

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad Intelectual
Oficina internacional

(43) Fecha de publicación internacional
27 de septiembre de 2012
(27.09.2012)



(10) Número de Publicación Internacional
WO 2012/127084 A1

- (51) Clasificación Internacional de Patentes:
C10B 47/44 (2006.01) *C10B 53/02* (2006.01)
- (21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES2012/070145
- (22) Fecha de presentación internacional:
7 de marzo de 2012 (07.03.2012)
- (25) Idioma de presentación: español
- (26) Idioma de publicación: español
- (30) Datos relativos a la prioridad:
P201130430 24 de marzo de 2011 (24.03.2011) ES
- (71) Solicitante (para todos los Estados designados salvo US):
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CSIC) [ES/ES]; Serrano, 117, E-28006 Madrid (ES).
- (72) Inventores; e
- (75) Inventores/Solicitantes (para US solamente): **MURILLO VILLUENDAS, Ramón** [ES/ES]; Instituto de Carboquímica, Miguel Luesma Castán, 4, E-50015 Zaragoza (ES). **GARCÍA MARTÍNEZ, Tomás** [ES/ES]; Instituto de Carboquímica, Miguel Luesma Castán, 4, E-50015 Zaragoza (ES).
- (74) Mandatario: **UNGRIA LÓPEZ, Javier**; Avenida Ramón y Cajal, 78, E-28043 Madrid (ES).
- (81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europea (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: MACHINE BASED ON A SOLIDS CONVEYOR AND USE THEREOF

(54) Título : APARATO BASADO EN UN TRANSPORTADOR DE SÓLIDOS Y SU USO

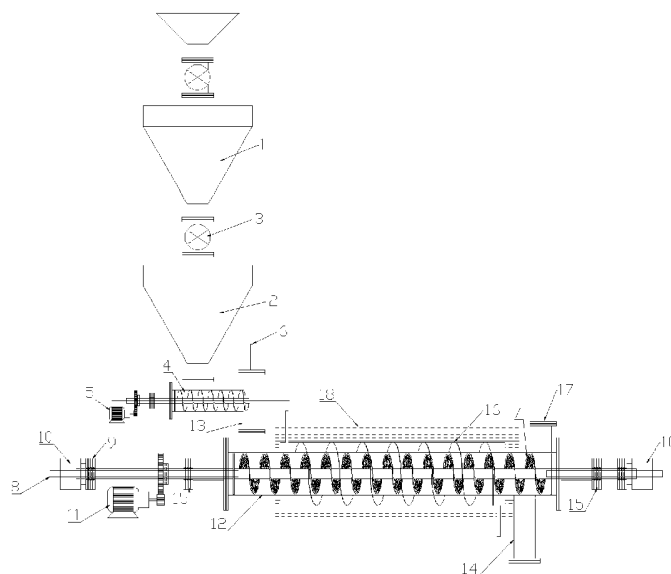


Figura 1

(57) Abstract: The invention relates to a machine based on a solids conveyor for carrying out physical and chemical processes in which a least one solid is used, characterised in that it comprises the following elements: a) a mobile bed, b) a gas inlet, c) an endless screw comprising (i) a central axle, (ii) vanes or a spiral and (iii) a plate in the form of a circular crown welded on both ends of the screw in order to avoid the potential passage of solid material to the closed areas of same, d) a system that prevents the escape of gas or heat-transfer fluid to the outside, e) an electric motor provided with a reducer and a frequency variator that moves the screw, f) an inner housing that surrounds said screw, and g) an outer housing that surrounds said screw and the inner housing, is used as a roof for the helical channel, and thermally insulates the group formed by the endless screw, the inner housing and the helical channel, from the outside.

(57) Resumen: Aparato basado en un transportador de sólidos para llevar a cabo procesos físicos o químicos en los que interviene al menos un sólido, caracterizado porque comprende

[Continúa en la página siguiente]

WO 2012/127084 A1

Publicada:

— *con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))*

los siguientes elementos: a) un lecho móvil, b) una entrada de gas, c) un tornillo sinfín que comprende (i) un eje central, (ii) unos álabes o espiral y (iii) una placa en forma de corona circular soldada en ambos extremos del tornillo para evitar el posible paso de material sólido hacia las zonas de cierre del mismo, d) un sistema que evita el escape de gas o fluido térmico hacia el exterior, e) un motor eléctrico dotado de un reductor y un variador de frecuencia que mueve el tornillo, f) una carcasa interior que envuelve dicho tornillo, y g) una carcasa exterior que envuelve dicho tornillo y la carcasa interior, y que sirve de techo para el canal helicoidal y aísla térmicamente el conjunto formado por el tornillo sinfín, la carcasa interior y el canal helicoidal, del exterior.

APARATO BASADO EN UN TRANSPORTADOR DE SÓLIDOS Y SU USO

Sector de la técnica

Los sectores productivos en los que se puede aplicar la siguiente invención se enmarcan en las áreas de agricultura, madera, industria química así como de producción de energía. Entre ellos destacan las empresas que trabajen en reciclaje de residuos agrícolas y forestales, en la síntesis de productos tales como bioaceites, polímeros y materias plásticas y en la producción de energía eléctrica o térmica de fuente renovable.

Estado de la técnica

El desarrollo de diferentes procesos químicos para el procesado de biomasa está adquiriendo una gran relevancia en los últimos años, ya que supone una oportunidad de obtener productos químicos y combustibles líquidos a partir de una fuente de energía renovable. Además, la explotación de este tipo de fuentes de energía disponibles a nivel regional, favorece tanto la independencia energética, como la producción de energía de forma deslocalizada.

Respecto a los distintos procesos de producción, conviene mencionar que aunque los procesos de producción de biocombustibles líquidos de primera generación se encuentran disponibles a nivel comercial, el alto coste y bajo beneficio que ha demostrado tener el proceso de producción, junto con las emisiones contaminantes generadas, está derivando el interés hacia el desarrollo de biocombustibles de segunda generación mediante la aplicación de diferentes procesos a biomasa de naturaleza lignocelulósica.

Dentro de estos procesos, es la pirólisis flash de biomasa uno de los que presenta un mayor potencial, aunque otros procesos como la hidrólisis enzimática y la gasificación unida bien a un proceso Fisher-Tropsch para producción de diesel o bien a un proceso MTG para producción de gasolina; también son utilizados con este fin. Sin embargo, la pirólisis ha demostrado tener un coste entre dos y tres veces menor a las otras alternativas.

El proceso de flash pirólisis consiste de forma general en el calentamiento rápido de la biomasa en ausencia de oxígeno. En estas condiciones, los productos que se originan son un gas con capacidad calorífica baja, compuesto principalmente por H₂, CO, CO₂ e hidrocarburos ligeros; un líquido compuesto por alquitranes, hidrocarburos de alto peso molecular y agua y; finalmente, un sólido comúnmente conocido como char.

El proceso de pirólisis para la producción de biocombustibles líquidos se ha aplicado de forma exitosa a distintos tipos de biomasa seca de origen lignocelulósico, tales como corteza,

residuos y desechos agrícolas, frutos secos y semillas, hierbas, residuos forestales y otros. En todos estos casos, la biomasa se puede considerar como una mezcla en diferentes proporciones de hemicelulosa, celulosa, lignina y pequeñas cantidades de otros compuestos orgánicos, dependiendo del tipo de materia prima. Estos compuestos pirolizan o degradan a diferentes velocidades y por diferentes mecanismos y vías, dando lugar a unos líquidos de pirólisis que se pueden considerar como una micro-emulsión de compuestos oxigenados tales como ácidos carboxílicos, cetonas y aldehídos en agua, mezcla de compuestos que es inmiscible con agua.

De forma general, se ha podido concluir que controlando las condiciones del proceso de pirólisis se puede dirigir el proceso hacia la producción de combustibles líquidos. Así, utilizando rampas de calentamiento rápidas, tiempos de residencia cortos de los gases generados en el reactor y enfriamientos de los productos de reacción rápidos, se puede maximizar la producción de biocombustibles líquidos, alcanzándose unos rendimientos en el intervalo comprendido entre el 60 y el 75%, dependiendo del tipo de reactor utilizado.

Existen diferentes tipos de reactores que cumplen los requerimientos que se tienen que cumplir en un proceso de flash pirólisis. Estos reactores se pueden clasificar en cinco categorías diferentes: 1) reactores de vacío; 2) reactores ablativos; 3) reactores de lecho fluidizado; 4) reactores de lecho fluidizado circulante o de transporte; y 5) reactores tipo auger.

Los reactores de vacío presentan una rampa de calentamiento muy baja, incluso demasiado baja para ser considerada como una tecnología de flash pirólisis. Además, esta tecnología se caracteriza por tener bajos coeficientes de transferencia de energía a las partículas de biomasa, debido a las bajas superficies de intercambio. Como ventaja, la utilización de vacío para retirar los vapores generados lleva a muy bajos tiempos de residencia de los vapores obtenidos, con lo que se reducen las reacciones de craqueo.

En los reactores ablativos la transferencia de calor a las partículas de biomasa ocurre cuando éstas se ponen en contacto con una superficie caliente. Esto hace que el proceso de transferencia de calor esté limitado por la baja cantidad de superficie disponible, llevando a la necesidad de utilizar partículas pequeñas de biomasa. En este proceso se ha observado que la transferencia de energía se mejora considerablemente empleando presiones y velocidades elevadas en las partículas en contacto con la superficie caliente.

Los reactores de lecho fluidizado se caracterizan por ser una tecnología simple que proporciona un buen control de temperatura y aceptables coeficientes de transferencia de calor a las partículas de biomasa, debido a la utilización de arena u otros sólidos que incrementan el área disponible para la transferencia de energía. Sin embargo, se ha observado
5 que su escalado a grandes reactores es complicado debido a la aparición de gradientes de temperatura y concentración en el lecho. Por último, la utilización de grandes volúmenes de gases inertes para llevar a cabo la fluidización hace que se incrementen los costos y que se diluya el poder calorífico de los gases obtenidos.

Los reactores de lecho fluidizado circulante o de transporte presentan unas características
10 similares a los reactores de lecho fluidizado, ya que también se caracterizan por utilizar un transportador de calor que proporciona la energía a las partículas de biomasa. En estos reactores, debido a la mayor velocidad de gases empleada para realizar el transporte de sólidos, el tiempo de residencia de los sólidos es similar al de los vapores liberados. Como desventaja, las grandes velocidades utilizadas llevan a que parte del char puede aparecer
15 como elutriado en los gases condensables, lo que hace necesario su posterior separación. Además, la utilización de mayores volúmenes de gases que en los reactores de lecho fluidizado hace que se aumenten en mayor medida los costes. Una ventaja intrínseca de los reactores de lecho fluidizado y lecho fluidizado circulante o de transporte es que la utilización de un transportador de calor con propiedades catalíticas como en la patente US-5961786; en
20 la solicitud de patente PCT/EP2009/053550 ; o en la solicitud de patente WO/2010/124069 ; puede llevar a la producción de un biocombustible con bajos contenidos en oxígeno y estable en el almacenamiento.

Los reactores de tipo auger, por sus características intrínsecas, solucionan algunos de los
25 problemas tecnológicos que presentan los anteriores reactores. Así, estos reactores se caracterizan por ser equipos compactos que no requieren gas de arrastre y pueden operar a bajas temperaturas de forma continua sin graves problemas de operación. La posibilidad de producir biocombustibles a partir de biomasa seca de naturaleza lignocelulósica en este tipo de reactores, en los que la energía necesaria para realizar la reacción de pirólisis se suministra mediante un horno exterior calentado eléctricamente, se ha demostrado en diferentes
30 referencias y publicaciones, como es el caso de la solicitud de patente WO2008066950 A3, donde se describe un método de producir y recoger un biocombustible miscible con biodiesel. Además, algunas referencias que se encuentran recientemente en la bibliografía son: de Wild, P. J., Uil, H. D., Reith, J. H., Kiel, J. H. A., Heeres, H. J., Journal of Analytical and Applied

Pyrolysis, 85, 2009, 124-133; Ingram, L., Mohan, D., Bricka, M., Steele, P., Strobel, D., Crocker, D., Mitchell, B., Mohammad, J., Cantrell K., and Pittman, C. U., Energy and Fuels 22, 2008, 614-625; Garcia-Perez, M., Adams, T. T., Goodrum, J. W., Geller, D. P., and Das, K. C., Energy and Fuels 21, 2007, 2363-2372. En todos estos casos, la necesidad de utilizar
5 energía eléctrica para llevar a cabo la reacción hace que el proceso sea inviable a nivel industrial.

