
- 40 La figura 2 ilustra una variante de la instalación de la figura 1, en la que el dispositivo de preacondicionamiento (60) incluye un secadero de aire caliente (61) equipado con un tapiz de cinta transportadora (62) atravesado por el aire caliente.
- 45 La salida (16) de la piletta de alimentación (11) desemboca en la entrada del recinto del secadero de aire caliente (61), que está equipado con un tapiz (62) de cinta transportadora cuya longitud será en función de la capacidad de tratamiento del procedimiento. El tapiz (62), en el presente documento dispuesto en dos pisos superpuestos, es de mallas abiertas (por ejemplo, mallas de 2 a 5 mm) para permitir el paso de aire caliente que sirve para calentar y secar el producto a tratar. El aire caliente, emitido por una unidad de soplado (63), está a una temperatura de aproximadamente 140 °C y atraviesa entonces sucesivamente los dos pisos del tapiz, cargándose así de la humedad contenida en el producto. Una salida (64) por la parte alta del recinto del secadero (61) permite evacuar este aire caliente cargado de humedad hacia un ciclón (65), estando la extracción garantizada por un ventilador extractor (66).
- 50 A la salida del secadero de aire caliente (61), el producto pasa sobre un tapiz transportador para llegar a una tolva (67) cuya salida (68) llega a la entrada de la válvula de esclusa (23) de la instalación de la figura 1.
- 55 Además se ha previsto un reciclaje de los gases no condensables que salen del condensador vertical (30) por el circuito (38), mediante el captador de gotas (39) y el ventilador extractor (38.1), directamente en la entrada de la unidad de soplado (63): estos gases no condensables se revalorizan así al utilizarse como combustible conexo del quemador de la unidad de soplado de aire caliente, quemador que ya se alimenta con combustible (gas o fueloil) y aire mediante unas fuentes asociadas (70,71).
- 60 La figura 2 permite, además, distinguir mejor los circuitos de fluido y gas asociados al condensador vertical (30) y al enfriador estanco (40), con su unidad de enfriamiento o grupo frío (80).
- 65

5 Así se llega a realizar un procedimiento y una instalación de densificación energética de biomasa u otros desechos, con vistas a obtener aceites pirolíticos con fines energéticos, que permiten a la vez implementar las condiciones de una pirólisis muy rápida y tener un rendimiento elevado para la obtención de aceites pirolíticos, en particular, un rendimiento que actualmente alcanza de un 60 a un 75 % de aceites y con un nivel elevado de poder calorífico inferior (entre 4000 y 7000 kcal/kg) todo ello a pesar de un débil volumen, que sea competitivo y con un coste de producción muy razonable (gracias a la regulación eléctrica). Entonces se podrá tratar aproximadamente una tonelada de producto por hora.

10 Además, la instalación general tiene una estructura relativamente simple, en la medida en la que se conoce aisladamente la estructura general de sus componentes y se evitan también los inconvenientes mencionados anteriormente de ciertas técnicas anteriores de pirólisis que utilizan corrientes de aire y de arena caliente.

15 En la práctica, las biomásas implicadas se seleccionarán en función de los aceites pirolíticos que se deseen obtener, siendo las especificaciones de estos aceites decisivas para su posterior aplicación, calentar, alimentar motores térmicos, la química ecológica o fraccionar, etc.

El procedimiento de la invención permite así abrir la vía a un desarrollo cuyas perspectivas son muy interesantes en el marco de las energías renovables y de los biocarburantes.

20 La invención no está limitada al modo de realización que se acaba de describir, sino que, al contrario, engloba cualquier variante que retome, con medios equivalentes, las características enunciadas anteriormente.

25 De este modo, por ejemplo, se podrá prever un grupo electrógeno para garantizar la alimentación eléctrica del tornillo calentador, alimentado a su vez por la biomasa o bien por medio de paneles solares (una interesante autoalimentación en lugares aislados o desérticos).

