

REACTOR PARA PIRÓLISIS

CAMPO DE LA INVENCION

- 5 La presente invención se relaciona con reactores para pirólisis. Específicamente, la presente invención se relaciona con reactores para pirólisis de caucho o biomasa, del tipo transportadores sin fin.

DESCRIPCION DEL ESTADO DE LA TECNICA

10

La pirólisis se refiere a un proceso mediante el cual materiales se descomponen en componentes tales como gases, líquidos y sólidos, sin requerir combustión u otro tipo de oxidación. Los procesos de pirólisis se utilizan para obtener productos y sustancias que son utilizables en otros procesos productivos, y suponen una menor producción de contaminantes a diferencia de otros procesos de valorización energética. Dicho lo anterior, el estado de la técnica divulga reactores y métodos para pirólisis, que permiten descomponer residuos en gases, líquidos y sólidos, tales como los divulgados en los documentos US20110089015A1 y el documento S. Sirijanusorn, K. Sriprateep, and A. Pattiya, "Pyrolysis of cassava rhizome in a counter- rotating twin screw reactor unit", Bioresource Technology, vol. 139, pp. 343–348, 2013.

20

El documento de patente US20110089015A1 enseña un reactor para pirólisis de diferentes materiales como, por ejemplo, caucho con un tamaño de partícula entre 0.001 y 1.0 pulgadas (0.0254mm a 25.4mm). Dicho reactor comprende un contenedor con una entrada y una salida, dos ejes con aspas en paralelo en donde, las aspas de cada uno de los ejes no se tocan y pueden tener un ángulo entre sí. Adicionalmente el reactor puede tener un condensador conectado a varias salidas del contenedor, donde llegan los gases provenientes del proceso de pirólisis. El reactor se calienta mediante medios convencionales de aire caliente o también, se puede calentar mediante la energía generada por los combustibles resultantes del proceso de pirólisis. Sin embargo, el documento US20110089015A1 no enseña cómo pirolizar la mayor cantidad posible de material dentro del reactor evitando los atascamientos.

25

30

Por otro lado, el documento S. Sirijanusorn, K. Sriprateep, and A. Pattiya, "Pyrolysis of cassava rhizome in a counter- rotating twin screw reactor unit", Bioresource Technology, vol. 139, pp. 343–348, 2013, divulga un equipo y un método para pirólisis el cual cuenta con un contenedor con dos tornillos transportadores dentro del contenedor. Dicho documento también enseña un método para la pirólisis de biomasa residual de yuca, en donde varios parámetros fueron analizados tales como, la temperatura de pirólisis (entre 500 y 700 °C), el tamaño de partícula de la biomasa (entre 0.25 y 0.60 mm), el uso de arena

35

40

como medio de transferencia de calor, el caudal (entre 4 y 10 l/min) y la presión de nitrógeno (entre 1 y 3 bar). Sin embargo, dicho documento no enseña cómo pirolizar materiales que puedan dar origen a posibles atascos en el interior del reactor.

- 5 Por lo tanto, si bien los documentos previamente mencionados divulgan reactores para pirólisis, los documentos citados no enseñan cómo pirolizar materiales sin que ocurran atascos dentro del reactor que puedan producir reacciones desfavorables.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

10

La presente invención se relaciona con un reactor para pirólisis que comprende un contenedor con una entrada y una salida, cuya área transversal de la abertura del contenedor tiene forma de caracol de pascal, dos tornillos alimentadores localizados en el interior del contenedor, una fuente de calor conectada al contenedor, un mecanismo alimentador
15 conformado por un elemento de transición, como una tolva, conectado a la entrada del contenedor y un transportador conectado entre el elemento de transición y la entrada del contenedor. Opcionalmente, al reactor se puede conectar con un suministro de gas de inerte.

20

Adicionalmente, la presente invención también comprende un método para la conversión de caucho por pirólisis que comprende las etapas de suministrar un material con un tamaño máximo de partícula de a lo sumo 10 mm, pirólisis de dicho material a una temperatura entre 200°C y 550°C con un tiempo de residencia de 1 a 15 minutos, separar el residuo sólido resultante de los vapores resultantes y finalmente, condensar los volátiles condensables.

25

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La FIG. 1 ilustra una vista lateral en corte de un reactor para pirólisis.

30

La FIG. 2 ilustra un contenedor con un detalle de la sección transversal de dicho contenedor.

La FIG. 3 ilustra una vista de despiece en isométrico de un reactor para pirólisis.

35

La FIG. 4 ilustra una vista en corte lateral y en isométrico de un reactor para pirólisis.

La FIG. 5 ilustra una gráfica correspondiente a un análisis termogravimétrico de caucho de neumáticos usados.

La FIG. 6 ilustra una gráfica correspondiente a un análisis próximo de un diagrama termogravimétrico de caucho de neumáticos usados.

5 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención, y haciendo referencia a la FIG. 1 y a la FIG. 2 se relaciona con un reactor para pirólisis de materiales y residuos orgánicos, que comprende un contenedor (1) con una entrada (2) y una salida (3), dos tornillos sinfín dispuestos dentro del contenedor; donde los tornillos sinfín transportan los materiales entre la entrada (2) y la salida (3). Una fuente de calor (6) conectada al contenedor (1) y un mecanismo alimentador (9). El mecanismo alimentador (9) se conforma de un mecanismo de transporte de sólidos que tiene una entrada y una salida. En donde la salida del mecanismo de transporte de sólidos se conecta con la entrada del contenedor (1).

Para la presente invención se entenderá por material a procesar a una sustancia, alimento, producto, elemento perecedero, producto farmacéutico, producto nutraceútico, sustancia química o biológica o elemento derivado de material orgánico como todos aquellos derivados del petróleo tales como caucho, etc. El material a procesar particularmente puede ser un elemento que pierde sus calidades organolépticas, nutritivas o activas en el tiempo, debido a la exposición a sustancias en estado gaseoso encontrados normalmente en la atmósfera, como son el oxígeno, el vapor de agua, el etileno o el dióxido de carbono. Algunos ejemplos de elementos perecederos son frutas, semillas, granos, semillas, verduras, vegetales, etc.

El mecanismo de transporte de sólidos puede ser un elemento de transición (10) conectado con un transportador (11) que comprende una entrada y una salida en donde, por dicha entrada ingresa el material a procesar que posteriormente es desplazado hacia el contenedor (1).

Por su parte, el transportador (11) es un mecanismo que permite direccionar el material a procesar que entra desde la entrada del transportador (11) hacia la salida del transportador (11). Opcionalmente, el material a procesar puede entrar al transportador (11) manualmente por acción de un usuario.

Uno de los efectos técnicos de incluir un transportador (11) es permitir que el material a procesar se desplace al interior del contenedor (1) evitando la acumulación de grumos y permitiendo un suministro controlado del mismo hacia el interior del contenedor (1).

Preferiblemente, dicho transportador (11) se selecciona del grupo conformado por alimentadores de tornillos, alimentadores de bandas, transportadores cerrados, transportadores cerrados con alimentadores de tornillos, un transportador de tornillo, un transportador de tornillo con salida cónica (*plug feeder*, en inglés), transportadores de sólidos por banda, “*grizzleys*”, transportador vibratorio, conductos rectos inclinados, alimentadores de pistón y combinaciones de los anteriores.

Dicho transportador (11) también puede transportar el material a procesar mediante gravedad al contenedor (1) aprovechando la energía potencial. Un ejemplo de un transportador (11) de gravedad es un conducto dispuesto en un ángulo mayor a 5° respecto a una horizontal, en el cual el material a procesar ingresa por la parte superior de dicho conducto y por medio de la acción de la gravedad y la inclinación de dicho conducto, el material a procesar es desplazado hacia el contenedor (1).

Particularmente, cuando el transportador (11) tiene un tornillo de alimentación, este se selecciona entre el grupo compuesto por tornillos sin fin de hélice helicoidal, tornillo sin fin de paletas cortadas, tornillo sin fin de paletas tipo cinta, tornillo sin fin con palas, tornillo sin fin de paletas plegadas y cortadas, tornillo sin fin de paso corto de paletas cortadas con palas, tornillo sin fin de paletas distribuidas formando un cono, tornillo sin fin de diámetro escalonado, tornillo sin fin de paso largo, tornillo sin fin de doble paleta y tornillos alimentadores equivalentes conocidos por una persona medianamente versada en la materia.

Por su parte, el paso de la hélice del tornillo sin fin se selecciona del grupo entre hélice continua de paso igual al diámetro, hélice de gran paso de 1.5 a dos veces el diámetro, hélice de pequeño paso (normalmente la mitad del diámetro), hélice de paso variable, hélice de cinta, hélice mezcladora con dos hélices tipo cinta, hélice mezcladora con eje provisto de paletas, elementos equivalentes conocidos por una persona medianamente versada en la materia y combinación de las anteriores.

Preferiblemente. Y haciendo referencia a la FIG. 1 el transportador (11) se conecta a un segundo mecanismo rotacional (12). Dicho segundo mecanismo rotacional (12) permite que el tornillo de alimentación del transportador (11) rote controladamente, permitiendo a su vez el ingreso del material a procesar desde el transportador (11) hacia el contenedor (1). El segundo mecanismo rotacional (12) también permite interrumpir la actividad del transportador (11) lo que detiene la alimentación del material a procesar hacia el contenedor (1) en caso de ocurrir algún accidente que comprometa la salud de un ser vivo, o cuando el material a procesar se queda represado en el transportador (11).

Por ejemplo, el segundo mecanismo rotacional (12) se selecciona del grupo conformado por: cadenas de transmisión, correas o bandas de transmisión, poleas, poleas dentadas, engranajes, mecanismo de piñón y tornillo sin fin, mecanismos de piñones, mecanismo de cremallera, ruedas o discos de fricción, ejes nervados, juntas cardán y juntas homocinéticas, árbol de levas, elementos equivalentes que sean conocidos por una persona medianamente versada en la materia y combinaciones de los anteriores.

Dicho segundo mecanismo rotacional (12) preferiblemente está conectado a un motor, y a su vez, dicho motor opcionalmente está conectado a un reductor de velocidad el cual permite ajustar la velocidad y/o el torque del transportador (11), a unos valores adecuados para la transformación vía pirólisis del material a procesar.

Por su parte, el motor se selecciona del grupo conformado por motores de corriente alterna (v.g. motores sincrónicos trifásicos, motores asíncronos sincronizados, motores con un rotor de imán permanente, motores monofásicos, motores bifásicos, motores con arranque auxiliar bobinado y con condensador), motores de corriente continua (v.g. motores de excitación en serie, motores de excitación en paralelo, motores de excitación compuesta), motores con arranque auxiliar bobinado y motores equivalentes que sean conocidos por una persona medianamente versada en la materia.

Además, el reductor de velocidad se selecciona del grupo conformado por: reductores de velocidad de sin fin corona, reductores de velocidad de engranajes, reductores cicloidales, reductores de velocidad planetarios, reductores de engranajes internos, reductores de engranajes externos, reductores equivalentes que sean conocidos por una persona medianamente versada en la materia y combinaciones de los anteriores.