Existen distintas aproximaciones para intentar resolver este problema, como la mostrada en la solicitud de patente WO9909115 A1 de Green Alex E. S. En esta referencia se describe de forma novedosa que la energía necesaria para realizar la reacción de pirólisis puede obtenerse
10 mediante contacto directo con una cámara de combustión rodeando parcialmente el reactor de pirólisis. En la cámara de combustión la energía se consigue por combustión del char originado en el proceso de pirólisis. En este sistema cabe esperar que la eficiencia en la transferencia de energía entre reactor de pirólisis y cámara de combustión sea baja, así como difícilmente controlable, debido a que la transferencia se realiza por conducción térmica entre
15 las paredes de ambos reactores lo que lleva a una baja superficie de contacto disponible.

En la solicitud de patente WO2009/138757 A2 se describe en la disposición preferida un proceso de pirolisis de biomasa utilizando un reactor con tecnología de tornillo sinfín constituido por dos tornillos acoplados uno dentro de otro que giran en sentido contrario. La alimentación de combustible se realiza a través del tornillo interno en dirección axial. En el
20 tornillo exterior se alimentan cantidades controladas de aire y/o vapor de agua externamente y carbonizado procedente del tornillo interior. La reacción de combustión que tiene lugar proporciona el calor para la reacción de pirolisis. Además, al introducir vapor de agua tiene lugar una reacción de reformado para producir syngas que puede ser utilizado como combustible para generar electricidad, si bien se reduce la cantidad de energía proporcionada
25 al proceso de pirólisis. En este proceso se propone que no todo el char sea quemado o gasificado sino que parte del mismo sea recirculado caliente al reactor de pirólisis. De esta forma, la ventaja adicional que presenta este proceso es que la biomasa es mezclada con un transportador de calor el cual comprende al menos parcialmente char, pero también puede incorporar cenizas procedentes de la combustión de la biomasa. Otras ventajas adicionales de este reciclaje son que el uso de altas proporciones de char a biomasa favorece la formación de gas de síntesis (CO y H₂) y la formación de compuestos orgánicos de bajo peso molecular. La desventaja es que el requerimiento de calor del char reducirá la eficacia global de todo el
30 proceso.

En la patente RU2346026 (2). se muestra un proceso de pirólisis en reactor auger en el que el proceso de transferencia de energía se realiza de forma convectiva entre las paredes de la cámara del reactor y las partículas de biomasa. De forma novedosa, en el resumen de esta patente se indica que el reactor de pirólisis se calienta mediante contacto con los gases de reacción procedentes de una cámara de combustión, donde se alimenta el char y parte de biomasa previamente secada. En este sistema, también se propone la utilización de parte de la energía presente en los gases de la cámara de combustión para realizar el secado de la biomasa en un reactor auger. Una desventaja del sistema propuesto es que los bajos coeficientes de transferencia de energía existentes debido a las bajas superficies de contacto presentes en esta configuración, hacen preciso que parte de la biomasa seca tenga que ser quemada para obtener la energía necesaria para el proceso de secado y pirólisis. De este modo, se hace necesario el desarrollo de sistemas de secado más eficientes que mejoren el proceso de transferencia de energía y eviten los aportes energéticos externos.

En este sentido, tanto en el sistema de secado de biomasa descrito en RU2346026 (2) como los sistemas tradicionales de secado de biomasa, se caracterizan por necesitar fuentes externas de calor, como quemadores de gas o de biomasa, que den lugar a unos gases de reacción calientes que proporcionan la energía a las partículas de biomasa. En los sistemas tradicionales el proceso de calentamiento se realiza dentro de un tambor metálico a una temperatura suficientemente alta como para evaporar el agua contenida en las partículas. Estos secadores contienen tornillos sinfín helicoidales que remueven continuamente la biomasa dentro del tambor asegurando que esté continuamente expuesta al calor. Alternativamente, el tambor puede ser rotado para agitar las partículas. Usando estos sistemas es posible secar serrín con un contenido en humedad superior al 90% alcanzando un contenido en humedad inferior a un 10%. Sin embargo se requiere una considerable aportación de combustible externo para proporcionar el calor y más energía se requiere para hacer rotar el tambor o para el mecanismo interno de agitación. A menos que el calor aplicado proceda de otra parte productiva del proceso, el proceso de secado puede ser un proceso relativamente caro, particularmente debido al aumento en precio de los combustibles fósiles.

Además estos sistemas de secado tradicionales trabajan en discontinuo por lotes lo que es una desventaja ya que los procesos que proporcionan la biomasa (ej: aserraderos en el caso de la madera) funcionan en continuo.

Otra característica de los secadores de tambor convencionales es que están instalados en sistemas fijos y están dimensionados para manejar lotes de biomasa de un volumen deseado. Estos sistemas no son prácticos cuando se requieren secadores de biomasa portátiles. Además la cantidad de biomasa que puede ser procesada puede ser muy variable. Por ejemplo si el suministro de biomasa produce volúmenes muy variables, puede ser menos eficiente secar un volumen inferior que el volumen para el que ha sido diseñado el tambor. Así otra ventaja de un proceso continuo de secado es que puede ser detenido una vez se seca la cantidad disponible de biomasa.

Además los secadores de tambor no son deseables para secar algunos residuos procedentes de ciertas industrias. Específicamente, residuos que tienen un tamaño de partícula pequeño. Estos materiales incluyen lodo procedente de plantas de tratamiento de aguas residuales, granos obtenidos en la fabricación de etanol, papel residual procedentes de papeleras y otros materiales similares. Sería deseable proporcionar un secador que pueda ser empleado para secar estos materiales para que puedan ser utilizados como combustibles alternativos en lugar de que acaben en vertederos o quemados necesitando combustibles adicionales para ello, con el consiguiente aumento en coste e impacto medioambiental negativo que conlleva. La cantidad de biomasa a tratar es un problema menor en un sistema que opera en continuo. Es también deseable proporcionar un sistema continuo de secado que pueda ser dimensionado para casi cualquier rendimiento deseado de forma que la capacidad de proceso se pueda relacionar siempre con el rendimiento máximo requerido.

Descripción breve de la invención

Un primer aspecto de la presente invención se refiere a un nuevo aparato para poner en contacto un sólido y un gas que puedan o no reaccionar entre sí de tal manera que pueda o no existir una transferencia de materia y/o calor entre ambas fases. Este aparato se basa en la tecnología de los reactores de lecho móvil inducido por el movimiento de un tornillo sinfin y caracterizado por tratarse de un diseño en el que la espiral del tornillo se perfora con el objeto de favorecer el contacto entre el gas y el sólido y reducir al mismo tiempo la caída de presión del gas asociada con este tipo de reactores.

Además, en este nuevo aparato se plantea un sistema novedoso para aportar o retirar calor del medio haciendo circular un gas o preferiblemente un fluido térmico por el interior del tornillo sinfin y por el exterior de la carcasa siguiendo una trayectoria helicoidal. Si bien este nuevo

diseño puede ser aplicado en sistemas en los que reaccionen gases con sólidos, es preferiblemente apropiado para el diseño de secaderos de sólidos que posean cierto grado de humedad como la biomasa. En este caso concreto, la principal ventaja del nuevo diseño con respecto a otros diseños presentes en el estado del arte radica en que se trata de un sistema más sencillo, robusto y escalable tanto en su límite superior de aplicabilidad pero también en su límite inferior.

Un segundo aspecto de la presente invención consiste en un proceso para la producción de combustibles líquidos mediante ciclos de pirolisis más combustión con secado integrado utilizando un transportador de calor con dos niveles de temperatura. Si bien este proceso se puede aplicar a cualquier materia prima o residuo que posea carbono en su composición elemental, es preferiblemente aplicable en el tratamiento de biomasa tanto agrícola como forestal. Este proceso persigue fundamentalmente la producción de biocombustibles líquidos, obteniéndose energía térmica o preferiblemente eléctrica como subproducto. La instalación completa integra un secadero con el diseño propuesto en la presente invención con un reactor de pirolisis, un reactor de combustión y un enfriador de sólidos para garantizar los dos niveles de temperatura del transportador de calor. Lo novedoso de este proceso con respecto a otros similares descritos en el estado del arte radica en que se utiliza un transportador de calor para llevar a cabo tanto el proceso de pirolisis como el de secado. La energía necesaria para ambos procesos se genera en un reactor de combustión en el que se quema el residuo sólido y el gas no condensable formado en la pirolisis y es transportada mediante el transportador de calor. El enfriador de sólidos se encarga de adecuar la temperatura del transportador de calor a las necesidades del secadero.

Un tercer aspecto de la presente invención es una realización particular relativa a un procesode pirolisis más combustión con secado integrado que deriva del anterior. La diferencia fundamental entre ambos procesos radica en la utilización de un gas caliente o preferiblemente de un fluido térmico para llevar a cabo el secado de la materia prima en un secadero con un diseño igual al mostrado en la presente invención. En este caso la energía necesaria para el secado se extrae de la energía térmica del gas caliente producido en el reactor de combustión, la cual es transferida a un fluido térmico.

30 **BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

La figura 1 muestra un aparato según la presente invención, para poner en contacto un sólido y un gas que puedan o no reaccionar entre sí de tal manera que pueda o no existir una transferencia de materia y/o calor entre ambas fases.

La figura 2 muestra un tornillo sinfín cuya espiral se perfora con el objeto de favorecer el contacto entre el gas y el sólido y reducir al mismo tiempo la caída de presión del gas asociada con este tipo de reactor

La figura 3 muestra un tornillo sinfín cuya espiral está perforada

- 5 La figura 4 muestra un proceso de pirólisis con transportador de calor con dos niveles de temperatura que se puede usar en un proceso para la producción de combustibles líquidos mediante ciclos de pirólisis más combustión con secado integrado.

La figura 5 muestra un reactor de pirólisis.

- 10 La figura 6 muestra otro proceso de pirólisis más combustión con secado integrado que deriva del anterior

Descripción detallada de la invención

Un primer aspecto de la presente invención se refiere a un aparato basado en un transportador de sólidos para llevar a cabo procesos físicos o químicos en los que interviene al menos un sólido, caracterizado porque comprende los siguientes elementos:

- 15 a) un lecho móvil,
- b) una entrada de gas,
- c) un tornillo sinfín que comprende (i) un eje central, (ii) unos álabes o espiral y (iii) una placa en forma de corona circular soldada en ambos extremos del tornillo para evitar el posible paso de material sólido hacia las zonas de cierre del mismo,
- 20 d) un sistema que evita el escape de gas o fluido térmico hacia el exterior,
- e) un motor eléctrico dotado de un reductor y un variador de frecuencia que mueve el tornillo,
- f) una carcasa interior que envuelve dicho tornillo, dicha carcasa comprende:
- una entrada de sólido en su parte superior,
- 25 - una salida de sólidos convertidos en su parte inferior,
- un sistema de cierre,
- un sistema que crea un canal helicoidal en la parte exterior de dicha carcasa interior para incrementar el recorrido del gas o fluido térmico
- y en su parte superior, una salida de gas hacia el exterior,

g) una carcasa exterior que envuelve dicho tornillo y la carcasa interior, y que sirve de techo para el canal helicoidal y aísla térmicamente el conjunto formado por el tornillo sinfín, la carcasa interior y el canal helicoidal, del exterior.

El lecho móvil está construido en material metálico resistente química y mecánicamente a altas temperaturas y atmósferas potencialmente corrosivas, tal como metal o acero que sea resistente a temperaturas de al menos 700 °C sin pérdida de propiedades mecánicas, por ejemplo, aceros 304, 310, 316.

Según la invención el aparato comprende un lecho móvil preferentemente de un material metálico.

10 Según realizaciones concretas de la invención, el aparato comprende una entrada de aire o gas inerte que arrastra la humedad liberada y proporciona al menos parte de la energía para llevar a cabo un proceso de evaporación del agua inherente a operaciones de secado.

El tornillo sinfín tiene preferentemente un eje central hueco para transportar un fluido caliente por su interior, para transmitir calor al interior del aparato y favorecer así el secado del sólido.

Según realizaciones concretas de la invención, en el aparato, el eje central del tornillo sinfín es hueco y dispone de: (i) un tubo concéntrico aislado con el eje del tornillo sinfín que introduce el fluido térmico hasta la zona caliente del aparato, (ii) juntas y retenes que unen el eje rotatorio del tornillo sinfín con el tubo concéntrico aislado y (iii) de una cámara para recoger fluido térmico que pudiese escapar del tornillo sinfín.

De modo preferente, el aparato dichos álabes o espiral están perforados.

Otro aspecto de la invención se refiere al uso del aparato definido anteriormente para realizar una reacción en la que se pone en contacto un gas y un sólido. Dicha reacción puede ser catalítica o no catalítica.

25 El aparato de la invención se puede usar en un proceso físico en el que se produce transferencia simultánea, o no simultánea, de materia y/o de energía.

Según realizaciones preferentes de la invención el proceso en el que se usa el aparato es un procedimiento de secado.