30 También se podría sustituir el tornillo calentador por un tubo vibratorio, también calentado por efecto Joule, efectuándose entonces el traslado del producto en un tubo helicoidal de eje vertical (variante no ilustrada en el presente documento).

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de densificación energética de un producto en forma de sólidos divididos, en particular, una biomasa, con vistas a obtener aceites pirolíticos con fines energéticos que tengan unos valores de poder calorífico inferior comprendidos entre 4000 y 7000 kilocalorías por kilogramo, caracterizado por que incluye las siguientes etapas sucesivas:
- preacondicionamiento del producto (P) por calentamiento y secado, con el fin de llevar dicho producto a una temperatura próxima a 100 °C y a una humedad relativa que no supere aproximadamente un 10 % en un dispositivo de preacondicionamiento (10);
 - pirólisis del producto que se hace circular, a continuación, por un reactor de pirólisis sustancialmente hermético (20), cuya entrada está conectada de manera estanca a la salida del dispositivo de preacondicionamiento, conteniendo dicho reactor al menos un tornillo transportador o un tubo vibratorio (22) calentado por efecto Joule, calentándose progresivamente dicho producto hasta una temperatura comprendida entre 300 °C y 850 °C con una velocidad de aumento de temperatura de varias centenas de grados por segundo, regulándose la potencia de la corriente eléctrica que atraviesa el tornillo transportador o el tubo vibratorio (22) para asegurar el calentamiento por efecto Joule, en función del producto para mantener el nivel térmico durante el tiempo de permanencia de dicho producto en dicho reactor;
 - extracción de los gases de pirólisis por la parte alta del reactor (20) con vistas a su rápida condensación en un condensador vertical (30); y
 - recuperación de los aceites pirolíticos en la parte baja del condensador vertical (30).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que el tiempo de permanencia del producto en el reactor de pirólisis (20) está comprendido entre unos segundos y unas decenas de minutos.
3. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que, antes de la etapa de preacondicionamiento, el producto en forma de sólidos divididos (P) se almacena con una granulometría comprendida entre 10 µm y 1 mm, preferentemente, entre 100 µm y 300 µm y a una humedad relativa comprendida entre 1 % y 12 %, preferentemente, entre 5 % y 10 %.
4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que la extracción de los gases de pirólisis se efectúa en la última parte del reactor (20) con respecto al sentido de circulación del producto (P), manteniendo la temperatura hasta su llegada al condensador vertical (30).
5. Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado por que los gases de pirólisis se enfrían rápidamente en cuanto entran en el condensador vertical (30), mediante el paso de dichos gases entre unos tubos (34) por los que circula un fluido refrigerante a una temperatura de aproximadamente 0 °C.
6. Procedimiento según la reivindicación 5, caracterizado por que los gases de pirólisis pasan entre un haz de tubos verticales (34), de manera que el goteo de los condensados realice una limpieza de dichos tubos.
7. Procedimiento según la reivindicación 5, caracterizado por que incluye la evacuación, por la parte alta del condensador vertical (30), de unas fracciones no condensables de los gases de pirólisis, con vistas a la combustión rápida de dichas fracciones en un horno de combustión (36), o con vistas a su reciclado en secadero de aire caliente (61) que garantiza el preacondicionamiento del producto.
8. Procedimiento según la reivindicación 7, caracterizado por que la evacuación de las fracciones no condensables se efectúa por extracción forzada, mediante un captador de gotas (39).
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por que también incluye la extracción, a la salida del reactor (20) y por la parte baja del mismo, del coque residual, con vistas al enfriamiento de dicho coque, en ausencia de oxígeno, en un enfriador estanco (40).
10. Procedimiento según la reivindicación 9, caracterizado por que el coque residual se enfría progresivamente en el enfriador estanco (40), para salir del mismo en forma de biocarbón o análogo a una temperatura que no supere aproximadamente 50 °C.