A la entrada del transportador (11) preferiblemente se conecta un elemento de transición (10) como, por ejemplo, una tolva, lo que permite ingresar diferentes volúmenes del material a procesar.

Dicho elemento de transición (10) se selecciona del grupo conformado por tolvas redondas/cuadradas, tolvas cónicas, tolvas biseladas, tolvas de transición, tolva chaflanada, tolva piramidal, tolva de abertura cuadrada, cilíndrica de base plana y abertura ranurada, cilíndrica de base plana y abertura circular, elementos equivalentes que sean conocidos por una persona medianamente versada en la materia y combinaciones de los anteriores.

El elemento de transición (10) opcionalmente tiene una entrada de gases por donde puede entrar un gas que permite generar una atmosfera inerte en el interior del contenedor (1). Dicha entrada de gases también permite liberar gases del contenedor (1) durante el funcionamiento del reactor. Adicionalmente, el transportador (11) cuenta con un visor que

permite detener el funcionamiento del reactor o cambiar las condiciones de operación de este en caso de observar algún tipo de funcionamiento indeseado como, por ejemplo, aglomeración de material al interior del mecanismo alimentador (9).

- 5 En una modalidad de la invención, el elemento de transición (10) está conformado por al menos dos partes, las cuales se ensamblan entre sí mediante soldadura por temperatura o por presión, soldadura por fricción, soldadura (v.g. SMAW, GMAW, GTAW, FCAW, y demás métodos aceptados por la *American Welding Society*), soldadura química (v.g. adhesivos epóxicos, metacrilatos, acrílicos), acoplamiento rígido de platillo o por sujeción
- 10 cónica, acoplamiento rígido de manguito o con prisionero, acoplamiento flexible, acoplamiento del tipo de engranaje, acoplamiento de rejilla de acero, acoplamiento de quijada, tornillos y tuercas, clavos, remaches, sujetadores equivalentes conocidos por una persona medianamente versada en la materia y combinación de las anteriores. Uno de los efectos técnicos que el elemento de transición (10) este conformado por al menos dos
- 15 partes, es facilitar el ensamble y el mantenimiento del mecanismo alimentador (9).

Por otro lado, y haciendo referencia a la FIG. 1, FIG. 3 y FIG. 4, en dicho elemento de transición (10) opcionalmente hay un agitador (13). Dicho agitador (13) permite menear el material a procesar dentro del elemento de transición (10) evitando que se generen grumos

20 o bóvedas, o que se aglomere el material a procesar en un solo lugar del elemento de transición (10), lo que permite su correcto ingreso al transportador (11). Opcionalmente el agitador (13) puede ser accionado dentro del elemento de transición (10) mediante tracción humana.

- 25 Dicho agitador (13) se selecciona del grupo conformado por barras, aspas, ejes conectados aspas de forma longitudinal, agitadores equivalentes conocidos por una persona medianamente versada en la materia o combinación de las anteriores.

Opcionalmente, el agitador (13) se conecta con un mecanismo rotacional, lo que permite

30 que el agitador (13) gire al interior del elemento de transición (10). Preferiblemente, el mecanismo rotacional se conecta tanto con el transportador (11) como con el agitador (13), lo que permite que el agitador (13) rote en el interior del elemento de transición (10) mientras el transportador (11) se encuentra en funcionamiento.

- 35 Haciendo referencia a la FIG. 1, el contenedor (1) del reactor cuenta con una entrada (2) que es por donde ingresa el material a tratar hacia el interior del contenedor (1), y una salida (3). Preferiblemente y haciendo referencia a la FIG. 1 y FIG. 3, el contenedor (1) cuenta con una segunda salida, en donde, a la salida (3) se conecta un condensador (15) mientras que la segunda salida se conecta con un recipiente (16). Donde, en el recipiente
- 40 (16) se deposita el material sólido resultante de la reacción dentro del contenedor (1) y por

la salida (3) salen los gases volátiles resultantes de la reacción ocurrida al interior del contenedor (1). Dicha segunda salida permite coleccionar el material sólido resultante del proceso, mientras que por la primera salida se evacúan los gases volátiles resultantes del proceso ocurrido adentro del contenedor (1). Opcionalmente, en una modalidad adicional de la invención, la salida (3) del contenedor (1) comprende una bifurcación que tiene una primera salida conectada con un condensador (15), y una segunda salida conectada con el recipiente (16).

El condensador (15) permite condensar los gases volátiles condensables resultantes de la reacción. Opcionalmente, al condensador (15) se conecta un quemador (17) que permite quemar los gases no condensables, y usar dicho calor generado como una fuente de energía.

Opcionalmente, en una modalidad de la invención, la entrada (2) o cualquiera de las salidas del contenedor (1) terminan en una forma tubular, lo que permite una fácil conexión por medio de tubería. Por otro lado, y preferiblemente la entrada (2) y cualquiera de las salidas del contenedor (1) pueden tener un mecanismo de cierre el cual permite sellar la entrada (2) y cualquiera de las salidas. Lo anterior permite evitar el acceso de materiales contaminantes no deseados al interior del contenedor (1). Otro de los efectos técnicos de incluir un mecanismo de cierre, es evitar que el material a procesar se salga del contenedor (1) antes de terminar el proceso de pirólisis y permitir atmósfera controlada. Dicho mecanismo de cierre se selecciona del grupo conformado por tapas, válvulas, válvulas de retención, válvulas de compuerta, válvulas de bola o válvula esférica, válvula de seguridad o de alivio de presión, válvula de globo (o de asiento), válvula mariposa, válvula de diafragma, válvula rotatoria, válvula antirretorno, como por ejemplo válvula de clapeta oscilante, válvula de muelle, válvula de pistón, válvula de retención de bola, mecanismos equivalentes conocidos por una persona medianamente versada en la materia y combinación de las anteriores.

Por otro lado, el contenedor (1) del reactor tiene una sección transversal constante lo que permite mantener un gradiente constante de temperatura sobre toda la superficie del contenedor (1) y sobre el material a procesar.

Adicionalmente, la forma transversal del interior del contenedor (1) tiene una forma que se selecciona del grupo conformado por cuadrados, triángulos, círculos, rectángulos, pentágonos, trapecios, elipses, rombos, hexágono, heptágono, octógono, decágono, caracoles de pascal, cardioides, formas equivalentes conocidas por una persona medianamente versada en la materia y combinación de las anteriores.

Preferiblemente y haciendo referencia a la FIG. 2, la forma del interior del contenedor (1) es de tipo cardioide, en donde un primer tornillo alimentador (4) se encuentra a un lado del

vértice del cardioide, mientras que un segundo tornillo alimentador (5) se encuentra en el extremo opuesto del vértice. Uno de los efectos técnicos de lo anterior, es evitar la acumulación de material entre el espacio comprendido entre los tornillos alimentadores (4, 5) y las paredes interiores del contenedor (1). Lo anterior permite una completa circulación del material lo que garantiza los tiempos de residencia adecuados de las partículas del material a procesar, evitando además que algunas de ellas no permanezcan un tiempo excesivo en el interior del contenedor (1), lo que conduce a reacciones secundarias indeseables durante el proceso de pirólisis.

Haciendo referencia a la FIG. 2, se muestran dos secciones transversales del contenedor (1), en donde una de las formas es una forma oblonga, en donde en una modalidad de la invención, la sección transversal interna de dicho contenedor (1) tiene una forma oval conformada por dos semi círculos unidos por un rectángulo. En otra modalidad de la invención la sección transversal de dicho contenedor (1) tiene una forma de medio cardioide, lo que permite eliminar espacios muertos debajo de los tornillos alimentadores (4, 5), evitando que el material a procesar se represe en un solo punto dentro del contenedor (1). La acumulación del material a procesar en el interior del contenedor (1), aumentaría los tiempos de residencia durante el proceso de pirólisis y, por tanto, favorece la aparición de reacciones secundarias que alteran el rendimiento y la calidad de los productos obtenidos en el proceso de pirólisis.

El contenedor (1) puede ser fabricado en materiales que se seleccionan del grupo que comprende acero inoxidable, material refractario, acero al carbono, fundiciones de hierro, hierro galvanizado, aceros al cromo, aceros al cromo-níquel, aceros al cromo-níquel-titanio, aleación de níquel-cromo-molibdeno-tungsteno, aleaciones ferrosas al cromo-molibdeno, acero inoxidable 301, acero inoxidable 302, acero inoxidable 304, acero inoxidable 316, acero inoxidable 405, acero inoxidable 410, acero inoxidable 430, acero inoxidable 442, acero aleado con manganeso, elementos equivalentes que sean conocidos por una persona medianamente versada en la materia y combinaciones de los anteriores.

Preferiblemente el material del contenedor (1) es un acero inoxidable 301, acero inoxidable 302, acero inoxidable 304, acero inoxidable 316, acero inoxidable 405, acero inoxidable 410, acero inoxidable 430 o acero inoxidable 442.

El material del contenedor (1) también permite que el contenedor (1) sea estable a las temperaturas comprendidas en los rangos entre 50°C a 150°C, 150°C a 300°C, 300°C a 500°C, 500°C a 700°C, 700°C a 800°C, 800°C a 900°C, 800°C a 1000°C. Para el entendimiento de la presente invención, por estable se entenderá que el reactor pueda conservar sus propiedades mecánicas sin sufrir afectaciones que eviten su correcto funcionamiento. Otro de los efectos técnicos que el material del contenedor (1) sea un

material inoxidable, es evitar la corrosión al interior de éste, producida por los ácidos que pueden ser desprendidos por el material a procesar durante el proceso de pirólisis. Otro de los efectos técnicos del material inoxidable para el contenedor (1), es evitar que el contenedor (1) en su interior libere algún tipo de sustancia como, por ejemplo, capas de óxido, lo que contaminaría el material a procesar en el interior del contenedor (1).

Por su parte, los tornillos alimentadores, permiten desplazar el material a procesar a lo largo del contenedor (1) durante un tiempo establecido, lo que permite controlar su tiempo de residencia. El primer tornillo alimentador (4) y el segundo tornillo alimentador (5) pueden girar en la misma dirección, o en dirección contraria, lo que permite controlar el grado de mezclado del material a procesar y los tiempos de residencia durante el proceso de pirólisis dentro del contenedor (1).

En una modalidad de la invención, y haciendo referencia a la FIG. 2, los tornillos alimentadores (4, 5) son tornillos gemelos entrecruzados. Esto permite que no existan zonas de atasco de material a procesar dentro del contenedor (1) y adicionalmente, favorece un flujo continuo de dicho material en el contenedor (1). Los tornillos alimentadores (4, 5) pueden ser tornillos alimentadores entrecruzados de bombeo hacia arriba, tornillos alimentadores entrecruzados de bombeo hacia abajo. Preferiblemente los tornillos alimentadores (4, 5) son tornillos alimentadores entrecruzados con rotación de bombeo hacia abajo, lo que permite mejorar las condiciones de reacción dado el mayor grado de mezcla y homogenización del material a procesar dentro del contenedor (1).