Un tercer aspecto de la invención se refiere a un procedimiento para revalorizar energética y materialmente una materia prima mediante un ciclo de pirólisis (catalítica o no

catalítica) más combustión, que se lleva a cabo con el aparato definido anteriormente, dicho procedimiento caracterizado porque comprende:

- a) una etapa de secado mediante tornillo sinfin en la que se realiza la transferencia de calor a la materia prima,
- 5 b) una reacción de pirolisis de la corriente de sólidos obtenida en la etapa de secado y de una segunda corriente de sólido transportador de calor procedente de una reacción de combustión que se realiza en un reactor de lecho móvil tipo tornillo sinfin definido en la reivindicación 1, con los álabes perforados en la que se alimentan:
 - la corriente de sólidos obtenida en la etapa de secado constituida por materia
 - 10 prima seca mezclada con el sólido transportador de calor junto
 - con otra corriente de sólido transportador de calor procedente de una reacción de combustión que sirve para transferir calor a la primera corriente en el propio reactor de pirolisis,
 - obteniéndose una corriente gaseosa y una corriente de producto sólido que se alimenta a
 - 15 una reacción de combustión que comprende el sólido transportador de calor y materia prima seca no convertida,
 - c) una etapa de condensación de la corriente gaseosa efluente de la reacción de pirolisis obteniéndose una fracción condensada y una fracción no condensada la cual se alimenta a un reactor de combustión,
 - 20 d) una reacción de combustión que genera la energía necesaria para llevar a cabo el secado y la reacción de pirolisis de la materia prima.

Según realizaciones particulares del procedimiento:

- en la etapa a) se realiza la transferencia de calor a la materia prima mediante:
 - 25 - un gas precalentado procedente de una etapa de enfriamiento de sólidos y
 - un sólido que actúa como transportador de calor recirculado procedente de la etapa de enfriamiento de sólidos,
 - los cuales se mezclan con la materia prima alimentada, de forma que se obtiene:
 - una corriente de sólidos que comprende materia prima seca mezclada con el sólido
 - 30 transportador de calor y
 - una corriente en fase gas formada por el gas precalentado junto con la humedad inicialmente presente en la materia prima,

- 5 - la etapa d) comprende realizar una reacción de combustión que genera la energía necesaria para llevar a cabo el secado y la reacción de pirolisis de la materia prima la cual se alimenta con (i) la corriente de producto sólido obtenida de la reacción de pirolisis, (ii) la fracción no condensada obtenida en la etapa de condensación y (iii) una corriente de gas precalentado procedente de la etapa de enfriamiento de sólidos, y se obtiene: (i) una corriente gaseosa a alta temperatura de la que se puede recuperar energía térmica y (ii) una corriente de sólidos que se separa en dos subcorrientes, una de ellas se alimenta a la reacción de pirolisis para suministrar la energía necesaria en forma de calor sensible y la otra subcorriente se alimenta a una etapa de enfriamiento de sólidos,
- 10 y además comprende una etapa e) de enfriamiento de sólidos que se alimenta con parte de la corriente de sólidos efluente de la reacción de combustión y una corriente de gas frío, obteniéndose:
- una corriente de sólidos enfriados, la cual se recircula a la etapa de secado y
 - 15 - una corriente de gas caliente que se divide en dos subcorrientes: la primera se utiliza como comburente en la reacción de combustión y la segunda se utiliza en la etapa de secado para facilitar la evaporación del agua de la materia prima.

20 La materia prima puede ser materia orgánica está seleccionada biodegradable y no biodegradable que contiene carbono en su composición elemental, preferiblemente es materia orgánica de de desecho que comprende material de caucho, material polimérico, combustibles fósiles, más preferiblemente biomasa agrícola o forestal en forma de astillas o pellets y con tamaños de partícula comprendidos entre 0.5 mm y 50 mm.

25 Según realizaciones concretas, en la etapa de secado se utiliza un tornillo sinfin con los álabes perforados, teniendo dichos álabes unos orificios con un tamaño inferior al tamaño mínimo de la materia prima y del sólido transportador de calor.

En la etapa de secado se puede utilizar aire como gas precalentado procedente de la etapa de enfriamiento de sólidos.

30 Según realizaciones concretas adicionales la etapa de secado se realiza en condiciones tales que se reduce el porcentaje de humedad desde un 80% en peso hasta un 0% en peso.

La etapa de secado se puede realizar: (i) a una temperatura comprendida entre 50 °C y 250 °C, (ii) a una presión de trabajo comprendida entre 0.1 bar y 3 bar y (iii) con un tiempo de residencia de la materia prima comprendido entre 0.5 minutos y 120 minutos.

5 El sólido transportador de calor puede comprender materiales de naturaleza inorgánica.

Según realizaciones concretas adicionales, en la etapa de secado el aire precalentado está a una temperatura comprendida entre 100 °C y 300 °C y el sólido que actúa como transportador de calor recirculado está a una temperatura comprendida entre 100 °C y 300 °C.

10 En la reacción de pirólisis se utiliza un tornillo sinfín con los álabes perforados, con un tamaño de orificio inferior al tamaño mínimo de las partículas de materia prima y del sólido transportador de calor.

La reacción de pirólisis puede ser catalítica y en ella reacción el sólido transportador de calor se usa como catalizador.

15 La reacción de pirólisis se puede realiza a una temperatura comprendida entre 400 °C y 1000 °C.

Según realizaciones concretas adicionales en la reacción de pirólisis se obtiene una corriente de producto sólido, la cual se alimenta a la reacción de combustión y porque dicha corriente comprende material carbonoso no desvolatilizado como materia prima seca no convertida,

20 Según realizaciones concretas adicionales en la reacción de pirólisis se piroliza la corriente de sólidos que posee una relación en peso biomasa/sólido transportador de calor comprendida entre 1 y 10.

25 Según realizaciones concretas adicionales en la reacción de pirólisis la corriente de sólido transportador de calor procedente del reactor de combustión está a una temperatura comprendida entre 500 y 1100 °C.

Según realizaciones concretas adicionales la corriente de sólidos obtenida en la reacción de combustión comprende el sólido transportador de calor y unas cenizas.

Según realizaciones concretas adicionales el gas que se alimenta en la etapa de enfriamiento de sólidos es aire,

30 En la etapa de enfriamiento de sólidos la temperatura de la corriente de sólidos puede disminuir desde la temperatura de operación de la reacción de combustión hasta alcanzar una

temperatura comprendida entre 100 °C y 300 °C, y la corriente de aire se precalienta a una temperatura comprendida entre 100 °C y 300 °C.

Según realizaciones concretas adicionales del procedimiento:

- en la etapa a) se realiza la transferencia de calor a la materia prima mediante:
 - 5 un gas precalentado procedente de una etapa de precalentamiento y mediante un fluido térmico caliente de forma que se obtiene una corriente de sólidos secos y una segunda corriente en fase gas formada por el gas precalentado introducido junto con la humedad inicialmente presente en la materia prima,
 - la etapa d) comprende una reacción de combustión que genera la energía necesaria para
10 llevar a cabo el secado y la reacción de pirolisis de la materia prima mediante un reactor de combustión en el que se alimenta (i) la corriente de producto sólido obtenida de la reacción de pirolisis, (ii) la fracción no condensada obtenida en la etapa de condensación y (iii) una corriente de gas precalentado procedente de una etapa de precalentamiento, y se obtiene: (i) una corriente gaseosa a alta temperatura de la que se
15 puede recuperar energía térmica que se dirige a una etapa de precalentamiento o a la etapa de secado y (ii) una corriente de sólidos que se recircula a la reacción de pirolisis para suministrar la energía necesaria en forma de calor sensible,
 - y se realiza una etapa e) de precalentamiento mediante un cambiador de calor en la que se alimenta la corriente gaseosa efluente del reactor de combustión y una corriente de gas frío
20 y se obtiene una corriente de gas caliente que se divide en dos subcorrientes: la primera se utiliza como comburente en el reactor de combustión y la segunda se utiliza en la etapa de secado para facilitar la evaporación del agua de la materia prima.

De acuerdo con variantes de esta última realización, en la etapa de secado se utiliza gas inerte o aire como gas precalentado procedente de la etapa de precalentamiento o bien
25 procedente del reactor de combustión.

De acuerdo con variantes de esta última realización en la etapa de secado la transferencia de calor se realiza por una corriente de gas inerte o aire, más preferiblemente aire, que circula por el interior del tornillo sinfín en contacto con la materia prima a una temperatura comprendida entre 100°C y 300°C, y/o a través de un fluido térmico que circula
30 por el exterior de la carcasa y el interior del eje del tornillo sinfín.

De acuerdo con variantes de esta última realización el gas que se alimenta en la etapa de precalentamiento es aire.

La presente invención también se refiere a una instalación para secado de sólidos caracterizada que comprende un aparato definido anteriormente.

Una realización particular de la presente invención se refiere a un aparato para realizar el secado de una materia prima biodegradable o no, preferiblemente material de naturaleza biomásica, que contiene carbono en su composición elemental caracterizado por ser un secadero de lecho móvil construido en material metálico resistente química y mecánicamente a altas temperaturas y atmósferas potencialmente corrosivas y que mueve a su través el material. Cualquier metal o acero que sea resistente a temperaturas de al menos 700 °C sin pérdida de propiedades mecánicas, por ejemplo, aceros 304, 310, 316 serían aptos para este fin. La presión de trabajo está comprendida entre 0,1 bar y 10 bar, preferiblemente a 1 bar. Permite realizar el secado de forma continua y evita la aglomeración de material, facilita la transferencia de calor al material a tratar, permite poder ajustar el tiempo de residencia de la biomasa para un volumen constante de secadero y de forma independiente a la cantidad alimentada y permite detener la operación una vez que se alcanza el porcentaje de humedad deseado. En este nuevo sistema se puede procesar material orgánico de desecho que comprende material de caucho, material polimérico, combustibles fósiles y preferiblemente biomasa en forma de astillas, serrín o pellets y con tamaños de partícula comprendidos entre 0,5 mm y 50 mm, preferiblemente 20 mm. Las condiciones típicas de operación serían una temperatura comprendida entre 50 °C y 250 °C, preferiblemente entre 80 °C y 120 °C y la presión de trabajo está comprendida entre 0.1 bar y 10 bar preferiblemente 1 bar. El tiempo de residencia del sólido en el interior del secadero está comprendido entre 0.5 minutos y 120 minutos preferiblemente entre 1 minuto y 5 minutos para conseguir reducir la humedad desde valores de 75% en peso hasta 0 % en peso.

La Figura 1 muestra un esquema de este aparato según una realización preferente, que está caracterizada por:

- **Un sistema de alimentación de sólidos.** Este sistema está formado por dos tolvas cerradas (elementos 1 y 2 de la Figura 1) construidas en acero inoxidable o cualquier otro material metálico con suficiente resistencia mecánica como para sostener sin deformación el peso del material. Una válvula (elemento 3 de la Figura 1) automática, o no, interconecta ambas tolvas y permite el paso de sólidos a su través. Tanto el diseño específico de las tolvas como el de la válvula de sólidos forman parte del estado del arte y no son objeto de la presente invención. La segunda tolva (elemento 2 de la Figura 1) comunica en su parte inferior con un tornillo

sinfin alimentador (elemento 4 de la Figura 1) que, si ha sido previamente calibrado, alimenta un caudal conocido y constante de sólidos. El tornillo sinfin alimentador está unido mediante un eje a un conjunto motor-reductor (elemento 5 de la Figura 1) regulado por un variador de frecuencia que permite el movimiento del tornillo y la dosificación variable del sólido. Los diseños específicos del tornillo sinfin alimentador y del conjunto motor-reductor y variador de frecuencia forman parte del estado del arte en sistemas de alimentación de sólidos granulados y no son objeto de la presente invención.

- **Entrada de aire o de gas inerte.** A través de una conducción (elemento 6 de la Figura 1 se introduce una corriente de aire o gas inerte, preferiblemente aire precalentado a una temperatura comprendida entre 100 °C y 300 °C, preferiblemente a una temperatura de 250 °C y una presión comprendida entre 0,1 bar y 10 bar, preferiblemente 1 bar. Esta corriente de gas posee una doble misión: por una parte arrastra la humedad liberada aumentando la velocidad de secado y por otra proporciona toda o parte de la energía para llevar a cabo el proceso de evaporación del agua inherente a las operaciones de secado.