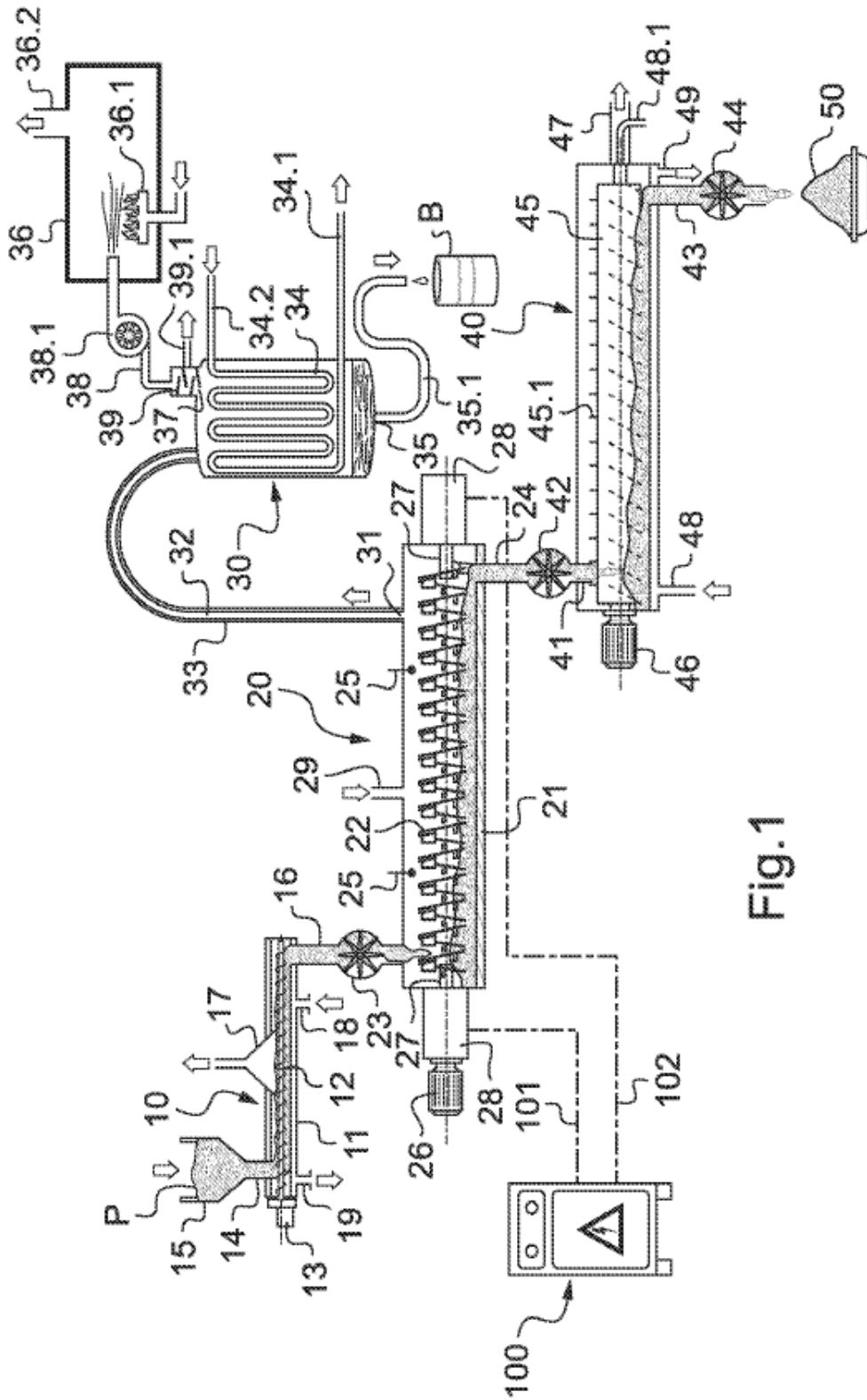


Fig.1