El primer tornillo alimentador (4) y el segundo tornillo alimentador (5) se seleccionan del grupo conformado por tornillos sin fin de hélice helicoidal, tornillo sin fin de hélice seccional, tornillo sin fin de paletas cortadas, tornillo sin fin de paletas tipo cinta, tornillo sin fin con palas, tornillo sin fin de paletas plegadas y cortadas, tornillo sin fin de paso corto de paletas cortadas con palas, tornillo sin fin de paletas distribuidas formando un cono, tornillo sin fin de diámetro escalonado, tornillo sin fin de paso largo, tornillo sin fin de doble paleta, y tornillos alimentadores equivalentes conocidos por una persona medianamente versada en la materia. Opcionalmente, el primer tornillo alimentador (4) y el segundo tornillo alimentador (5) se encuentran en paralelo, sin embargo, estos pueden estar también posicionados en ángulo, uno respecto a otro cuando no están entrecruzados.

El primer tornillo alimentador (4) y el segundo tornillo alimentador (5) pueden ser fabricados con materiales que se seleccionan del grupo que comprende acero inoxidable, material refractario, acero al carbono, fundiciones de hierro, hierro galvanizado, aceros al cromo, aceros al cromo-níquel, aceros al cromo-níquel-titanio, aleación de níquel-cromo-molibdeno-tungsteno, aleaciones ferrosas al cromo-molibdeno, acero inoxidable 301, acero inoxidable 302, acero inoxidable 304, acero inoxidable 316, acero inoxidable 405, acero

inoxidable 410, acero inoxidable 430, acero inoxidable 442, acero aleado con manganeso, elementos equivalentes que sean conocidos por una persona medianamente versada en la materia y combinaciones de los anteriores. Preferiblemente, el material de los tornillos alimentadores (4, 5) es un acero inoxidable 301, acero inoxidable 302, acero inoxidable 304, acero inoxidable 316, acero inoxidable 405, acero inoxidable 410, acero inoxidable 430 o acero inoxidable 442.

Uno de los efectos técnicos que los tornillos alimentadores (4, 5) sean de un acero inoxidable, es que le permite soportar las temperaturas del proceso de pirólisis sin sufrir deformaciones mientras el reactor está en funcionamiento. Dichos materiales también permiten reducir la fricción entre el material a procesar y entre ambos tornillos alimentadores, lo que permite el transporte del material a procesar dentro del contenedor (1).

Preferiblemente, los ejes de cada uno de los tornillos alimentadores (4, 5) se ubican en los extremos del contenedor (1). Dichos extremos del contenedor (1) comprenden dos soportes respectivamente, y cuatro rodamientos alojados en dichos soportes. Los rodamientos soportan los tornillos alimentadores (4, 5) y permiten que estos giren de manera adecuada dentro del contenedor (1).

Dichos rodamientos se seleccionan del grupo de rodamientos entre rodamiento rígido de bolas, rodamiento de rodillo a rotula, rodamiento de rodillos cilíndricos, rodamiento de rodillos cónicos, rodamientos axiales de bolas, rodamientos de aguja de empuje, rodamientos equivalentes conocidos por una persona medianamente versada en la materia y combinación de los anteriores.

En una modalidad de la invención, el tornillo de alimentación (5) tiene una esbeltez mecánica suficiente para mantener su rigidez. De esta manera, se evita que los tornillos alimentadores (4, 5) se desbalancen y que los rodamientos sufran esfuerzos indeseables, o que estos tengan contacto directo con las paredes internas del contenedor (1), pudiendo reducir la eficiencia del proceso de pirólisis del material a procesar.

Por otro lado, y haciendo referencia a la FIG. 3, en los extremos próximos de cada uno de los tornillos alimentadores (4, 5) se conecta un primer mecanismo rotacional (7). El primer mecanismo rotacional (7) permite controlar la rotación de los tornillos alimentadores (4, 5) o también permite detener la rotación de los mismos en caso de ser necesario. Un ejemplo de lo anterior, es cuando existe un atascamiento del material a procesar dentro del contenedor (1). Opcionalmente al primer mecanismo rotacional (7) se conecta una manivela o elementos equivalentes que permiten su operación manual o mediante tracción humana.

El primer mecanismo rotacional (7) se selecciona del grupo conformado por: cadenas de transmisión, correas o bandas de transmisión, poleas, poleas dentadas, engranajes, mecanismo de piñón y tornillo sin fin, mecanismos de piñones, mecanismo de cremallera, 5 ruedas o discos de fricción, ejes nervados, juntas cardán y juntas homocinéticas, árbol de levas, elementos equivalentes que sean conocidos por una persona medianamente versada en la materia y combinaciones de los anteriores. Preferiblemente, el primer mecanismo rotacional (7) son dos piñones con una relación 1:1, cada uno localizado en cada uno de los tornillos alimentadores (4, 5), lo que permite que estos giren al mismo tiempo y que las 10 hélices de cada uno no choquen entre sí cuando los tornillos se disponen de manera entrecruzada.

Adicionalmente, un acople de cadena también es efectivo, ya que permite al tornillo de alimentación (5) girar sin vibraciones, al igual este tipo de acople permite manejar grandes 15 rangos de torque. Una ventaja adicional es que su mantenimiento tanto estructural como de lubricación es de fácil acceso en comparación con otros tipos de acoples.

Dicho primer mecanismo rotacional (7) se puede conectar con un reductor de velocidad, y a su vez, dicho reductor de velocidad opcionalmente está conectado con un motor. En una 20 modalidad de la invención, el motor está conectado con un variador de velocidad. La implementación de reductores de velocidad permite entregar alto torque a los tornillos alimentadores (4, 5) de manera que pueda llevarse a cabo el transporte efectivo del material a procesar dentro del contenedor (1).

25 El reductor de velocidad se selecciona del grupo conformado por reductores de velocidad de sin fin corona, reductores de velocidad de engranajes, reductores cicloidales, reductores de velocidad planetarios, reductores de engranajes internos, reductores de engranajes externos, reductores equivalentes conocidos por una persona medianamente versada en la materia o combinación de las anteriores.

30 Por su parte, el motor se selecciona del grupo conformado por motores de corriente alterna (v.g. motores sincrónicos trifásicos, motores asíncronos sincronizados, motores con un rotor de imán permanente, motores monofásicos, motores bifásicos, motores con arranque auxiliar bobinado y con condensador), motores de corriente continua (v.g. motores de 35 excitación en serie, motores de excitación en paralelo, motores de excitación compuesta), motores con arranque auxiliar bobinado, y motores equivalentes que sean conocidos por una persona medianamente versada en la materia.

Por otro lado, el variador de velocidad permite variar la velocidad con la que giran ambos tornillos alimentadores (4, 5) de tal manera que el flujo del material a procesar que ingresa al contenedor (1) es controlable por un usuario.

- 5 Otro de los efectos técnicos de incluir un variador de velocidad es permitir una operación con una alimentación controlada del material a procesar con el fin de ajustar y fijar algunas variables dentro del reactor, tales como el tiempo de residencia y la temperatura, entre otras. Incluir un variador de velocidad también permite conectar diferentes tipos de motores debido a que estos permiten la conexión de motores trifásicos a partir de
10 conexiones bifásicas.

El variador de velocidad se selecciona del grupo conformado por variadores mecánicos como variador de paso ajustable, variador de tracción, variadores de frecuencia, variadores para motores de corriente continua, y variadores equivalentes conocidos por una persona
15 medianamente versada en la materia.

Adicionalmente, y haciendo referencia a la FIG. 1, FIG. 3 y FIG. 4, el contenedor (1) puede tener al interior o al exterior de sus paredes, una fuente de calor (6) la cual permite suministrar energía al interior del contenedor (1) y a su vez, elevar la temperatura del
20 material a procesar a los valores idóneos para su transformación vía pirólisis. La fuente de calor (6) puede seleccionarse del grupo conformado por resistencias eléctricas, hornos, hornos eléctricos, fuentes de calor a gas, como de gas propano o metano, chaquetas de vapor, carbón, fuente de calor que usan elementos combustibles, elementos equivalentes que sean conocidos por una persona medianamente versada en la materia y combinaciones
25 de los anteriores combinando varias fuentes de calor al mismo tiempo. La fuente de calor (6) permite al contenedor (1) operar en rangos de temperatura de 25-800°C.

El contenedor (1) también puede tener un primer aislamiento térmico el cual recubre las paredes externas del contenedor (1) y la fuente de calor (6), con el fin de evitar pérdidas de
30 calor dentro del contenedor (1). El primer aislamiento térmico puede seleccionarse del grupo conformado por lana mineral (lana de roca), poliestireno expandido, poliestireno extruido, espuma de poliuretano, espuma de resina fenólica, espuma de vidrio (lana de vidrio), losas de lana de madera, placas de perlita, corcho, fibras de la madera, aluminio, algodón, arlita, aluminio, corcho, algodón, vermiculita, cáscaras de trigo, escanda, lino,
35 pellas de cereales, cáñamo, virutas de madera, celulosa, , lana de madera, cocos, cañas, algas, paja, hierba, manta, paneles rígidos, coquillas, lana natural de oveja, vidrio expandido, espuma celulósica, espuma de polietileno, film alveolar de polietileno, espuma elastomérica, aerogel, elementos equivalentes que sean conocidos por una persona medianamente versada en la materia y combinaciones de los anteriores.

40

En una modalidad de la invención, y haciendo referencia a la FIG. 1 y FIG. 3, la fuente de calor (6) está dividida por tres hornos eléctricos dispuestos en serie, cada uno de los tres hornos localizado a lo largo del contenedor (1). Lo anterior permite controlar el calentamiento progresivo a lo largo dentro del contenedor (1) y, por tanto, permite el control del proceso de pirólisis del material a procesar. Adicionalmente, dicha configuración de la fuente de calor (6) facilita el montaje y la manipulación del reactor para pirólisis de materiales orgánicos, así como el procedimiento de mantenimiento del reactor cuando este es requerido.

Por otro lado, y haciendo referencia a la FIG. 1, FIG. 3 y FIG. 4, al contenedor (1) se conecta un suministro de gas (8). El contenedor (1) también permite llevar a cabo reacciones de otros procesos de transformación termoquímica de diferentes materiales en función del tipo de gas abastecido por el suministro de gas (8). El suministro de gas (8) está conectado al contenedor (1) mediante un conducto el cual el cual lleva el fluido y lo ingresa al interior del contenedor (1). En el caso de reacciones de pirólisis, el suministro de gas (8) puede ser un contenedor con un gas inerte como, por ejemplo, nitrógeno, lo que permite garantizar una atmosfera sin oxígeno en el interior del contenedor (1).