- **Tornillo sinfin.** Se trata de un tornillo sinfin (elemento 7 de la Figura 1) de diseño singular que constituye una de las novedades descritas en la presente invención y cuyo detalle puede verse en la Figura 2 y que consta de los siguientes elementos: un eje central (elemento 1 de la Figura 2) que puede ser macizo o hueco. En éste último caso, el eje sirve para transportar un gas o preferiblemente un fluido térmico caliente por su interior para transmitir calor al interior del secadero y favorecer así el secado de la materia prima. De esta manera, el tornillo sinfin actúa no solamente como mero transportador de sólidos sino que también proporciona superficie muy eficaz para la transmisión de calor desde el exterior al material al estar en contacto directo y continuo con el mismo. También consta de unos álabes o espiral (elemento 2 de la Figura 2) cuya misión es transportar el sólido desde la entrada del secadero hasta su salida. La espiral del tornillo sinfin tiene orificios en su superficie (elemento 1 de la Figura 3). La presencia de estos orificios constituye una de las principales novedades de la presente invención y cumplen con un doble cometido. Por una parte, facilitan la transferencia de calor y de materia entre el fluido gaseoso que se introduce y la materia prima. En el caso de operaciones de secado de biomasa, facilitan el contacto íntimo entre el aire de arrastre introducido y la biomasa consiguiendo un calentamiento más rápido de las partículas comparado con sistemas convencionales y, debido a las turbulencias originadas, una disminución del espesor de la capa límite alrededor de las partículas lo que conlleva una también rápida eliminación de la humedad liberada. Por otra parte la incorporación de los

orificios en el tornillo sinfin reduce la caída de presión del sistema al aumentar el área transversal de paso para el gas lo cual constituye una clara mejora con respecto a otros sistemas descritos en la literatura en los que el gas debe circular o bien siguiendo la trayectoria descrita por la forma del tornillo sinfin o bien entre el hueco existente entre el
5 tornillo y su carcasa. Las aplicaciones de este sistema novedoso no se restringen únicamente a su utilización en secaderos sino que también pueden ser utilizados en sistemas en los que se desee poner en contacto un gas con un catalizador de tal manera que el catalizador desactive total o parcialmente y deba ser regenerado en otro reactor. También pueden utilizarse en reacciones sólido-gas no catalíticas de tal manera que se introduzca el sólido sin convertir por
10 un extremo y salga convertido por el otro. Tanto en este caso como en el anterior la presencia de orificios en la espiral del tornillo sinfin hará que se mejore el contacto entre el gas reaccionante y el sólido disminuyendo la resistencia a la transferencia de materia y en consecuencia aumentando la velocidad de reacción. Asimismo, para el caso en el que la reacción química involucrada sea exotérmica, el sistema inicialmente diseñado para proporcionar energía, puede ser utilizado para retirarla introduciendo un gas frío o en general
15 un fluido refrigerante.

- **Placa en forma de corona circular.** Este elemento (elemento 3 de la Figura 2) se encuentra soldado en ambos extremos del tornillo para evitar el posible paso de material sólido hacia las zonas de cierre del secadero.

20 - **Sistema de cierre del tornillo.** Sistema que evita el escape del gas o fluido térmico hacia el exterior, en caso de que el eje central del tornillo sinfin sea hueco, caracterizado por disponer de un tubo concéntrico aislado (elemento 8 de la Figura 1) con el eje del tornillo sinfin y que introduce el gas o fluido térmico hasta la zona caliente del secadero, una serie de juntas y retenes que unen el eje rotatorio del tornillo sinfin con el tubo fijo (elemento 9 de la Figura 1)
25 y de una cámara que sirve para recoger el gas o fluido térmico que pudiese escapar del tornillo sinfin (elemento 10 de la Figura 1).

- **Motor eléctrico dotado de un reductor y un variador de frecuencia que mueve el tornillo.** Este sistema (elemento 11 de la Figura 1) permite modificar la velocidad de giro del tornillo y así el tiempo de residencia del sólido en el interior del secadero sin tener que
30 modificar la geometría del tornillo sinfin. La presencia de este elemento es fundamental y dota al sistema de gran flexibilidad ya que el grado de secado y en consecuencia el porcentaje de humedad de la materia final será función del tiempo de residencia en el interior del secadero.

- 5 - **Carcasa interior.** Conjunto (elemento 12 de la Figura 1) que envuelve al tornillo sinfin caracterizada por: una entrada de sólido en la parte superior (elemento 13 de la Figura 1), una salida de sólidos secos en la parte inferior (elemento 14 de la Figura 1), un sistema de cierre constituido por un conjunto de bridas y juntas mecanizadas (elemento 15 de la Figura 1) y un sistema que crea un canal helicoidal (elemento 16 de la Figura 1) en su parte exterior para incrementar el recorrido del gas caliente o fluido térmico. La carcasa interior posee además en su parte superior una salida de gas hacia el exterior (elemento 17 de la Figura 1) por el que tanto el gas introducido inicialmente como la humedad del material a secar abandonan la instalación.
- 10 - **Carcasa exterior.** Sistema (elemento 18 de la Figura 1) que envuelve al conjunto tornillo sinfin y carcasa interior caracterizada por servir de techo para el canal helicoidal y aislar térmicamente el conjunto del exterior.

Un segundo aspecto de la presente invención consiste en la utilización de un nuevo procedimiento para revalorizar energética y materialmente una materia prima biodegradable o no que contiene carbono en su composición elemental de forma simultánea mediante un ciclo de pirólisis más combustión. La materia prima a utilizar comprende material de caucho, material polimérico, combustibles fósiles, preferiblemente biomasa agrícola o forestal en forma de astillas o pellets y con tamaños de partícula comprendidos entre 0.5 mm y 50 mm. La Figura 4 muestra un esquema conceptual del proceso en el que aparecen los principales equipos y corrientes tanto de sólidos como de gases que los unen entre sí. Un aspecto fundamental de esta invención consisten en la utilización de un sólido de naturaleza inorgánica que muestre o no actividad catalítica en los procesos de pirólisis o en la posterior mejora de los productos primarios de pirólisis pero que siempre sea capaz de transportar cíclicamente calor entre dos reactores químicos a alta temperatura. El sólido que se utilice como transportador de calor puede ser arena u otros materiales de naturaleza inorgánica como SiO_2 , Al_2O_3 , óxidos de metales alcalinos, óxidos de metales alcalino-térreos, óxidos de metales de transición, zeolitas tales como HZSM-5, HY, HMOR, HBETA y silicatos mesoporos tales como SBA-15, MCM-41 y MCM-48. Mediante el esquema propuesto en esta invención (Figura 4) se pretende disponer de un transportador de calor a dos temperaturas diferentes apropiadas respectivamente para la etapa de secado de la materia prima y su posterior pirólisis. El sistema propuesto consta de los siguientes elementos:

- 25
30 - **Secadero.** Este equipo (equipo 1 de la Figura 4) está caracterizado por disponer de un tornillo sinfin tipo auger descrito previamente en esta patente y que se puede visualizar en la

Figura 1. En este equipo se realiza la transferencia de calor al material mediante aire o un gas inerte precalentado (corriente 55 de la Figura 4) procedente de un enfriador de sólidos (equipo 5 de la Figura 4) y material que actúa como transportador de calor recirculado (corriente 51 de la Figura 4) procedente también del mismo enfriador de sólidos (equipo 5 de la Figura 4). Ambas corrientes se mezclan con la materia prima alimentada (corriente 11 de la Figura 4) permitiendo que haya un contacto íntimo y así favoreciendo una eficiente transferencia de calor entre ambos materiales. En el caso de utilizar biomasa como materia prima, el calor transferido hacia las partículas tanto desde el aire caliente (corriente 55 de la Figura 4) como desde el transportador de calor (corriente 51 de la Figura 4) causa la pérdida de humedad del material sólido que es transferida a la fase gas. El diseño específico de secadero que es objeto de la presente invención, hace que se mejore con respecto a los equipos presentes en el estado del arte, la transferencia de materia desde las partículas sólidas hacia la fase gas. Como productos, se obtienen una corriente de gas a una temperatura comprendida entre 90 °C y 150 °C preferiblemente a 120 °C compuesta por el aire o gas inerte introducido en el sistema y la humedad en forma de vapor inicialmente presente en la biomasa. Además, también se genera una corriente de sólidos (corriente 12 de la Figura 4) formada por la biomasa con un contenido en humedad inferior al inicial y el transportador de calor. El contenido en humedad final de la biomasa dependerá de su contenido inicial, de los caudales máxicos y temperaturas de las corrientes de aire y transportador y del tiempo de residencia en el interior del secadero. Mediante este sistema se reduce el porcentaje de humedad desde valores máxicos comprendidos entre 75% y 80% hasta valores comprendidos entre 10% y 0%, preferiblemente desde un porcentaje de humedad del 30% hasta un porcentaje final del 5%, más preferiblemente de forma continua. El sistema propuesto es suficientemente versátil como para que el contenido en humedad final pueda ajustarse a las necesidades de los procesos posteriores pudiéndose llegar hasta valores próximos o iguales a 0% en peso.

- **Reactor de pirolisis.** Este sistema (equipo 2 de la Figura 4) comprende un reactor de lecho móvil tipo tornillo sinfín auger en el que se alimentan una corriente de sólidos obtenida en el secadero (corriente 12 de la Figura 4) constituida por materia prima seca hasta un porcentaje de humedad predefinido y transportador de calor junto con otra corriente de transportador de calor (corriente 42 de la Figura 4) a una temperatura superior a la primera corriente y que estará comprendida entre 500 °C y 1100 °C, preferiblemente a 800 °C procedente del reactor de combustión que sirve para transferir calor a la primera corriente en el propio reactor. Este tipo de contacto facilita la transferencia de calor al interior de las partículas de la materia

orgánica posibilitando su desvolatilización y generando principalmente gases ligeros y biocombustibles (corriente 23 de la Figura 4). La relación másica transportador/biomasa está comprendida entre 10 y 1 y la temperatura final de la mezcla está comprendida entre 400 °C y 1000 °C, preferiblemente entre 475 °C y 600 °C y más preferiblemente 500 °C. Además, de este reactor también se obtiene una corriente de producto sólido que comprende transportador de calor, con o sin coque depositado sobre su superficie dependiendo de tratarse de un catalizador ácido o no, y material carbonoso no desvolatilizado también llamado char (corriente 24 de la Figura 4) que es conducido al reactor de combustión (equipo 4 de la Figura 4). En cuanto a la configuración del reactor auger a utilizar, independientemente de la naturaleza del sólido utilizado como transportador de calor, el diseño más apropiado es el descrito en la presente invención (ver Figura 5). Es decir, un tornillo sinfín con orificios en la espiral pero sin sistema de calentamiento ni en la carcasa ni en el sinfín ya que el reactor tiene un diseño adiabático puesto que la energía necesaria para la pirolisis procede del transportador de calor no siendo necesario un aporte externo. Como se puede observar en la Figura 5, este reactor posee una entrada para la biomasa procedente del secadero (elemento 1 de la Figura 5) y otra entrada (elemento 2 de la Figura 5) independiente para el transportador de calor procedente del reactor de combustión a la cual se une una entrada opcional de gas de arrastre (elemento 3 de la Figura 5). Este elemento no es estrictamente necesario ya que la evacuación de los gases puede estar forzada por un ventilador de tiro inducido colocado al final de la línea. Al igual que en el caso del secadero, el transportador tipo tornillo sinfín con orificios (elemento 4 de la Figura 5) está construido en material metálico preferiblemente acero y se encuentra en el interior de una carcasa (elemento 5 de la Figura 5) también construida en material metálico. El sistema de cierre del tornillo sinfín está formado por un conjunto de bridas mecanizadas y retenes (elemento 6 de la Figura 5) cuyo diseño específico forma parte del estado del arte en sistemas de cierre para sistemas a presión con partes móviles. El eje del tornillo sinfín está unido a un conjunto motor-reductor (elemento 7 de la Figura 5) dotado de un variador de frecuencia que permite regular la velocidad de giro del sinfín y en consecuencia el tiempo de residencia de las partículas sólidas en el interior del reactor. Prácticamente toda la carcasa interior está rodeada de una carcasa exterior rellena de aislante térmico (elemento 8 de la Figura 5) para prevenir fugas de calor hacia el exterior. El grosor y tipo de aislante térmico forma parte del estado del arte en sistemas de aislamiento térmico y no es objeto de la presente invención. Por lo que respecta a la salida de productos convertidos, la carcasa interior posee una salida de gases en su parte superior (elemento 9 de la Figura 5) que comunica con el condensador (equipo 3 de la Figura 4) y una salida de

sólidos en su parte inferior (elemento 10 de la Figura 5) que comunica con el reactor de combustión (equipo 4 de la Figura 4).

- **Condensador.** En este equipo (equipo 3 de la Figura 4) se produce la condensación de la fracción líquida a partir de los gases generados en el reactor de pirolisis (corriente 23 de la Figura 4). Una configuración posible para este equipo sería la convencional tipo carcasa-tubos en la que se puede utilizar agua que circularía por el exterior de los tubos (lado carcasa) como medio refrigerante. Sin embargo, otras configuraciones y tipos de condensador también son posibles de aplicar y su diseño concreto forma parte del estado del arte en aparatos para realizar la condensación de líquidos y no es objeto de la presente invención. En cualquier caso se producirá una corriente en estado líquido (corriente 34 de la Figura 4) a una temperatura comprendida entre 20 °C y 100 °C preferiblemente entre 25 °C y 35 °C que, sin perjuicio de que pueda ser química o físicamente tratada mediante procesos que no son objeto de la presente invención, es almacenada como producto acabado. Además, se produce también otra corriente en fase gas (corriente 31 de la Figura 4) que es alimentada al reactor de combustión (equipo 4 de la Figura 4).