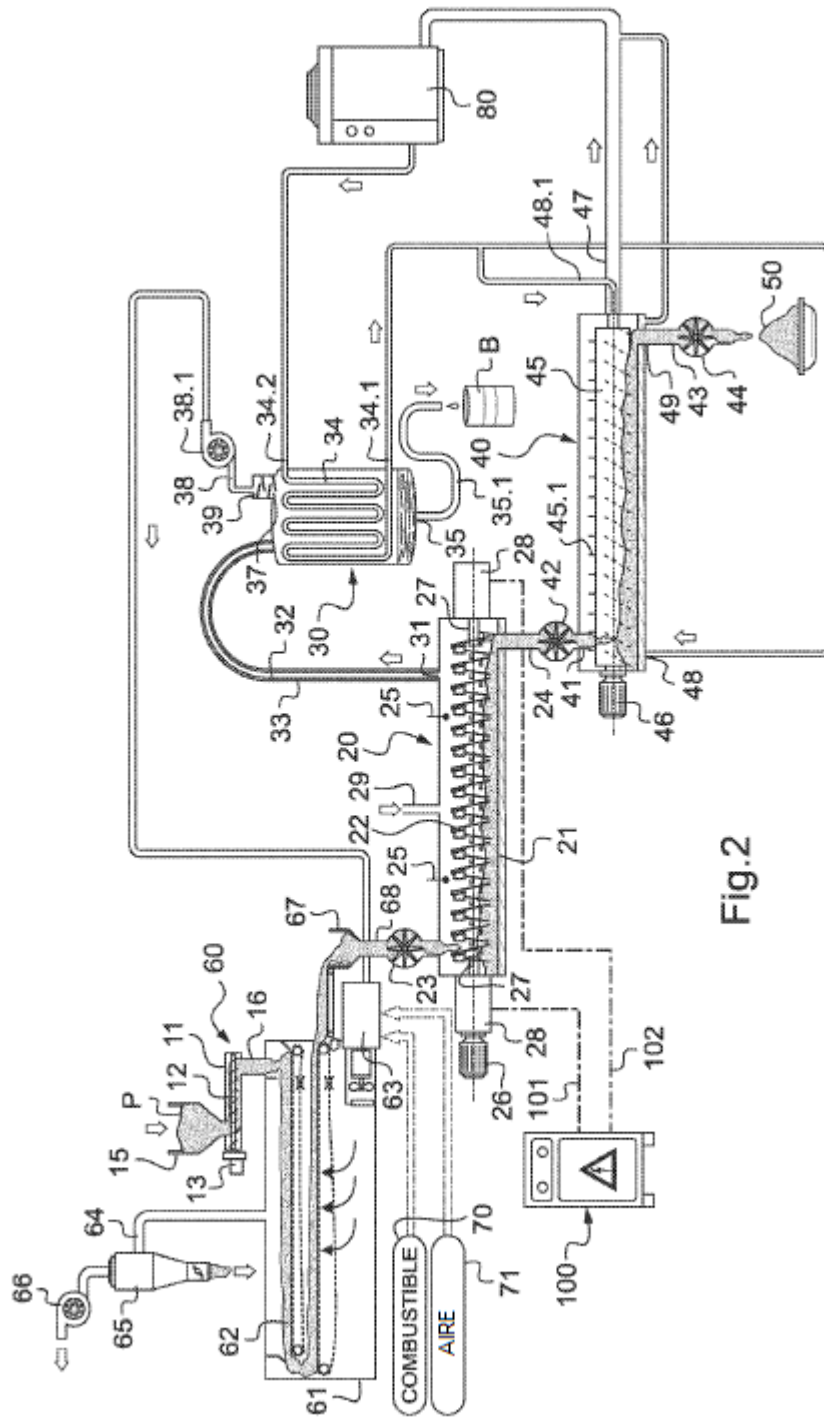


Fig.2