El conducto que conecta el contenedor (1) con el suministro de gas (8) puede seleccionarse del grupo conformado por tubos, conductos, mangueras, elementos equivalentes que sean conocidos por una persona medianamente versada en la materia o combinaciones de los anteriores.

Entre el contenedor (1) y el suministro de gas (8) puede haber un dispositivo de apertura o cierre que permite el ingreso de fluidos al interior del contenedor (1) desde la entrada (2) del mismo. Dicho dispositivo de apertura se selecciona del grupo que comprende válvulas de retención, válvulas de compuerta, válvula antirretorno, válvulas de bola o válvula esférica, válvula de seguridad o de alivio de presión, válvula de globo (o de asiento), válvula mariposa, válvula de diafragma, válvula rotatoria, elementos equivalentes que sean conocidos por una persona medianamente versada en la materia o combinaciones de los anteriores.

El suministro de gas (8) está conectado con el contenedor (1) en la entrada (2) del contenedor (1) o sobre una segunda entrada. Dicha entrada (2) o segunda entrada del contenedor (1) se puede localizar sobre cualquier superficie del contenedor (1), lo que permite que el suministro de gas (8) pueda estar conectado sobre cualquier superficie del contenedor (1). Preferiblemente, la segunda entrada del contenedor (1) se encuentra sobre una superficie inferior del reactor. Uno de los efectos técnicos de conectar el suministro de gas (8) sobre una superficie inferior del contenedor (1), es permitir que los gases provenientes por el suministro de gas (8) hacia interior del contenedor (1), suban sobre todo

el volumen interno del contenedor (1), lo que permite retirar el oxígeno dentro del contenedor (1).

El suministro de gas (8) puede seleccionarse del grupo conformado por cilindros, varios cilindros conectados en serie y/o paralelo, bombas neumáticas, o entradas de gas de procesos previos de combustión (cámara de combustión), gasificación, procesos de clinkerización, y otros procesos que generen una atmósfera potencial de trabajo, como el caso de cámaras de combustión, unidades de separación de oxígeno, elementos equivalentes que sean conocidos por una persona medianamente versada en la materia y combinaciones de los anteriores. Uno de los efectos técnicos para que el suministro de gas (8) sea una bomba neumática o una unidad de separación de oxígeno, es utilizar aire, oxígeno o nitrógeno para generar una atmósfera modificada adecuada para el material a procesar al interior del contenedor (1) dependiendo la reacción que se desea conseguir.

Entre el suministro de gas (8) y el contenedor (1) opcionalmente hay conectado un dispositivo de medición del flujo, presión y temperatura ubicado en la línea del fluido que va desde el suministro de gas (8) hasta el contenedor (1), con el fin de medir las propiedades y las características de la corriente de flujo que va desde el suministro de gas (8) hasta el contenedor (1), tales como, presión, temperatura, flujo másico, etc. Dichos dispositivos de medición de presión, temperatura y flujo pueden ser reguladores de presión, sensores de presión y temperatura, rotámetros para medir el flujo, sensores de flujo y presión, u otros dispositivos equivalentes conocidos por una persona medianamente versada en la materia y combinación de las anteriores.

Por otro lado, y haciendo referencia a la FIG. 1 y FIG. 3, un condensador (15) se conecta con la salida (3) del contenedor (1), lo que permite que los gases volátiles liberados en el proceso de pirólisis del material a procesar se desplacen hasta allí con el fin de condensar los compuestos condensables por acción de un condensador (15). Dicho condensador (15) se selecciona entre intercambiadores de coraza y tubos con flujo paralelo, intercambiadores de calor de coraza y tubos con contraflujo, torres de enfriamiento, condensadores axiales, condensadores laterales, condensadores inferiores, condensadores de un paso, condensadores de dos pasos, condensadores de un cuerpo, condensadores de dos cuerpos, intercambiador de doble tubo y elementos que sean conocidos por una persona medianamente versada en la materia o combinaciones de los anteriores.

La mezcla de productos gaseosos volátiles en la salida (3) del contenedor (1) fluye por el condensador (15) dando origen a un enfriamiento de los mismos y en consecuencia, a un cambio de fase hasta obtener una mezcla de productos líquidos que se almacenan en otro recipiente de almacenamiento. La longitud y el área transversal del condensador dependen del fluido de condensación empleado, de su flujo y su temperatura, así como de las

propiedades y características de la mezcla de productos volátiles gaseosos, como flujo, temperatura y composición, que es función del material a procesar por medio de pirólisis en el contenedor (1).

- 5 El condensador (15) preferiblemente se conecta a la salida (3) del contenedor (1) mediante un conducto. Dicho conducto puede ser tubería de acero, o una tubería de un material cerámico, debido a la temperatura con la que salen los gases volátiles del contenedor (1) hasta el condensador (15). Dicho conducto se conecta al contenedor (1) y al condensador (15) mediante distintos tipos de acoples. Dichos acoples pueden seleccionarse del grupo
10 conformado por acople roscado, de acople rápido, elementos equivalentes que sean conocidos por una persona medianamente versada en la materia o combinaciones de los anteriores.

- Uno de los efectos técnicos de incluir un acople entre el conducto y el contenedor (1) o el
15 conducto y el condensador (15), es permitir que las sustancias contenidas en el interior del contenedor (1) y del condensador (15) que se encuentran a presiones diferentes de la presión atmosférica, no se escapen del contenedor (1) o del condensador (15), o que dicha presión diferente a la presión atmosférica no de origen a daños a los diferentes componentes de la presente invención, o los medios de unión en caso de realizar procesos
20 que permitan que el interior del contenedor (1) o del condensador (15) tengan una presión por encima o por debajo de la presión atmosférica.

- El conducto que conecta el contenedor (1) con el condensador (15) puede estar recubierto con un material aislante. Uno de los efectos técnicos de recubrir dicho conducto con un
25 material aislante es evitar condensaciones tempranas o reacciones secundarias de los gases volátiles en el transporte desde el contenedor (1) hacia el condensador (15).

- El aislante que recubre el conducto puede seleccionarse del grupo conformado por lana mineral (lana de roca), poliestireno expandido, poliestireno extruido, espuma de
30 poliuretano, espuma de resina fenólica, espuma de vidrio (lana de vidrio), losas de lana de madera, placas de perlita, corcho, fibras de la madera, aluminio, algodón, arlita, aluminio, corcho, algodón, vermiculita, cáscaras de trigo, escanda, lino, pellas de cereales, cáñamo, virutas de madera, celulosa, lana de madera, cocos, cañas, algas, paja, hierba, manta, paneles rígidos, coquillas, lana natural de oveja, vidrio expandido, espuma celulósica,
35 espuma de polietileno, film alveolar de polietileno, espuma elastomérica, aerogel, elementos equivalentes que sean conocidos por una persona medianamente versada en la materia o combinaciones de los anteriores.

- En una modalidad de la invención y haciendo referencia a la FIG. 1, FIG. 3 y a la FIG. 4, el
40 reactor para pirólisis de materiales comprende un contenedor (1) con un primer tornillo

alimentador (4) y un segundo tornillo alimentador (5) localizados dentro del contenedor (1), una fuente de calor (6) localizada en la superficie externa del contenedor (1), en donde dicha fuente de calor (6) está dividida en 3 secciones, un motor conectado a dos piñones y conectados a los tornillos alimentadores (4, 5). Dicho contenedor (1) tiene dos entradas, en
5 donde, por una entrada se conecta un suministro de gas (8) correspondiente a un cilindro que se conecta mediante una tubería, mientras que por la otra entrada se conecta un mecanismo alimentador (9). Dicho mecanismo alimentador (9) está conformado por un elemento de transición (10) correspondiente a una tolva que permite el almacenamiento para el material a procesar, un agitador (13) dentro de dicha tolva, un transportador (11)
10 conectado y localizado debajo del elemento de transición (10). Dicho transportador (11) es un conducto donde se ubica un tornillo alimentador dentro del conducto. Dicho tornillo alimentador del transportador (11) se conecta con otro motor, diferente al de los tornillos alimentadores (4, 5), mediante un mecanismo rotacional (14). Adicionalmente, la tolva está conformada por dos partes, una parte superior y una parte inferior. Ambas partes se unen
15 mediante su periferia.

El contenedor (1) tiene perforaciones sobre su superficie en donde se localizan sensores de temperatura, dichos sensores (18) son termopares conectadas a una unidad de computo (19) que permite medir y controlar la temperatura interna del contenedor (1), según cómo se
20 desee llevar a cabo la reacción dentro del contenedor (1).

Así mismo, el reactor de la presente invención opcionalmente tiene una estructura (20) que da soporte y recubre al contenedor (1), la fuente de calor (6) y al primer aislamiento térmico. Uno de los efectos técnicos de la estructura (20) es proteger todos los
25 componentes del reactor para pirólisis de materiales, de tal manera que los diferentes componentes no se vean comprometidos por fuerzas externas. Otros de los efectos técnicos de incluir una estructura (20), es adicionar seguridad en la operación del reactor, evitando que un usuario resulte lastimado por la temperatura que puede tener el contenedor (1) en ese instante. Dicha estructura (20) también permite soportar y amortiguar las vibraciones
30 del reactor cuando este está en funcionamiento.

Por otro lado, en una modalidad de la invención, la estructura (20) opcionalmente está dividida en al menos dos partes, en donde una parte, sujeta un extremo del contenedor (1), mientras que la otra parte de la estructura (20) permite sujetar el extremo opuesto del
35 contenedor (1). En dicha modalidad, cada una de las partes de la estructura (20) tienen una altura diferente, lo que permite inclinar el contenedor (1) y variar los tiempos de residencia del material al procesar dentro del contenedor (1) con ayuda de la acción de la gravedad.

La estructura (20) puede ser un bastidor, y preferiblemente está conformada por placas, láminas o platinas, barras o perfiles con una sección transversal con forma de I, forma C,
40

forma de T, perfiles con una sección transversal con una forma que se selecciona del grupo conformado por cuadrados, triángulos, círculos, rectángulos, pentágonos, trapecios, elipses, rombos, hexágono, heptágono, octógono, decágono y combinación de los anteriores.

- 5 El material de la estructura (20) se selecciona del grupo conformado por acero al carbono, fundiciones de hierro, hierro galvanizado, aceros al cromo, aceros al cromo-níquel, aceros al cromo-níquel-titanio, aleación de níquel-cromo-molibdeno-tungsteno, aleaciones ferrosas al cromo-molibdeno, acero inoxidable 301, acero inoxidable 302, acero inoxidable 304, acero inoxidable 316, acero inoxidable 405, acero inoxidable 410, acero inoxidable 430,
10 acero inoxidable 442, acero aleado con manganeso, aluminio, materiales permitidos para ser trabajados con alimentos, y combinación de los anteriores.