- **Reactor de combustión.** En este reactor (equipo 4 de la Figura 4) se introduce la corriente de sólidos obtenida del reactor de pirolisis que comprende transportador de calor, con o sin coque depositado dependiendo de tratarse de un catalizador ácido o no, y char (corriente 24 de la Figura 4), junto con la fracción desvolatilizada no condensada procedente del condensador (corriente 34 de la Figura 4). Junto con estas corrientes se alimenta una corriente de aire precalentado (corriente 54 de la Figura 4) procedente del enfriador de sólidos (equipo 5 de la Figura 4). En este reactor se produce la reacción de combustión del char no desvolatilizado de la biomasa original, del posible coque depositado sobre el transportador de calor y de la fracción combustible de la corriente de gas no condensada (corriente 34 de la Figura 4). La temperatura de operación de este reactor está comprendida entre 500 °C y 1100 °C, preferiblemente a 800 °C. El calor generado por estas reacciones exotérmicas se invierte en calentar los sólidos de entrada originando una corriente de sólidos recalentados (corriente 41 de la Figura 4) que abandonan el reactor a la misma temperatura de operación que el reactor de combustión (equipo 4 de la Figura 4), una corriente de gases de combustión calientes (corriente 44 de la Figura 4) y energía térmica que puede ser transferida a un sistema de recuperación de calor que puede generar electricidad a través de por ejemplo un ciclo de vapor y cuyo diseño específico forma parte del estado del arte y no es objeto de la presente invención. Por su parte la corriente de sólidos recalentados (corriente 41 de la Figura 4) es

dividida en dos partes. Una de ellas (corriente 42 de la Figura 4) es conducida al reactor de pirolisis (equipo 2 de la Figura 4) para suministrar la energía necesaria en este reactor en forma de calor sensible y la otra corriente (corriente 45 de la Figura 4) es conducida a un enfriador de sólidos (equipo 5 de la Figura 4). Por lo tanto, este reactor cumple una doble
5 misión: en primer lugar generar la energía necesaria para llevar a cabo el secado de la biomasa en el secadero (equipo 1 de la Figura 4) y su posterior desvolatilización en el reactor de pirolisis (equipo 2 de la Figura 4) y en segundo lugar regenerar de forma continua el transportador de calor posiblemente desactivado por la presencia de coque en caso de que este posea propiedades catalíticas lo que supone una clara ventaja con respecto a otros
10 sistemas descritos en el estado del arte.

- **Enfriador de sólidos.** A este equipo (equipo 5 de la Figura 4) llega parte de la corriente de sólidos efluente (corriente 45 de la Figura 4) del reactor de combustión (equipo 4 de la Figura 4) que comprende transportador de calor y cenizas para disminuir su temperatura desde 800 °C hasta alcanzar una temperatura comprendida entre 100 °C y 300 °C, preferiblemente 250
15 °C para ser recirculada al secadero. Por lo tanto, adecua la temperatura de la corriente de sólidos a un nivel inferior para evitar la degradación prematura de la biomasa en el secadero (equipo 1 de la Figura 4). El calor cedido por el material sólido se transfiere a una corriente de aire frío (corriente 52 de la Figura 4) que es precalentada a una temperatura comprendida entre 100 °C y 300 °C, preferiblemente 250 °C. A su vez, esta corriente de aire precalentado
20 se divide en dos partes: la primera se utiliza como comburente en el reactor de combustión (corriente 54 de la Figura 1) y la segunda se utiliza en el secadero para facilitar la evaporación del agua de la biomasa húmeda (corriente 55 de la Figura 4).

Por lo tanto, mediante el sistema descrito en la presente invención, es posible disponer de un proceso autónomo, continuo, versátil y escalable para la producción conjunta de
25 biocombustibles y electricidad que integra energéticamente el secado de la materia prima con las etapas de pirolisis y combustión.

Un tercer aspecto de la presente invención consiste en la modificación parcial del esquema mostrado en la Figura 4 de tal manera que no sea necesario disponer de transportador de calor con dos niveles distintos de temperatura, se disminuyan los caudales de circulación de sólidos
30 entre reactores y no sea necesario disponer de un enfriador de sólidos. El esquema resultante es el mostrado en la Figura 6. Como se puede observar en el esquema del proceso mostrado en la Figura 6, los equipos involucrados y la distribución de corrientes no es necesario recircular sólidos calientes desde el reactor de combustión (equipo 4 de la Figura 4) y

posteriormente desde el enfriador de sólidos (equipo 5 de la Figura 4) hasta el secadero de materia prima (equipo 1 de la Figura 4). El proceso consiste en procesar una materia prima sólida biodegradable o no que contiene carbono en su composición elemental comprendiendo material de caucho, material polimérico, combustibles fósiles, preferiblemente biomasa agrícola o forestal en forma de astillas o pellets y con tamaños de partícula comprendidos entre 0.5 mm y 50 mm. La entrada de la materia prima al proceso (corriente 11 de la Figura 6) se realiza a través de un secadero (equipo 1 de la Figura 6) cuyas características y diseño específico son los anteriormente descritos y mostrados en la Figura 1, Figura 2 y Figura 3. El aporte de energía a este equipo se lleva a cabo mediante la circulación de un gas caliente o preferiblemente un fluido térmico (corriente 61 de la Figura 6) cuya composición química y características específicas no son objeto de la presente invención y forman parte del estado del arte en fluidos térmicos para el transporte de energía. Este fluido circula a una temperatura comprendida entre 100 °C y 300 °C, preferiblemente a 250 °C. Tal y como se ha descrito anteriormente, este fluido circularía en el secadero a través del eje central en donde se encuentra la espiral y por la carcasa exterior. Al ceder su energía térmica el fluido se enfría y es recirculado a un cambiador de calor (equipo 6 de la Figura 6) en donde es de nuevo calentado por gas de combustión caliente (corriente 56 de la Figura 6). El sólido seco (corriente 12 de la Figura 6) abandona el secadero (equipo 1 de la Figura 6) por un conducto diseñado a tal efecto (elemento 14 de la Figura 1) y es introducido en el reactor de pirolisis (reactor 2 de la Figura 6) en donde absorbe la energía proporcionada por un transportador de calor (corriente 42 de la Figura 6), alcanzando el conjunto una temperatura final comprendida entre 400 °C y 1000 °C, preferiblemente entre 475 °C y 600 °C y más preferiblemente 500 °C. El diseño específico de este reactor sería análogo al descrito anteriormente y se muestra en la Figura 5. En este reactor se produce la desvolatilización de la materia prima produciendo una corriente en fase gas (corriente 23 de la Figura 6) que pasa a un sistema de condensación (equipo 3 de la Figura 6) análogo al descrito anteriormente en el que se obtiene una corriente líquida (corriente 31 de la Figura 6 que puede o no considerarse como producto final y una corriente de gas no condensado (corriente 34 de la Figura 6) que es conducida al reactor de combustión (equipo 4 de la Figura 6) o incluso a otro quemador de gases opcional situado fuera del reactor de combustión. Además, también se produce una corriente de sólidos (corriente 24 de la Figura 6) que comprende el char formado en la pirolisis y el transportador de calor previamente introducido. Esta corriente también es conducida al reactor de combustión (equipo 4 de la Figura 6) que opera a una temperatura comprendida entre 500 °C y 1100 °C, preferiblemente 800 °C. Tanto el char (corriente 24 de la Figura 6) como la

fracción combustible de los gases (corriente 34 de la Figura 6) introducidos en el reactor de combustión (equipo 4 de la Figura 6) se queman al combinarse con aire precalentado (corriente 54 de la Figura 6) en un cambiador de calor (equipo 5 de la Figura 6) que utiliza la propia corriente de gases calientes de combustión (corriente 45 de la Figura 6) generada en el reactor de combustión (equipo 4 de la Figura 6). Además de la corriente de gases calientes de combustión (corriente 45 de la Figura 6) también se genera en el reactor de combustión (equipo 4 de la Figura 6) la corriente de sólidos calientes que actúan como transportadores de calor (corriente 42 de la Figura 6) y que se dirige al reactor de pirolisis (equipo 2 de la Figura 6) y un exceso de energía térmica que puede ser recuperada y transferida a un ciclo de vapor para generar electricidad. El diseño específico de los sistemas de recuperación de calor y su transformación en electricidad forman parte del estado del arte y no son objeto de la presente invención. En el cambiador de calor (equipo 5 de la Figura 6) aguas abajo del reactor de combustión (equipo 4 de la Figura 6) también se precalienta aire o un gas inerte (corriente 51 de la Figura 6) a una temperatura comprendida entre 100 °C y 300 °C, preferiblemente 250 °C, que es conducido al secadero (equipo 1 de la Figura 6) para favorecer la evaporación de la humedad de la biomasa y cerrar el balance de energía de ese equipo. Finalmente la corriente de gas de combustión todavía caliente (corriente 56 de la Figura 6) que abandona el cambiador de calor (equipo 5 de la Figura 6) es conducida a otro cambiador de calor (equipo 6 de la Figura 6) en el que se calienta fluido térmico (corriente 16 de la Figura 6) a utilizar en el secadero (equipo 1 de la Figura 6). El fluido térmico caliente (corriente 61 de la Figura 6) es conducido al secadero (equipo 1 de la Figura 6) en donde circula por el interior del eje del tornillo sinfín y por el exterior de la carcasa. Este fluido térmico puede ser gas, aire o cualquier otro fluido capaz de transportar calor eficientemente y cuyas características específicas no son objeto de la presente invención y forman parte del estado del arte en fluidos térmicos para el transporte de calor. Independientemente del fluido térmico seleccionado, estará circulando continuamente entre el secadero (equipo 1 de la Figura 6) en donde cede energía y el cambiador de calor (equipo 6 de la Figura 6) en donde absorbe la energía procedente de los gases de combustión. La temperatura del fluido térmico caliente (corriente 61 de la Figura 6) está comprendida entre 100 °C y 300 °C, preferiblemente será 250 °C). Por su parte, el gas de combustión (corriente 62 de la Figura 6) que abandona el cambiador de calor (equipo 6 de la Figura 6) está a una temperatura próxima a 150 °C y puede ser emitido a la atmósfera, sin perjuicio de que pueda ser depurado en equipos de limpieza de gases que no son objeto de la presente invención y que forman parte del estado del arte en equipos de limpieza y depuración de gases.

Por lo tanto, mediante este último proceso descrito en la presente invención es posible llevar a cabo la pirolisis de biomasa de forma continua y autónoma con un diseño de equipos fácilmente escalable y de tal manera que el sistema no solo se autoabastece de energía para la producción de combustibles líquidos sino que también es capaz de generar electricidad para los equipos internos que así lo necesiten y exportar un excedente de la misma a la red. Estos factores suponen una clara mejora con respecto a otros procesos que se encuentran descritos en el estado del arte.

Relación de referencias de las figuras

En la figura 1:

10

Esquema del secadero

1	Tolva secundaria
2	Tolva primaria
3	Válvula de interconexión de tolvas
4	Tornillo sinfín alimentador
5	Conjunto motor-reductor con variador de frecuencia del alimentador
6	Entrada de aire, gas inerte o gas reactivo
7	Tornillo sinfín del transportador
8	Eje del tornillo sinfín del transportador
9	Cierre del eje del sinfín del transportador
10	Cámara de recolección de fugas
11	Conjunto motor-reductor con variador de frecuencia del sinfín del transportador
12	Carcasa exterior del transportador
13	Conducto de entrada de sólidos
14	Conducto de salida de sólidos convertidos
15	Cierre del eje del sinfín del transportador
16	Carcasa exterior del transportador
17	Salida de gases del transportador
18	Aislante térmico

En la figura 2:

Tornillo sinfín con espiral perforada

1	Eje del sinfín
2	Espiral perforada del sinfín
3	Corona circular del sinfín

5 En la figura 3:

Sección de tornillo sinfín con espiral perforada

1	Orificios de la espiral del sinfín
---	------------------------------------

10

En la figura 4:

Diagrama conceptual del proceso de pirolisis de biomasa con secado integrado y dos niveles de temperatura para el transportador de calor

15

1	Secadero de biomasa
11	Alimentación de biomasa
12	Biomasa seca + transportador de calor
13	Gas de escape del secadero
2	Reactor de pirolisis
23	Productos de pirolisis en fase gas
24	Productos de pirolisis sólidos + transportador de calor
3	Condensador
31	Biocombustibles
34	Productos gaseosos no condensados hacia el reactor de combustión
4	Reactor de combustión
41	Transportador de calor recalentado

42	Reciclo de transportador de calor recalentado hacia el reactor de pirolisis
44	Gas de combustión
45	Reciclo de transportador de calor recalentado hacia enfriador/precalentador
5	Enfriador/precalentador
51	Reciclo de transportador de calor hacia secadero
52	Aire frío para caldera y secadero
53	Aire caliente
54	Aire precalentado hacia caldera
55	Aire precalentado hacia secadero

En la figura 5:

Esquema del reactor de pirolisis

5

1	Entrada de materia prima
2	Entrada de transportador de calor
3	Entrada de gas
4	Espiral del tornillo sinfin
5	Carcasa del reactor
6	Sistema de cierre del eje del sinfin reactor
7	Conjunto motor-reductor y variador de frecuencia del sinfin del reactor
8	Aislante térmico
9	Conducto de salida de gases
10	Conducto de salida de sólidos

En la figura 6:

Diagrama conceptual del proceso de pirolisis de biomasa con secado integrado y transportador de calor

10

1	Secadero de biomasa
11	Alimentación de biomasa
12	Biomasa seca
13	Gas de escape del secadero

16	Fluido térmico frío
2	Reactor de pirolisis
23	Productos de pirolisis en fase gas
24	Productos de pirolisis sólidos + transportador de calor
3	Condensador
31	Biocombustibles
34	Productos gaseosos no condensados hacia el reactor de combustión
4	Reactor de combustión
42	Reciclo de transportador de calor recalentado hacia el reactor de pirolisis
45	Gas de combustión caliente
5	Cambiador de calor/precalentador de aire
51	Aire precalentado hacia secadero
52	Aire frío para reactor de combustión y secadero
53	Aire caliente para reactor de combustión y secadero
54	Aire precalentado hacia caldera
56	Gas de combustión enfriado
6	Superficie de intercambio de calor en el secadero
61	Fluido térmico caliente
62	Gas de combustión frío hacia la chimenea o sistema de depuración de gas

Ejemplos de realización de la invención

5 Los ejemplos que a continuación se describen, no deben entenderse sólo como una limitación del alcance de la invención. Por el contrario, la presente invención trata de cubrir todas las alternativas, variantes, modificaciones y equivalencias que puedan incluirse dentro del espíritu y el alcance del objeto de invención.

Ejemplo 1. – PIROLISIS DE BIOMASA CON SECADO INTEGRADO Y DOS NIVELES DE TEMPERATURA PARA EL SOLIDO TRANSPORTADOR DE CALOR

10

En este ejemplo se muestran los balances de materia y energía para una planta de pirolisis de biomasa de acuerdo con el esquema de la Figura 4 para procesar 200 kg/h de biomasa forestal (corriente 11 de la Figura 4), siempre operando a presión atmosférica. El material utilizado

posee un 30% de humedad, un 0.39% de cenizas y un 69.61% de materia orgánica y entra en forma de astillas al secadero (equipo 1 de la Figura 4). Al secadero de biomasa, también entran 800 kg/h de arena a 250 °C (corriente 51 de la Figura 4) y 400 kg/h de aire también a 250 °C (corriente 55 de la Figura 4). La energía transportada por estas dos corrientes en forma de calor sensible se invierte en el secadero en calentar la biomasa entrante hasta una temperatura de 100 °C y evaporar la totalidad del agua que la acompaña. Del secadero sale una corriente en forma de gas (corriente 13 de la Figura 4) con un caudal másico de 460 kg/h, una temperatura de 100 °C y una composición que se recoge en la Tabla 1. Esta corriente es emitida directamente a la atmósfera.

Tabla 1 Composición del gas de escape del secadero

Compuesto	% Volumen
O ₂	16.9
N ₂	63.7
H ₂ O	19.4

10

Del secadero también se extrae otra corriente de sólidos (corriente 12 de la Figura 4) con un caudal másico de 942 kg/h, una temperatura de 100 °C y unos porcentajes en peso de biomasa y arena del 14.8% y del 85.2% respectivamente. Esta corriente se dirige al reactor de pirólisis (equipo 2 de la Figura 4), al cual también se incorporan 1500 kg/h de arena caliente a 775°C (corriente 42 de la Figura 4) procedentes del reactor de combustión (equipo 4 de la Figura 4). En el reactor de pirólisis se produce el mezclado de ambas corrientes (corrientes 12 y 42 de la Figura 4) de tal manera que la energía transportada por la corriente 42 se invierte en calentar la corriente 12 hasta alcanzar la mezcla de ambas una temperatura de 525 °C. A esta temperatura se produce de forma espontánea la desvolatilización de la biomasa produciendo una corriente de productos en fase gas a esa misma temperatura (corriente 23 de la Figura 4) y otra corriente de sólidos formada por un 98% de arena y un 2% de char o material carbonoso no desvolatilizado (corriente 24 de la Figura 4).

20

Si bien la corriente en fase gas (corriente 23 en la Figura 4) es conducida a un condensador tipo carcasa-tubos (equipo 3 de la Figura 4), la corriente de sólidos (corriente 24 de la Figura 4) es conducida a un reactor de combustión (equipo 4 de la Figura 4). El condensador (equipo 3 de la Figura 4) está refrigerado mediante el aporte de 1775 kg/h de agua a 20 °C que circula por el lado de la carcasa y que abandona este equipo a una temperatura de 30 °C.

25

El biocombustible producido (corriente 31 de la Figura 4) tiene un caudal másico de 70 kg/h y una temperatura de 35 °C. Por su parte, la fracción no condensada (corriente 34 de la Figura 4) posee un caudal másico de 34 kg/h y es conducida al reactor de combustión (equipo 4 de la Figura 4) donde se quema juntamente con la materia orgánica contenida por la corriente 24.

- 5 El reactor de combustión (equipo 4 de la Figura 4) opera a una temperatura de 800 °C y a presión atmosférica 1 bar. Además de las corrientes de combustible (corrientes 24 y 34 de la Figura 4) se alimentan 536 kg/h de aire precalentado a una temperatura de 250 °C. En este reactor se produce la combustión total de la materia orgánica con un 20 % de exceso de aire originando una corriente en fase gas (corriente 44 de la Figura 4) con un temperatura de 800
- 10 °C y una composición que aparece en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición del gas de escape del reactor de combustión

Compuesto	% Volumen
O ₂	3.3
N ₂	74.3
H ₂ O	4.4
CO ₂	18.0

- Debido a que la corriente de gases (corriente 44 de la Figura 4) que abandona el reactor (equipo 4 de la Figura 4) de combustión lo hace a alta temperatura, es posible recuperar calor de la misma. En concreto, si se considera una temperatura de humos de 130 °C, sería posible
- 15 recuperar 129 kW de energía térmica.

- Además de la corriente en fase gas, en el reactor de combustión también se produce una corriente de sólidos (corriente 41 de la Figura 4) a una temperatura de 800 °C y un caudal másico de 2300 kg/h. Esta corriente está compuesta por arena y posibles cenizas ya que toda
- 20 la materia orgánica se ha convertido en CO₂ y H₂O. Esta corriente se divide en dos partes. Por una parte, la corriente 42 (1500 kg/h) es conducida al reactor de pirolisis (equipo 2 de la Figura 4) para suministrar la energía necesaria en este reactor en forma de calor sensible. El resto del material sólido (corriente 45 de la Figura 4) tiene un caudal másico de 800 kg/h y es conducido a un sistema de enfriamiento auxiliar de sólidos (equipo 5 de la Figura 4). En este
- 25 equipo se reduce su temperatura de 800 °C hasta 250 °C, temperatura apropiada para ser recirculado (corriente 51 de la Figura 4) hasta el secadero (equipo 1 de la Figura 4). El calor

cedido por el material sólido es transferido a 936 kg/h de aire frío (corriente 52 de la Figura 4) que es de esta manera precalentado hasta alcanzar 250 °C. Esta corriente de aire es dividida en dos partes. La primera de ellas (corriente 54 de la Figura 4) posee un caudal másico de 536 kg/h y es utilizada como comburente en el reactor de combustión (equipo 4 de la Figura 4).

5 La segunda parte (corriente 55 de la Figura 4) posee un caudal másico de 500 kg/h y es utilizada en el secadero (equipo 1 de la Figura 4) para facilitar la evaporación del agua que inicialmente se introduce con la biomasa (corriente 11 de la Figura 4). Además, para cumplir el balance de energía en el sistema de enfriamiento auxiliar (equipo 5 de la Figura 4), es necesario extraer 115 kW de potencia térmica que puede ser simplemente disipada o

10 transferida a un sistema de recuperación de calor.

Ejemplo 2. – PIROLISIS DE BIOMASA CON SECADO INTEGRADO Y TRANSPORTADOR DE CALOR

En este ejemplo se muestran los balances de materia y energía para una planta de pirolisis de biomasa de acuerdo con el esquema de la Figura 6 para procesar 100000 ton/año de biomasa forestal (corriente 11 de la Figura 6), lo que supone un caudal másico horario de 14286 kg/h de biomasa. La presión de trabajo para todos los equipos de la planta es de 1 bar. El material utilizado (biomasa forestal) posee un 30% de humedad, un 1% de cenizas y un 69% de materia orgánica y entra en forma de astillas al secadero (equipo 1 de la Figura 6). Además de

15 la biomasa, también se introducen en el secadero 90000 kg/h de aire que han sido precalentados hasta 250 °C en un cambiador de calor (equipo 5 de la Figura 6). Esta corriente de aire (corriente 13 de la Figura 6), que ahora es aire húmedo, abandona el secadero (equipo 1 de la Figura 6) a una temperatura de 115 °C y con un caudal másico de 94286 kg/h. Esta corriente puede ser emitida a la atmósfera o su energía puede ser recuperada en equipos

20 apropiados comerciales. La biomasa seca (corriente 12 de la Figura 6) abandona el secadero (equipo 1 de la Figura 6) también a una temperatura de 115 °C y con un caudal másico de 10002 kg/h. Para cerrar el balance de energía del secadero (equipo 1 de la Figura 6) es necesario proporcionar 220 kW de energía térmica (corriente E62 de la Figura 6) para lo que se utiliza el diseño de secadero descrito en la presente invención caracterizado por utilizar un

25 gas caliente que circula por el interior de un tornillo sinfin y por el exterior de su carcasa envolvente y por disponer de álabes perforados que facilitan el transporte del gas de barrido minimizando la pérdida de carga.

30

La biomasa seca (corriente 12 de la Figura 6) es introducida en un reactor de pirolisis (equipo 2 de la Figura 6) que opera a 500 °C debido a que también se introducen 22000 kg/h de un transportador de calor a 800 °C (corriente 42 de la Figura 6). Este transportador de calor puede ser arena o cualquier otro sólido que tenga o no propiedades catalíticas en la reacción de pirolisis o para la posterior conversión de los productos primarios de pirolisis. Durante el proceso de pirolisis se produce la desvolatilización de la biomasa liberándose 7134 kg/h de material volátil (corriente 23 de la Figura 6) que es conducida a un sistema de condensación (equipo 3 de la Figura 6) refrigerado por 6452 kg/h de agua a 20 °C que lo abandona a 30 °C. De esta manera es posible reducir la temperatura de los gases procedentes del reactor de pirolisis hasta 35 °C produciéndose la condensación de los bio-combustibles (corriente 31 de la Figura 6). La fracción no condensada (corriente 34 de la Figura 6) posee un caudal másico de 2217 kg/h y es conducida al reactor de combustión (equipo 4 de la Figura 6). En este equipo (equipo 4 de la Figura 6) se lleva a cabo tanto la combustión del gas no condensado (corriente 34 de la Figura 6) como de la fracción sólida no desvolatilizada de la biomasa (corriente 24) a una temperatura de 800 °C. Para llevar a cabo la combustión, se adiciona al reactor de combustión 37927 kg/h de aire (corriente 54 de la Figura 6), el cual ha sido precalentado hasta 250 °C en un cambiador de calor (equipo 5 de la Figura 6) a partir de aire frío a 25 °C (corriente 52 de la Figura 6) y del calor transferido por los gases procedentes del reactor de combustión (corriente 45 de la Figura 6) que abandonan este equipo a una temperatura de 205 °C (corriente 56 de la Figura 6). Asimismo, en el mismo cambiador de calor (equipo 5 de la Figura 6) se lleva a cabo el precalentamiento del aire que posteriormente se utiliza en el secadero de biomasa (corriente 51 y equipo 1 de la Figura 6). Finalmente, la corriente de gases de combustión enfriados en el cambiador de calor (corriente 56 y equipo 5 de la Figura 6) es transferida al exterior del secadero de biomasa en donde transfiere 220 kW que se utilizan para el secado de la biomasa fresca (corriente 11 de la Figura 6). Finalmente, el gas de combustión es emitido a la atmósfera a una temperatura de 190 °C (corriente 61 de la Figura 6).