Tanto el contenedor (1) como la fuente de calor (6) pueden contar con al menos un sensor (18). Dicho sensor, permite medir las variables de temperatura, presión, oxígeno,
15 característica/composición de gases, entre otros parámetros en el interior del contenedor (1), para así conocer cómo se llevan a cabo las reacciones dentro del contenedor (1). Preferiblemente, sobre la superficie del contenedor (1) hay perforaciones en donde se dispone el sensor (18), como por ejemplo, para registrar la temperatura por medio de un termopar, el cual permite medir la temperatura mientras el reactor está en
20 funcionamiento.

El sensor (18) se selecciona del grupo conformado por sensores semiconductores, sensores infrarrojos, sensores ultrasónicos, sensores electroquímicos, sensores catalíticos, sensores de presión, de temperatura, sensores de humedad, y sensores equivalentes conocidos por
25 una persona medianamente versada en la materia.

Por otra parte, y haciendo referencia a la FIG. 1 y FIG. 3, el reactor para pirólisis de materiales opcionalmente también cuenta con una unidad de computo (19). Dicha unidad de computo (19) está conectada a los motores que permiten la rotación de los tornillos
30 alimentadores (4, 5), conectado al motor del mecanismo alimentador (9) cuando este lo tiene, los variadores de velocidad previamente mencionados, y adicionalmente, la unidad de computo (19) recibe las señales de los sensores (18). Lo anterior permite a la unidad de computo (19) capturar la información de los sensores (18), y controlar la velocidad tanto del primer tornillo alimentador (4) como del segundo tornillo alimentador (5), la velocidad
35 de alimentación del material a procesar hacia el contenedor (1) y así controlar diferentes condiciones del proceso, como presión, flujo másico y otras variables conocidas por una persona medianamente versada en la materia.

La unidad de computo (19) se selecciona del grupo conformado por microcontroladores,
40 micro procesadores, DSCs (*Digital Signal Controller* por sus siglas en inglés), FPGAs

(*Field Programmable Gate Array* por sus siglas en inglés), CPLDs (*Complex Programmable Logic Device* por sus siglas en inglés), ASICs (*Application Specific Integrated Circuit* por sus siglas en inglés), SoCs (*System on Chip* por sus siglas en inglés), PSoCs (*Programmable System on Chip* por sus siglas en inglés), computadores, servidores,
5 tabletas, celulares, celulares inteligentes, generadores de señales y unidades de control conocidas por una persona medianamente versada en la materia.

Por otro lado, la presente invención también incluye un método para pirólisis de material orgánico cómo, por ejemplo, biomasa, cascarilla de arroz, caña de azúcar, materiales
10 derivados del petróleo como cauchos, entre otros. Dicho método comprende las etapas de:

- suministro del material orgánico con un tamaño de partícula inferior a 4mm a un reactor de pirólisis; y
- pirolizar el material orgánico durante un tiempo de residencia según el tipo de reacción que se desea conseguir.

15 Una vez ocurrida la reacción, los gases volátiles liberados en el proceso de pirólisis son separados del material sólidos también resultante en el proceso.

Dicho método para la conversión material orgánico por pirólisis preferiblemente comprende las etapas de:

- 20 - alimentar el contenedor (1) con material orgánico con un tamaño máximo de partícula de 4mm al interior del contenedor (1);
- calentar dicho material orgánico a una temperatura entre 400 y 550°C con un tiempo de residencia de 3 a 8 minuto;
- separar del sólido resultante de los vapores resultantes, y finalmente
- 25 - condensar los vapores resultantes mediante el condensador (15).

Preferiblemente, dentro del contenedor (1) se puede agregar un material transportador de calor como arena, o bolas de un metal como acero inoxidable, los cuales pueden aumentar la transferencia de calor hacia el material a pirolizar durante la etapa de calentamiento del
30 material orgánico.

La temperatura para la reacción dentro del reactor está comprendida en un rango comprendido desde 200°C hasta 550°C, desde 220°C hasta 530°C, desde 240°C hasta 510°C, desde 260°C hasta 490°C, desde 280°C hasta 470°C, desde 300°C hasta 450°C,
35 desde 320°C hasta 430°C, desde 340°C hasta 410°C, desde 425°C hasta 500°C, desde 425°C hasta 450°C, desde 425°C hasta 480°C, desde 360°C hasta 390°C, desde 450°C hasta 500°C, desde 300°C hasta 500°C, desde 350°C hasta 500°C, desde 360°C hasta 500°C, desde 300°C hasta 310°C, desde 310°C hasta 320°C, desde 320°C hasta 330°C, desde 330°C hasta 340°C, desde 340°C hasta 350°C, desde 350°C hasta 360°C, desde
40 360°C hasta 370°C, desde 370°C hasta 380°C, desde 380°C hasta 390°C, desde 390°C

hasta 400°C, desde 400°C hasta 410°C, desde 410°C hasta 420°C, desde 420°C hasta 430°C, desde 430°C hasta 440°C, desde 440°C hasta 450°C, desde 200°C hasta 800°C, desde 210°C hasta 790°C, desde 220°C hasta 780°C, desde 230°C hasta 770°C, desde 220°C hasta 780°C, desde 240°C hasta 760°C, desde 250°C hasta 750°C, desde 260°C hasta 740°C, desde 270°C hasta 730°C, desde 280°C hasta 720°C, desde 290°C hasta 710°C, desde 300°C hasta 700°C, desde 310°C hasta 690°C, desde 320°C hasta 680°C, desde 330°C hasta 670°C, desde 340°C hasta 660°C, desde 350°C hasta 650°C, desde 360°C hasta 640°C, desde 370°C hasta 630°C, desde 380°C hasta 620°C, desde 390°C hasta 610°C, desde 400°C hasta 600°C, desde 410°C hasta 590°C, desde 420°C hasta 580°C, desde 430°C hasta 570°C, desde 440°C hasta 560°C, desde 450°C hasta 550°C, desde 460°C hasta 540°C, desde 470°C hasta 530°C, desde 480°C hasta 520°C, y desde 490°C hasta 510°C.

El tiempo para la reacción dentro del reactor está comprendida en un rango comprendido desde 1 min hasta 15 min, desde 2 min hasta 14 min, desde 3 min hasta 13 min, desde 4 min hasta 12 min, desde 5 min hasta 11 min, desde 6 min hasta 10 min, desde 7 min hasta 9 min, desde 1 min hasta 15 min, desde 2 min hasta 14 min, desde 3 min hasta 13 min, desde 4 min hasta 12 min, desde 5 min hasta 11 min, desde 6 min hasta 10 min, desde 7 min hasta 9 min, desde 1 min hasta 2 min, desde 2 min hasta 3 min, desde 3 min hasta 4 min, desde 4 min hasta 5 min, desde 5 min hasta 6 min, desde 6 min hasta 7 min, desde 7 min hasta 8 min, desde 8 min hasta 9 min, desde 9 min hasta 10 min, desde 10 min hasta 11 min, desde 11 min hasta 12 min, desde 12 min hasta 13 min, desde 13 min hasta 14 min y desde 14 min hasta 15 min.

La tasa de calentamiento del material orgánico dentro del reactor es desde desde 100°C/min hasta 1000°C/min, desde 120°C/min hasta 980°C/min, desde 140°C/min hasta 960°C/min, desde 160°C/min hasta 940°C/min, desde 180°C/min hasta 920°C/min, desde 200°C/min hasta 900°C/min, desde 220°C/min hasta 880°C/min, desde 240°C/min hasta 260°C/min, desde 260°C/min hasta 280°C/min, desde 280°C/min hasta 300°C/min, desde 300°C/min hasta 320°C/min, desde 320°C/min hasta 340°C/min, desde 340°C/min hasta 360°C/min, desde 360°C/min hasta 380°C/min, desde 380°C/min hasta 400°C/min, desde 400°C/min hasta 420°C/min, desde 420°C/min hasta 440°C/min, desde 440°C/min hasta 460°C/min, desde 460°C/min hasta 480°C/min, desde 480°C/min hasta 500°C/min, desde 500°C/min hasta 520°C/min, desde 520°C/min hasta 540°C/min, 100°C/min hasta 300°C/min, y desde 540°C/min hasta 560°C/min.

35

Por su parte, la tasa de alimentación de gases inertes al reactor, caso de ser necesarios para la reacción, como por ejemplo nitrógeno, ocurre a una velocidad desde 50 mL/min hasta 1000mL/min, desde 50mL/min hasta 1000mL/min, desde 70mL/min hasta 980mL/min, desde 90mL/min hasta 960mL/min, desde 110mL/min hasta 940mL/min, desde 90mL/min hasta 960mL/min, desde 130mL/min hasta 920mL/min, desde 150mL/min hasta

40

900mL/min, desde 170mL/min hasta 880mL/min, desde 190mL/min hasta 860mL/min, desde 210mL/min hasta 840mL/min, desde 230mL/min hasta 820mL/min, desde 250mL/min hasta 800mL/min, desde 270mL/min hasta 780mL/min, desde 290mL/min hasta 760mL/min, desde 310mL/min hasta 740mL/min, desde 330mL/min hasta 720mL/min, desde 350mL/min hasta 700mL/min, desde 370mL/min hasta 680mL/min, desde 390mL/min hasta 660mL/min, desde 410mL/min hasta 640mL/min, desde 430mL/min hasta 620mL/min, desde 450mL/min hasta 600mL/min, desde 470mL/min hasta 580mL/min, desde 490mL/min hasta 560mL/min, desde 510mL/min hasta 540mL/min, desde 100mL/min hasta 950mL/min, desde 150mL/min hasta 900mL/min, desde 200mL/min hasta 850mL/min, desde 250mL/min hasta 800mL/min, desde 200mL/min hasta 850mL/min, desde 300mL/min hasta 750mL/min, desde 350mL/min hasta 700mL/min, desde 400mL/min hasta 650mL/min, desde 450mL/min hasta 600mL/min, desde 500mL/min hasta 550mL/min, desde 200mL/min hasta 800mL/min, desde 300mL/min hasta 700mL/min, desde 350mL/min hasta 650mL/min, desde 400mL/min hasta 600mL/min, y desde 450mL/min hasta 550mL/min.

Por otro lado, la presión del reactor durante la pirólisis está comprendida en un rango desde 1bar hasta 5bar, desde 2bar hasta 4bar, desde 1bar hasta 2bar, desde 2bar hasta 3bar, desde 3bar hasta 4bar y desde 4bar hasta 5bar.