Reivindicaciones

1. Aparato basado en un transportador de sólidos para llevar a cabo procesos físicos o químicos en los que interviene al menos un sólido, caracterizado porque comprende los siguientes elementos:
 - 5 a) un lecho móvil,
 - b) una entrada de gas,
 - c) un tornillo sinfín que comprende (i) un eje central, (ii) unos álabes o espiral y (iii) una placa en forma de corona circular soldada en ambos extremos del tornillo para evitar el posible paso de material sólido hacia las zonas de cierre del mismo,
 - 10 d) un sistema que evita el escape de gas o fluido térmico hacia el exterior,
 - e) un motor eléctrico dotado de un reductor y un variador de frecuencia que mueve el tornillo,
 - f) una carcasa interior que envuelve dicho tornillo, dicha carcasa comprende:
 - una entrada de sólido en su parte superior,
 - 15 - una salida de sólidos convertidos en su parte inferior,
 - un sistema de cierre,
 - un sistema que crea un canal helicoidal en la parte exterior de dicha carcasa interior para incrementar el recorrido del gas o fluido térmico
 - y en su parte superior, una salida de gas hacia el exterior,
 - 20 g) una carcasa exterior que envuelve dicho tornillo y la carcasa interior, y que sirve de techo para el canal helicoidal y aísla térmicamente el conjunto formado por el tornillo sinfín, la carcasa interior y el canal helicoidal, del exterior.
2. Un aparato según la reivindicación 1, caracterizado porque el lecho móvil es de un material metálico.
- 25 3. Un aparato según la reivindicación 1 caracterizado porque comprende una entrada de aire o gas inerte que arrastra la humedad liberada y proporciona al menos parte de la energía para llevar a cabo un proceso de evaporación del agua inherente a operaciones de secado.

4. Un aparato según la reivindicación 1 caracterizado porque el tornillo sinfín tiene un eje central hueco para transportar un fluido caliente por su interior, para transmitir calor al interior del aparato y favorecer así el secado del sólido.
5. Un aparato según una de las reivindicaciones 1 o 4 caracterizado porque el eje central del tornillo sinfín es hueco y dispone de: (i) un tubo concéntrico aislado con el eje del tornillo sinfín que introduce el fluido térmico hasta la zona caliente del aparato, (ii) juntas y retenes que unen el eje rotatorio del tornillo sinfín con el tubo concéntrico aislado y (iii) de una cámara para recoger fluido térmico que pudiese escapar del tornillo sinfín.
6. Un aparato según la reivindicación 1 caracterizado porque dichos álabes o espiral están perforado.
7. Uso del aparato definido en una de las reivindicaciones 1 a 6 para realizar una reacción en la que se pone en contacto un gas y un sólido.
8. Uso según la reivindicación 7, caracterizado porque la reacción es catalítica.
9. Uso del aparato definido en una de las reivindicaciones 1 a 6 para realizar un proceso físico en el que se produce:
- transferencia simultánea o no de materia y energía o
 - transferencia no simultánea de materia y energía.
10. Uso según la reivindicación 7, caracterizado porque el proceso es un procedimiento de secado.
11. Un procedimiento para revalorizar energética y materialmente una materia prima mediante un ciclo de pirólisis, catalítica o no catalítica, más combustión, que se lleva a cabo con el aparato definido en la reivindicación 1, dicho procedimiento caracterizado porque comprende:
- a) una etapa de secado mediante tornillo sinfín en la que se realiza la transferencia de calor a la materia prima,
 - b) una reacción de pirolisis de la corriente de sólidos obtenida en la etapa de secado y de una segunda corriente de sólido transportador de calor procedente de una reacción de combustión que se realiza en un reactor de lecho móvil tipo tornillo sinfín definido en la reivindicación 1, con los álabes perforados en la que se alimentan:
 - la corriente de sólidos obtenida en la etapa de secado constituida por materia prima seca mezclada con el sólido transportador de calor junto

- con otra corriente de sólido transportador de calor procedente de una reacción de combustión que sirve para transferir calor a la primera corriente en el propio reactor de pirolisis,
obteniéndose una corriente gaseosa y una corriente de producto sólido que se alimenta a
5 una reacción de combustión que comprende el sólido transportador de calor y materia prima seca no convertida,
 - c) una etapa de condensación de la corriente gaseosa efluente de la reacción de pirolisis obteniéndose una fracción condensada y una fracción no condensada la cual se alimenta a un reactor de combustión,
 - 10 d) una reacción de combustión que genera la energía necesaria para llevar a cabo el secado y la reacción de pirolisis de la materia prima.
12. Un procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado porque:
- en la etapa a) se realiza la transferencia de calor a la materia prima mediante:
15 - un gas precalentado procedente de una etapa de enfriamiento de sólidos y
- un sólido que actúa como transportador de calor recirculado procedente de la etapa de enfriamiento de sólidos,
los cuales se mezclan con la materia prima alimentada, de forma que se obtiene:
- una corriente de sólidos que comprende materia prima seca mezclada con el sólido
20 transportador de calor y
- una corriente en fase gas formada por el gas precalentado junto con la humedad inicialmente presente en la materia prima,
 - la etapa d) comprende realizar una reacción de combustión que genera la energía necesaria para llevar a cabo el secado y la reacción de pirolisis de la materia prima la
25 cual se alimenta con (i) la corriente de producto sólido obtenida de la reacción de pirolisis, (ii) la fracción no condensada obtenida en la etapa de condensación y (iii) una corriente de gas precalentado procedente de la etapa de enfriamiento de sólidos, y se obtiene: (i) una corriente gaseosa a alta temperatura de la que se puede recuperar energía térmica y (ii) una corriente de sólidos que se separa en dos subcorrientes, una de
30 ellas se alimenta a la reacción de pirolisis para suministrar la energía necesaria en forma de calor sensible y la otra subcorriente se alimenta a una etapa de enfriamiento de sólidos,

y además comprende una etapa e) de enfriamiento de sólidos que se alimenta con parte de la corriente de sólidos efluente de la reacción de combustión y una corriente de gas frío, obteniéndose:

- una corriente de sólidos enfriados, la cual se recircula a la etapa de secado y
- 5 - una corriente de gas caliente que se divide en dos subcorrientes: la primera se utiliza como comburente en la reacción de combustión y la segunda se utiliza en la etapa de secado para facilitar la evaporación del agua de la materia prima.

13. Un procedimiento según la reivindicación 11 caracterizado porque la materia prima es
10 materia orgánica está seleccionada entre biodegradable y no biodegradable que contiene carbono en su composición elemental.

14. Un procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado porque en la etapa de secado se utiliza un tornillo sinfín con los álabes perforados, teniendo dichos álabes unos orificios con un tamaño inferior al tamaño mínimo de la materia prima y del sólido transportador de
15 calor.

15. Un procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado porque en la etapa de secado se utiliza aire como gas precalentado procedente de la etapa de enfriamiento de sólidos.

16. Un procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado porque la etapa de secado se realiza en condiciones tales que se reduce el porcentaje de humedad desde un 80% en peso
20 hasta un 0% en peso.

17. Un procedimiento según reivindicación 11, caracterizado porque la etapa de secado se realiza: (i) a una temperatura comprendida entre 50 °C y 250 °C, (ii) a una presión de trabajo comprendida entre 0.1 bar y 3 bar y (iii) con un tiempo de residencia de la materia prima comprendido entre 0.5 minutos y 120 minutos.

25 18. Un procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado porque el sólido transportador de calor comprende materiales de naturaleza inorgánica.

19. Un procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado porque en la etapa de secado el aire precalentado está a una temperatura comprendida entre 100 °C y 300 °C y el sólido que actúa como transportador de calor recirculado está a una temperatura comprendida entre 100
30 °C y 300 °C.

20. Un procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado porque en la reacción de pirólisis se utiliza un tornillo sinfín con los álabes perforados, con un tamaño de orificio

inferior al tamaño mínimo de las partículas de materia prima y del sólido transportador de calor.

21. Un procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado porque la reacción de pirolisis es catalítica y en ella reacción el sólido transportador de calor se usa como catalizador.

22. Un procedimiento según la reivindicaciones 11, caracterizado porque la reacción de pirolisis se realiza a una temperatura comprendida entre 400 °C y 1000 °C.

23. Un procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado porque en la reacción de pirólisis se obtiene una corriente de producto sólido, la cual se alimenta a la reacción de combustión y porque dicha corriente comprende material carbonoso no desvolatilizado como materia prima seca no convertida,

24. Un procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado porque en la reacción de pirólisis se piroliza la corriente de sólidos que posee una relación en peso biomasa/sólido transportador de calor comprendida entre 1 y 10.

25. Un procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado porque en la reacción de pirólisis la corriente de sólido transportador de calor procedente del reactor de combustión está a una temperatura comprendida entre 500 y 1100 °C.

26. Un procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado porque la corriente de sólidos obtenida en la reacción de combustión comprende el sólido transportador de calor y unas cenizas,

27. Un procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado porque el gas que se alimenta en la etapa de enfriamiento de sólidos es aire,

28. Un procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado porque en la etapa de enfriamiento de sólidos la temperatura de la corriente de sólidos disminuye desde la temperatura de operación de la reacción de combustión hasta alcanzar una temperatura comprendida entre 100 °C y 300 °C, y la corriente de aire se precalienta a una temperatura comprendida entre 100 °C y 300 °C.

29. Un procedimiento según la reivindicación 11 caracterizado porque:

- en la etapa a) se realiza la transferencia de calor a la materia prima mediante:

un gas precalentado procedente de una etapa de precalentamiento y mediante un fluido térmico caliente de forma que se obtiene una corriente de sólidos secos y una segunda

corriente en fase gas formada por el gas precalentado introducido junto con la humedad inicialmente presente en la materia prima,

- la etapa d) comprende una reacción de combustión que genera la energía necesaria para llevar a cabo el secado y la reacción de pirolisis de la materia prima mediante un reactor de combustión en el que se alimenta (i) la corriente de producto sólido obtenida de la reacción de pirolisis, (ii) la fracción no condensada obtenida en la etapa de condensación y (iii) una corriente de gas precalentado procedente de una etapa de precalentamiento, y se obtiene: (i) una corriente gaseosa a alta temperatura de la que se puede recuperar energía térmica que se dirige a una etapa de precalentamiento o a la etapa de secado y (ii) una corriente de sólidos que se recircula a la reacción de pirolisis para suministrar la energía necesaria en forma de calor sensible,
- y se realiza una etapa e) de precalentamiento mediante un cambiador de calor en la que se alimenta la corriente gaseosa efluente del reactor de combustión y una corriente de gas frío y se obtiene una corriente de gas caliente que se divide en dos subcorrientes: la primera se utiliza como comburente en el reactor de combustión y la segunda se utiliza en la etapa de secado para facilitar la evaporación del agua de la materia prima.

30. Un procedimiento según la reivindicación 29, caracterizado porque en la etapa de secado se utiliza gas inerte o aire como gas precalentado procedente de la etapa de precalentamiento o bien procedente del reactor de combustión,
31. Un procedimiento según la reivindicación 30 caracterizado porque en la etapa de secado la transferencia de calor se realiza por una corriente de gas inerte o aire, más preferiblemente aire, que circula por el interior del tornillo sinfín en contacto con la materia prima a una temperatura comprendida entre 100°C y 300°C, y/o a través de un fluido térmico que circula por el exterior de la carcasa y el interior del eje del tornillo sinfín.
32. Un procedimiento según la reivindicación 29 caracterizado porque el gas que se alimenta en la etapa de precalentamiento es aire.
33. Una instalación para secado de sólidos caracterizada porque comprende un aparato definido en una de las reivindicaciones 1 a 10.

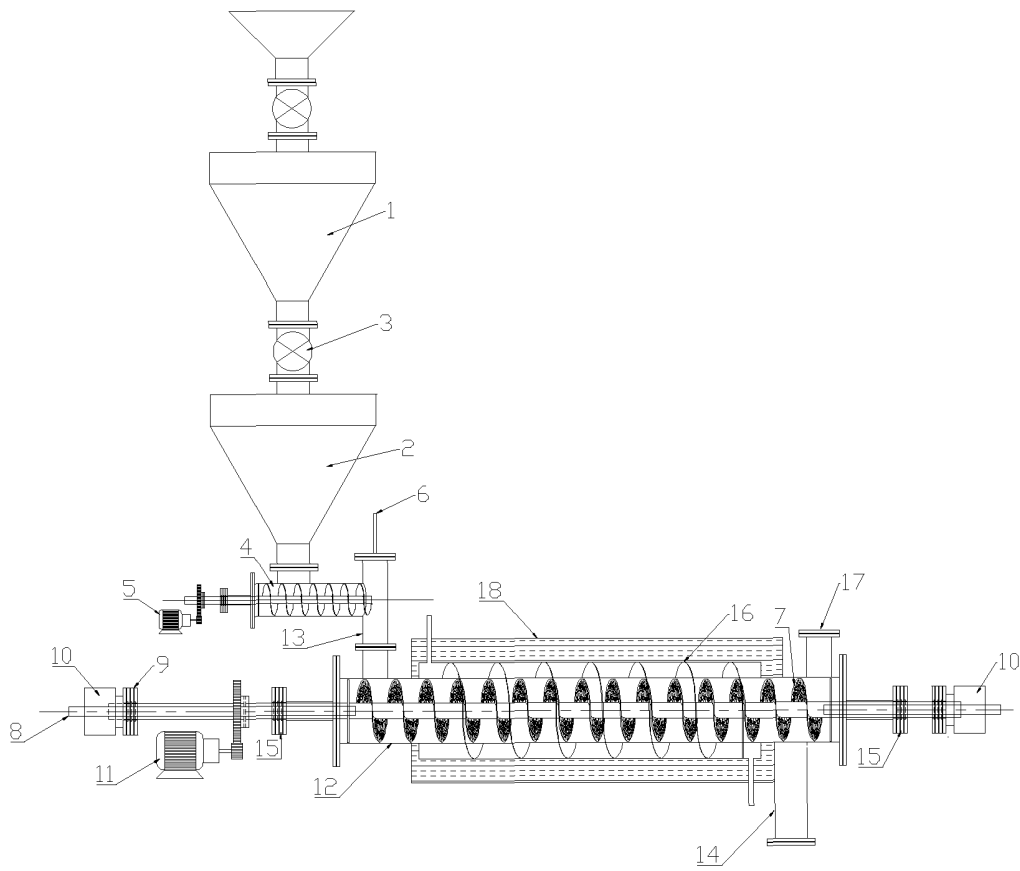


Figura 1

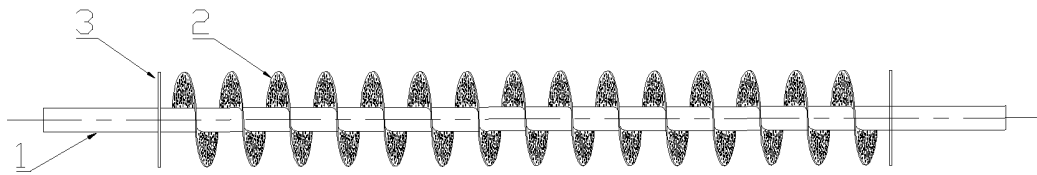


Figura 2

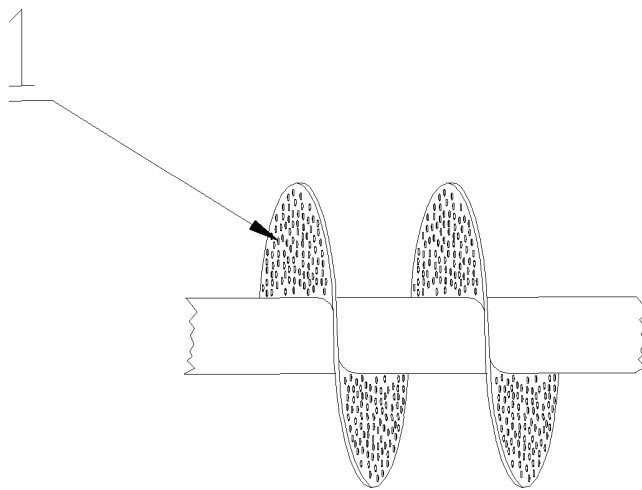


Figura 3

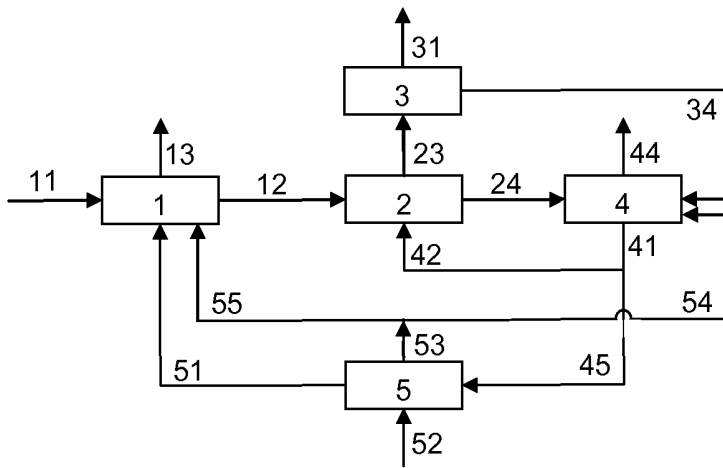


Figura 4

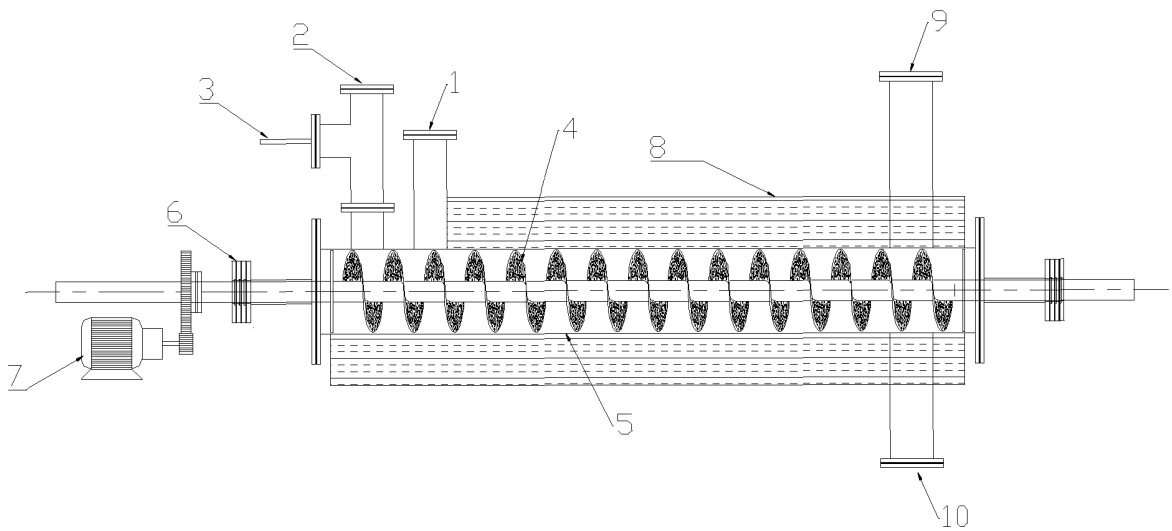


Figura 5

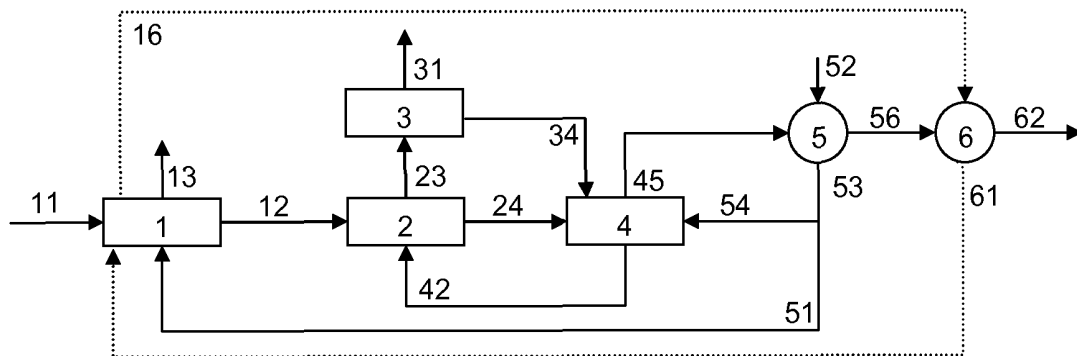


Figura 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES2012/070145

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C10B47/44 (2006.01)

C10B53/02 (2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C10B, C10G

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPODOC, INVENES, WPI, XPESP, TXTUS, TXTEP1, TXTGB1

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 4317412 A1 (WEGNER & CO VERFAHRENSTECHNIK) 24.11.1994, fig. 1 and 2, column 1, lines 50-57; column 2, lines 55-65; column 3, lines 23-46.	1-33
A	EP 1970424 A1 (PRO NATURA INTERNAT) 17.09.2008, paragraphs [0001], [0020], [0025], [0033], [0041] - [0044], [0049] – [0053], fig. 1 and 2.	1-33
A	FR 2300124 A1 (DECO IND) 03.09.1976, pág. 1, lines 1-10; pág. 3, lines 3-15; pág. 5, lines 10-15; pág. 18, lines 30-37; pág. 19, lines 1-20.	1-33

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance.</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means.</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>
--	--

Date of the actual completion of the international search
13/06/2012

Date of mailing of the international search report
(25/06/2012)

Name and mailing address of the ISA/
OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)
Facsimile No.: 91 349 53 04

Authorized officer
I. González Balseyro

Telephone No. 91 3496881

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES2012/070145

Information on patent family members

Patent document cited in the search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE4317412 AC	24.11.1994	NONE	
-----	-----	-----	-----
EP1970424 A	17.09.2008	EP20070104265	15.03.2007
-----	-----	-----	-----
FR2300124 AB	03.09.1976	BE838046 A	14.05.1976
		NO760410 A	11.08.1976
		DK50076 A	11.08.1976
		SE7601460 A	11.08.1976
		FI753581 A	11.08.1976
		NL7601324 A	12.08.1976
		LU74316 A	13.08.1976
		JP51093909 A	18.08.1976
		JP53031642 B	04.09.1978
		JP949453 C	27.04.1979
		DE2600530 A	19.08.1976
		JP51108003 A	25.09.1976
		ES444715 A	01.09.1977
		US4077868 A	07.03.1978
		ZA7600344 A	26.04.1978
		AU2390177 A	12.10.1978
		GB1547961 A	04.07.1979
		GB1547962 A	04.07.1979
		AU509842 B	29.05.1980
		CA1080147 A	24.06.1980
		AT362745 B	10.06.1981
		ATA91876 A	15.11.1980
		IT1060486 B	20.08.1982
-----	-----	-----	-----

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº

PCT/ES2012/070145

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

C10B47/44 (2006.01)

C10B53/02 (2006.01)

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

C10B, C10G

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda internacional (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

EPODOC, INVENES, WPI, XPESP, TXTUS, TXTEP1, TXTGB1

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones nº
A	DE 4317412 A1 (WEGNER & CO VERFAHRENSTECHNIK) 24.11.1994, fig. 1 y 2, columna 1, líneas 50-57; columna 2, líneas 55-65; columna 3, líneas 23-46.	1-33
A	EP 1970424 A1 (PRO NATURA INTERNAT) 17.09.2008, párrafos [0001], [0020], [0025], [0033], [0041] - [0044], [0049] - [0053], fig. 1 y 2.	1-33
A	FR 2300124 A1 (DECO IND) 03.09.1976, pág. 1, líneas 1-10; pág. 3, líneas 3-15; pág. 5, líneas 10-15; pág. 18, líneas 30-37; pág. 19, líneas 1-20.	1-33

En la continuación del recuadro C se relacionan otros documentos

Los documentos de familias de patentes se indican en el anexo

* Categorías especiales de documentos citados:

"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.

"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.

"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).

"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.

"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.

"T" documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.

"X" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.

"Y" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.

"&" documento que forma parte de la misma familia de patentes.

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.
13/06/2012

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional.
25 de junio de 2012 (25/06/2012)

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional

OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)

Nº de fax: 91 349 53 04

Funcionario autorizado

I. González Balseyro

Nº de teléfono 91 3496881

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº

Informaciones relativas a los miembros de familias de patentes

PCT/ES2012/070145

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de Publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de Publicación
DE4317412 AC	24.11.1994	NINGUNO	
-----	-----	-----	-----
EP1970424 A	17.09.2008	EP20070104265	15.03.2007
-----	-----	-----	-----
FR2300124 AB	03.09.1976	BE838046 A	14.05.1976
		NO760410 A	11.08.1976
		DK50076 A	11.08.1976
		SE7601460 A	11.08.1976
		FI753581 A	11.08.1976
		NL7601324 A	12.08.1976
		LU74316 A	13.08.1976
		JP51093909 A	18.08.1976
		JP53031642 B	04.09.1978
		JP949453 C	27.04.1979
		DE2600530 A	19.08.1976
		JP51108003 A	25.09.1976
		ES444715 A	01.09.1977
		US4077868 A	07.03.1978
		ZA7600344 A	26.04.1978
		AU2390177 A	12.10.1978
		GB1547961 A	04.07.1979
		GB1547962 A	04.07.1979
		AU509842 B	29.05.1980
		CA1080147 A	24.06.1980
		AT362745 B	10.06.1981
		ATA91876 A	15.11.1980
		IT1060486 B	20.08.1982
-----	-----	-----	-----