20

Adicionalmente, el flujo de alimentación desde el mecanismo alimentador (9) hasta el contenedor (1) va desde 0.5 kg/h hasta 1.5 kg/h, desde 2kg/h hasta 9kg/h, desde 3kg/h hasta 8kg/h, desde 4kg/h hasta 7kg/h, desde 5kg/h hasta 6kg/h, desde 1kg/h hasta 2kg/h, desde 2kg/h hasta 3kg/h, desde 3kg/h hasta 4kg/h, desde 4kg/h hasta 5kg/h, desde 5kg/h hasta 6kg/h, desde 6kg/h hasta 7kg/h, desde 7kg/h hasta 8kg/h, desde 8kg/h hasta 9kg/h y desde 9kg/h hasta 10kg/h, desde 0,5kg/h hasta 5kg/h, desde 0,7kg/h hasta 4,8kg/h, desde 0,9kg/h hasta 4,6kg/h, desde 1,1kg/h hasta 4,4kg/h, desde 0,9kg/h hasta 4,6kg/h, desde 1,3kg/h hasta 4,2kg/h, desde 1,5kg/h hasta 4kg/h, desde 1,7kg/h hasta 3,8kg/h, desde 1,9kg/h hasta 3,6kg/h, desde 2,1kg/h hasta 3,4kg/h, desde 2,3kg/h hasta 3,2kg/h, desde 2,5kg/h hasta 3kg/h, desde 2,7kg/h hasta 2,8kg/h, desde 1kg/h hasta 4,5kg/h, desde 1,5kg/h hasta 4kg/h, desde 2kg/h hasta 3,5kg/h, y desde 2,5kg/h hasta 3kg/h.

Opcionalmente, los residuos sólidos que salen del reactor, pueden volver a ser integrados dentro del contenedor (1) del reactor.

35

EJEMPLO 1

Preferiblemente, y en una modalidad de la invención, el método para pirolizar caucho comprende las etapas de suministrar el material orgánico con un tamaño de partícula entre 4mm y 5mm o entre 3mm y 5mm al reactor, pirolizar el material orgánico a una temperatura entre 400°C y 550°C durante un tiempo de residencia entre 3 y 8 minutos. Una

40

vez ocurrida la reacción, se separan los gases de pirólisis de los sólidos resultantes. Cuando el material a pirolizar es caucho, las partículas de caucho se pirolizan a una tasa de calentamiento entre 100°C/min y 300°C/min. Por su parte, la tasa de alimentación de nitrógeno preferiblemente ocurre a una velocidad de 100ml/min. Por otro lado, la presión dentro del reactor mientras se está llevando a cabo el proceso de pirólisis, es de 3 bar y las partículas de caucho son alimentadas con flujo másico entre 0.5 kg/h y 1.5kg/h.

Opcionalmente, los residuos sólidos que salen del reactor, pueden volver a ser integrados dentro del contenedor (1) del reactor.

EJEMPLO 2

Haciendo referencia a la FIG. 1, FIG. 3 y a la FIG. 4, el reactor para pirólisis de materiales orgánicos comprende un contenedor(1) con un primer tornillo alimentador (4) y un segundo tornillo alimentador (5) localizado dentro del contenedor (1). Un motor acciona dos piñones, que están conectados con dos tornillos alimentadores (4, 5). Dicho contenedor (1) tiene dos entradas, en donde, por una entrada se conecta el suministro de gas (8) correspondiente a un cilindro de nitrógeno, el cual se conecta mediante tubería, mientras que por la otra entrada se conecta con el mecanismo alimentador (9).

Las dimensiones de los tornillos alimentadores (4, 5) gemelos entrecruzados son los siguientes:

Dímetro de filete: 45mm.

Espesor del filete: 3mm.

Paso: 22,50mm.

Capacidad nominal: 1.75kg/h.

Longitud del eje en donde está el filete: 675mm.

Longitud total: 895mm.

Diámetro de eje: 25mm.

Material: acero inoxidable.

Por su parte, las dimensiones del contenedor (1) son:

Distancia entre ejes: 37,5mm.

Longitud: 690mm.

Radios internos en donde va cada uno de los tornillos alimentadores: 27.5mm.

Material: acero inoxidable.

El mecanismo alimentador (9) se conforma por un elemento de transición (10) correspondiente a una tolva, un agitador (13) dentro de la tolva, un transportador (11) conectado y localizado debajo del elemento de transición (10). Dicho transportador (11) es un conducto con un tornillo alimentador ubicado en el interior del conducto. Dicho tornillo

alimentador del transportador (11) se conecta a otro motor, diferente al de los tornillos alimentadores (4, 5) mediante un mecanismo rotacional (14). Adicionalmente, la tolva está conformada por dos partes, una parte superior y una parte inferior. Ambas partes se unen mediante su periferia, en donde la parte inferior se ubica un visor, el cual permite visualizar el flujo continuo del material en el interior del transportador (11) y también algún tipo de atasco.

Las dimensiones del tornillo del mecanismo de alimentación (9) fueron:

Dímetro de filete: 35mm.

10 Paso: 44mm.

Longitud total: 200mm.

Diámetro de eje con filete: 15mm.

Diámetro de eje sin filete: 10mm.

Material: acero inoxidable.

15

La fuente de calor (6) localizada en la superficie externa del contenedor (1), es un calentador de resistencias eléctricas. Dicha fuente de calor (6) presenta la forma de prisma rectangular con vértices curvos, y está dividido longitudinalmente en tres partes las cuales están dispuestas en serie. Cada una de las partes de dicha fuente de calor (6) está conformada por dos partes transversales, lo que permite su fácil posicionamiento y manipulación. Lo anterior con el objetivo de poderlo ensamblar alrededor del contenedor (1).

25

El contenedor (1) tiene perforaciones sobre su superficie en donde se disponen sensores de temperatura. Dichos sensores (18), son termopares conectados a una unidad de computo (19) que permite medir y controlar la temperatura interna del contenedor (1), según cómo se está llevando la reacción dentro del contenedor (1). En el extremo longitudinal opuesto de las entradas del contenedor (1), hay dos salidas. En una primera salida, se conecta un recipiente (16) en donde se colectan los sólidos resultantes del proceso de pirólisis que ocurren dentro del contenedor (1), mientras que la segunda salida se conecta con un condensador (15) mediante un conducto (3).

30

Las especificaciones del condensador (15) son las siguientes:

Diámetro de la coraza: 50mm.

35 Tipo de patrón de tubos dentro de la coraza: patrón triangular de 30°.

Diámetro de tubos: 15mm.

Longitud de tubos: 200mm.

Paso: 18,75mm.

Diámetro de los *baffles*: 46,8mm.

40 Número de tubos: 7.

- Número de *baffles*:15.
- Configuración de los *baffles*: de corte horizontal.
- Porcentaje de corte de los *baffles*: 25%.
- Espaciamiento de los *baffles*: 10mm.
- 5 Flujo másico del agua de refrigeración: 0,1kg/s.

Al condensador (15) se conecta un quemador (17) que permite quemar los gases no condensables, y usar dicho calor generado como una fuente de energía.

10 EJEMPLO 3

Se llevó a cabo un proceso de pirólisis con el reactor del ejemplo 2 cuyo material a procesar fueron neumáticos (entiéndase llanta) usados de vehículos de pasajeros y de camiones. Dichos neumáticos se componen de diferentes tipos de cauchos tales como caucho natural (*NR por sus siglas en inglés*) y caucho sintético (*SR por sus siglas en inglés*), este último
15 conformado por caucho de butilo (*BR por sus siglas en inglés*) y copolímero de estireno-butadieno (*SBR por sus siglas en inglés*). Haciendo referencia a la tabla 1, se enlistan los compuestos de dichos neumáticos.

Compuesto	Llanta de vehículo de pasajero (% peso)	Llanta de camión (% peso)
Caucho natural	14	27
Caucho sintético	27	14
Carbón negro	28	28
acero	14-15	14-15
Tela, aceleradores, otros materiales	16-17	16-17

TABLA 1

20 Dentro del contenedor (1) se ingresó el caucho de neumático (sin acero y sin el entramado textil), con un tamaño de partícula de 4mm. La temperatura del proceso estuvo alrededor de 500°C, mientras que el tiempo de residencia del material en el contenedor (1), estuvo del orden de 4 min.. La velocidad de alimentación del caucho al contenedor (1) fue de 1.2kg/h.
25 y la tasa de alimentación de nitrógeno al reactor fue de 200ml/min. El proceso de pirólisis se realizó a una presión de alimentación del nitrógeno de 2 bar.

Haciendo referencia a la FIG. 6 y FIG. 7, como resultados del proceso llevado a cabo a partir del reactor que describe la presente invención, se destacan los rendimientos de los
30 productos, los cuales, estuvieron del orden de 40%, 46% y 14% (en peso) para el sólido, el líquido y el gas, respectivamente. El sólido resultante del proceso, presentó una composición mayoritaria de carbono (80 % en peso), con contenidos de volátiles inferiores

al 5% (en peso), mientras que el 15% (en peso) restante fueron cenizas. El poder calorífico de la fracción sólida estuvo en alrededor de 27 MJ/kg. Por su parte el líquido, tuvo una alta concentración de carbono e hidrógeno (85% y 10% en peso), que le confieren un alto poder calorífico (53 MJ/kg). Asimismo, dicho líquido presentó contenidos de agua inferiores a 5 300 ppm, mientras que la acidez, la viscosidad a 40°C y la densidad a 25°C), estuvieron en el orden de 2,6mm²/s (2,6 cSt) y 880 kg/m³, respectivamente. La curva de destilación muestra que el líquido obtenido en la pirólisis de neumáticos por medio del reactor explicado en la presente invención, puede ser considerado como una mezcla de hidrocarburos donde es posible extraer gasolina y diésel. Para el caso de la fracción 10 gaseosa, se resalta la alta concentración de hidrógeno (24 % en volumen) y metano (29 % en volumen), que hacen del mismo un combustible con un alto poder calorífico (superior a 30 MJ/m³_N).

Se debe entender que la presente invención no está limitada a las modalidades descritas e 15 ilustradas, pues como será evidente para una persona versada en el arte, existen variaciones y modificaciones posibles que no se apartan del espíritu de la invención, el cual solo se encuentra definido por las siguientes reivindicaciones.

RESUMEN

La presente invención está relacionada con un reactor para pirólisis de materiales orgánicos incluyendo residuos de difícil disposición como los neumáticos usados (entiéndanse llantas
5 usadas) que comprende: un contenedor con una entrada y una salida, cuya área transversal de la abertura del contenedor tiene forma de caracol de pascal; dos tornillos alimentadores localizados al interior del contenedor, un suministro de gas conectado al contenedor; una fuente de calor conectada al contenedor; y un mecanismo alimentador conformado por un elemento de transición conectado a la entrada del contenedor; y un transportador conectado
10 entre el elemento de transición y la entrada del contenedor.

Adicionalmente la presente invención también corresponde a un método para la conversión de caucho por pirólisis que comprende las etapas de suplir caucho con un tamaño máximo de partícula de 4 mm al interior del reactor, calentar dicho caucho a una temperatura entre
15 200 y 550°C con un tiempo de residencia de 3 a 8 minutos, separar el sólido resultante de los vapores resultantes, y finalmente condensar los vapores resultantes.

REIVINDICACIONES

1. Un reactor para pirólisis, que comprende:
 - un contenedor con al menos una entrada y al menos una salida;
 - dos tornillos alimentadores dispuestos dentro del contenedor;
 - una fuente de calor conectada al contenedor; y
 - un primer mecanismo alimentador conectado a la entrada del contenedor.
2. El reactor de acuerdo con la Reivindicación 1, caracterizado porque el contenedor se conecta con una unidad de suministro de gas.
3. El reactor de acuerdo con la Reivindicación 1, caracterizado porque la geometría de la sección transversal interna del contenedor tiene una forma que se selecciona del grupo conformado por cuadrados, triángulos, círculos, rectángulos, pentágonos, trapecios, caracoles de pascal, elipses, rombos, hexágonos, heptágonos, octógonos, decágonos, polígonos regulares, polígonos irregulares, concoides, nicomedes, undecágono y combinación de las anteriores.
4. El reactor de acuerdo con la Reivindicación 1, caracterizado porque la geometría de la sección transversal interna del contenedor tiene una forma de caracol de pascal.
5. El reactor de acuerdo con la Reivindicación 1, caracterizado porque la salida del contenedor se conecta con un condensador.
6. El reactor de acuerdo con la Reivindicación 1, caracterizado porque el contenedor tiene una segunda salida conectada con un recipiente.
7. El reactor de acuerdo con la Reivindicación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, caracterizado porque los tornillos alimentadores (4, 5) se disponen simétricamente respecto a un vértice del caracol de pascal.
8. El reactor de acuerdo con la Reivindicación 1, caracterizado porque los tornillos alimentadores (4, 5) son tornillos gemelos entrecruzados.
9. El reactor de acuerdo con la Reivindicación 1, caracterizado porque los tornillos alimentadores se conectan con un primer mecanismo rotacional.
10. El reactor de acuerdo con la Reivindicación 1, caracterizado porque el transportador se conecta con un segundo mecanismo rotacional.

11. El reactor de acuerdo con la Reivindicación 1, caracterizado porque dentro del primer mecanismo alimentador se dispone un agitador.
12. Un método para pirólisis de material orgánico en un reactor, que comprende:
 - a) suministrar material con un tamaño de partícula inferior a 10mm a un reactor de pirólisis; y,
 - b) pirolizar el material orgánico de la etapa a) a una temperatura entre 200°C y 550°C durante un tiempo de residencia entre 1 y 15 minutos.
13. El método de acuerdo con la Reivindicación 12, caracterizado porque en la etapa b) se pirolizan las partículas de caucho a una tasa de calentamiento entre 100°C/min y 1000°C/min.
14. El método de acuerdo con la Reivindicación 12, caracterizado porque en la etapa a) las partículas de caucho son alimentadas con flujo másico entre 1kg/h y 2kg/h.
15. El método de acuerdo con la Reivindicación 12, caracterizado porque posterior a la etapa b) se realiza una etapa de separar los vapores liberados en el proceso de pirólisis de los sólidos resultantes.
16. El método de acuerdo con la Reivindicación 12, caracterizado porque el material orgánico es caucho.
17. El método de acuerdo con la Reivindicación 15, caracterizado porque posterior a la etapa c) se realiza una etapa de condensar los vapores liberados en la pirólisis.

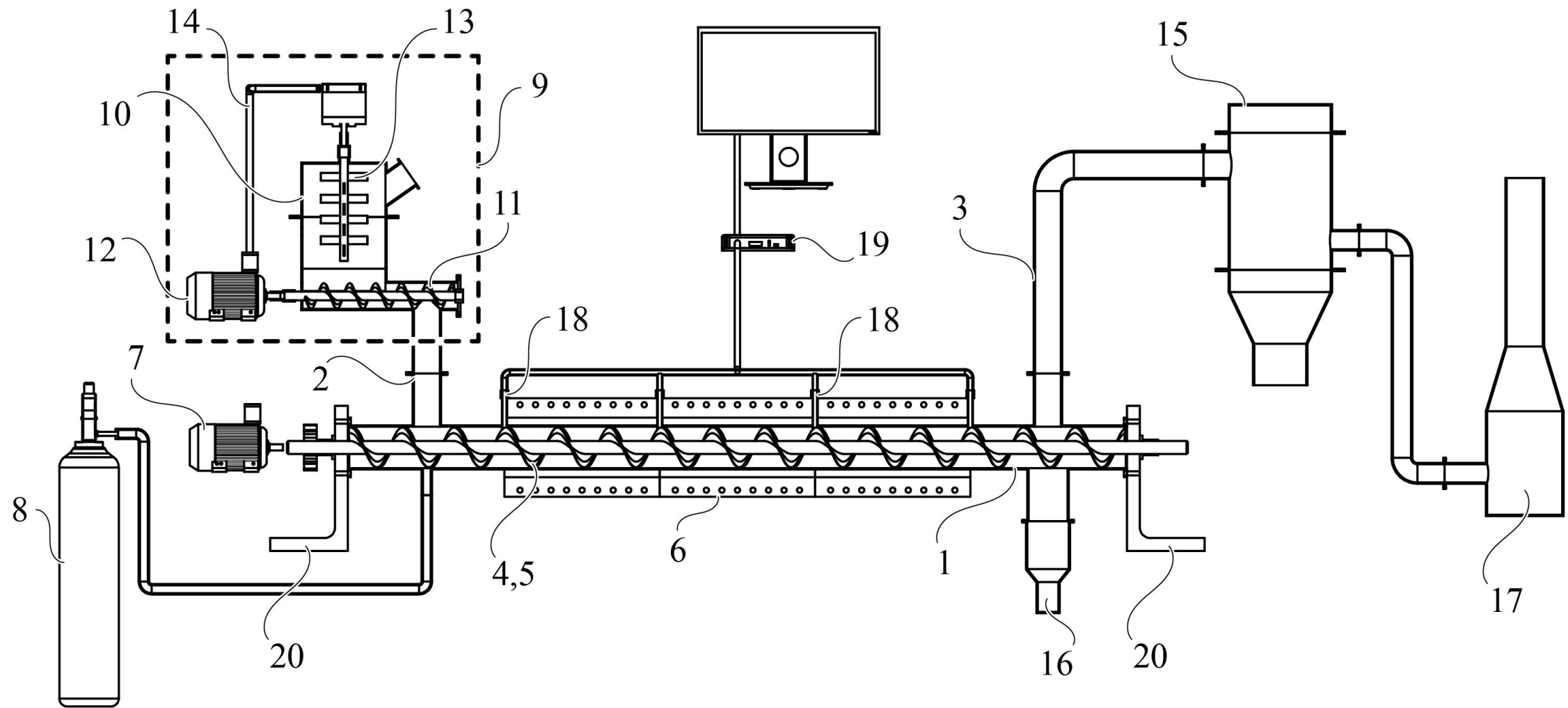


FIG. 1

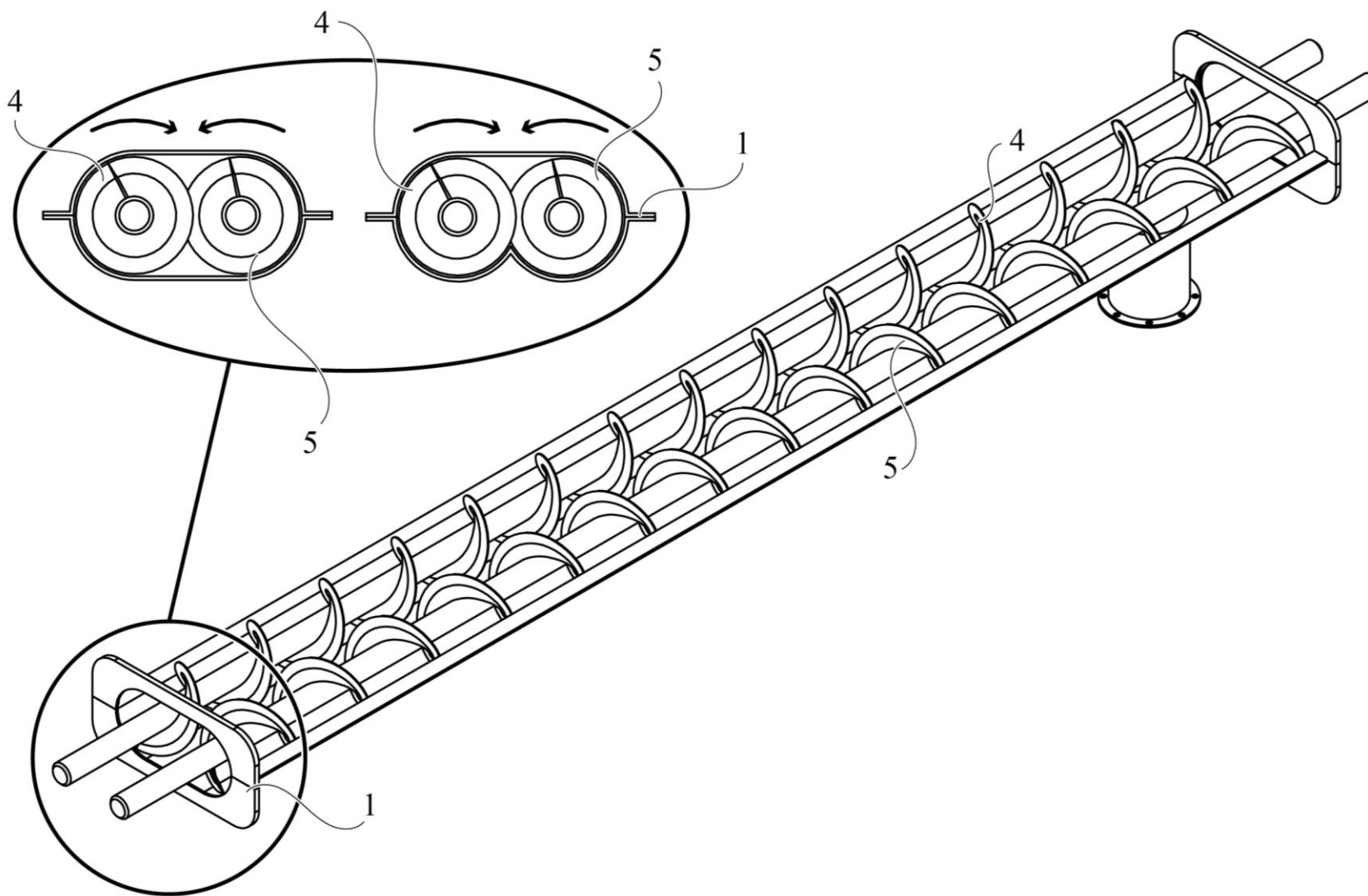


FIG. 2

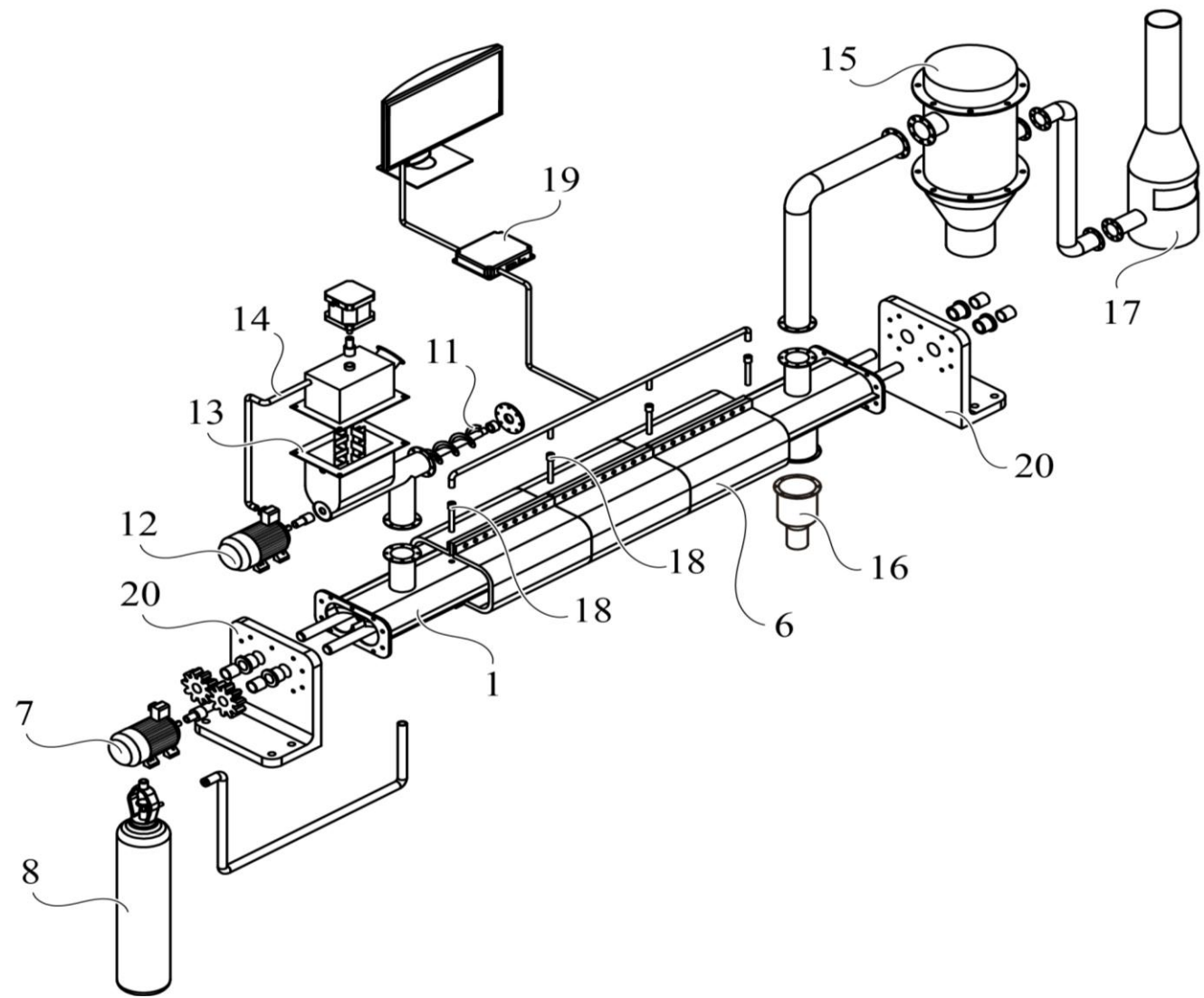


FIG. 3

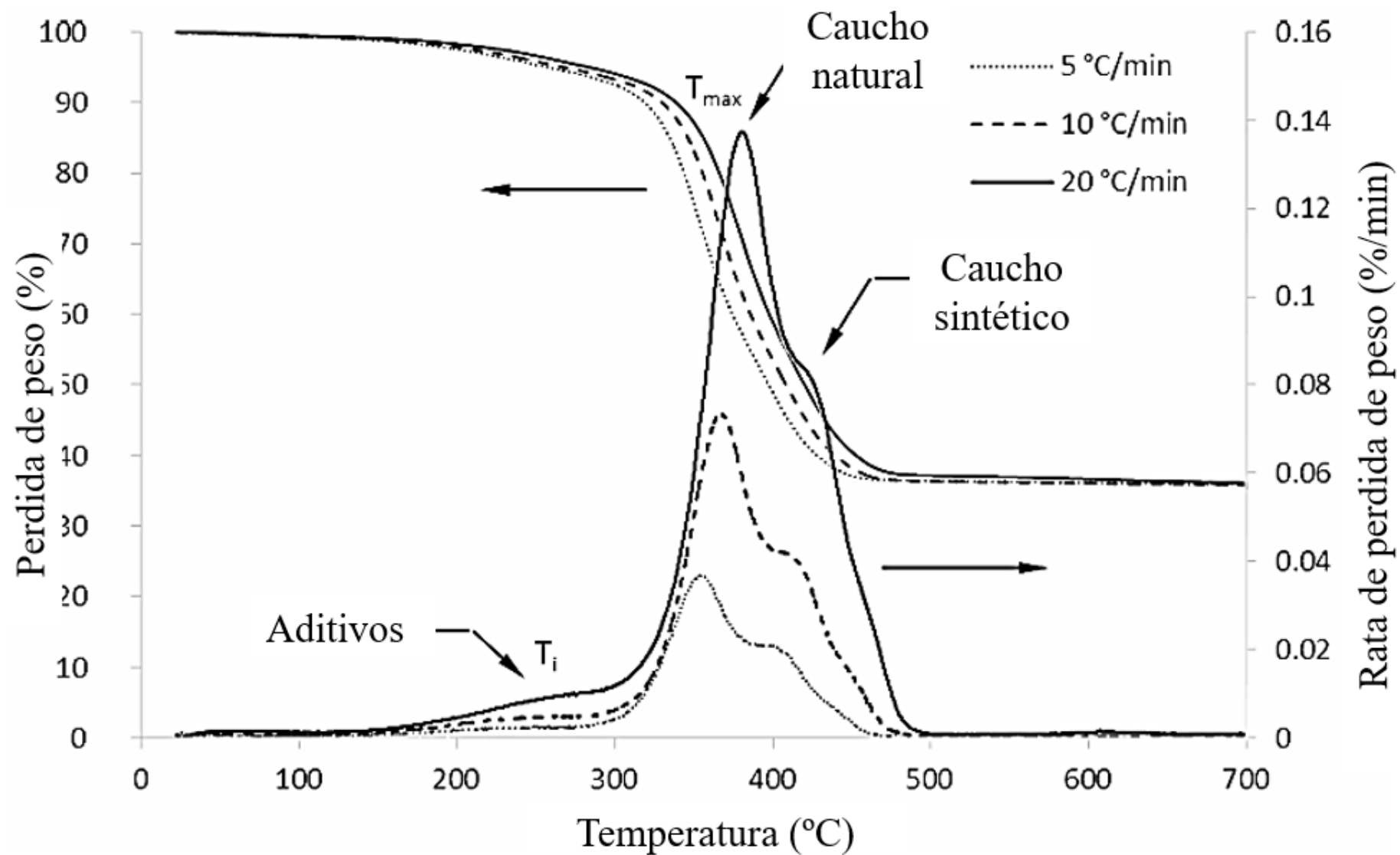


FIG. 5

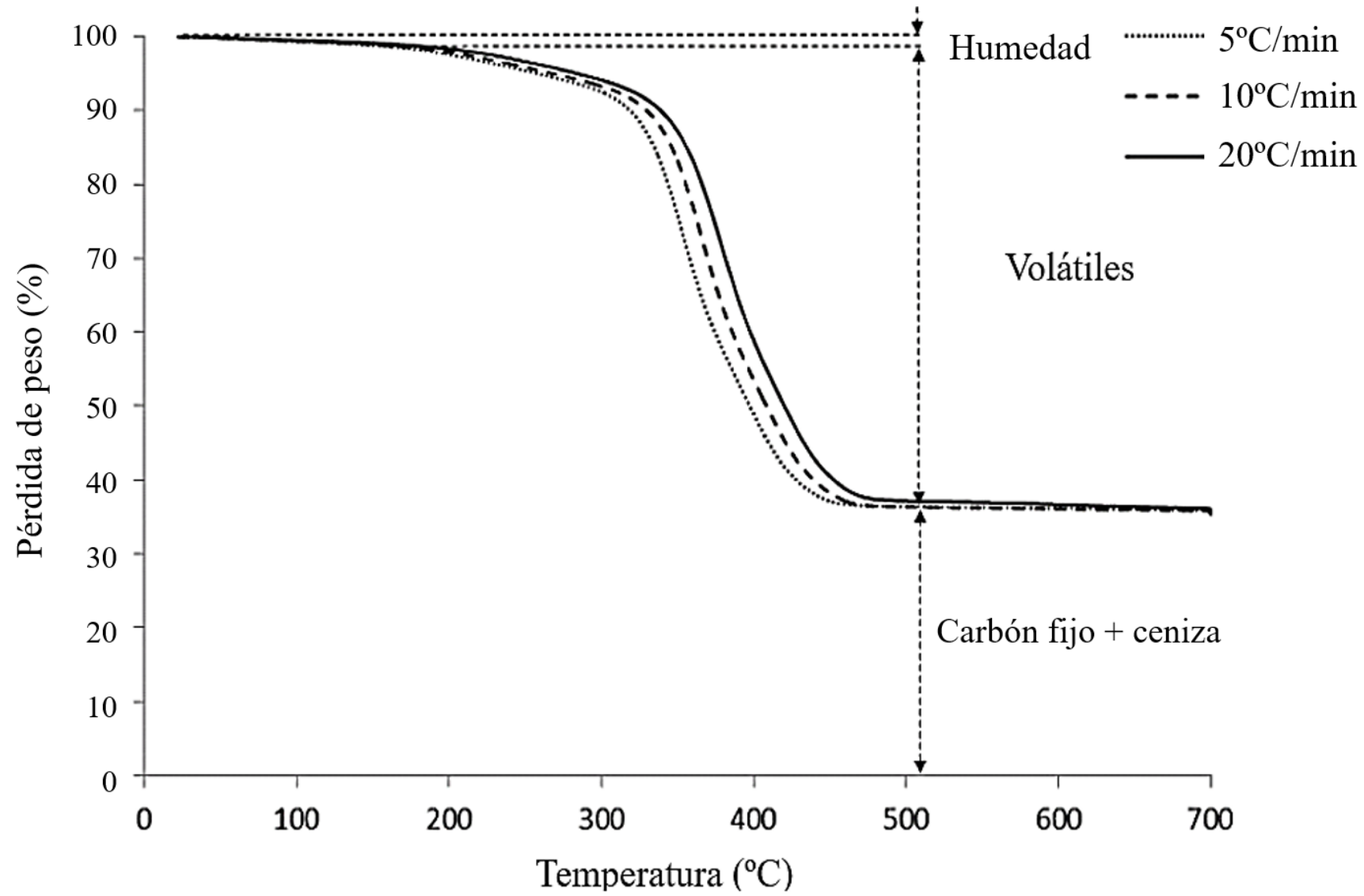


FIG. 6