

DISPOSITIVO Y MÉTODO PARA LA DEGRADACIÓN TÉRMICA DE POLÍMEROS MEDIANTE UN REACTOR TIPO TORNILLO

5

RESUMEN:

La invención se relaciona con un dispositivo y un método para la degradación térmica de residuos poliméricos mediante un reactor tipo tornillo o *auger*. El dispositivo se comprende:

10 una tolva de alimentación; un reactor equipado con una serie de resistencias eléctricas controladas; un cabezal divisor; una bomba de vacío; un condensador; un tanque de almacenamiento de sólidos; un tanque de almacenamiento de condensados; un tanque de almacenamiento de baja presión de gases y un tanque de almacenamiento de gases; un tornillo del reactor y las conexiones herméticas requeridas para el transporte de los

15 materiales al interior del reactor. El tornillo del reactor comprende un vástago, una zona de transporte, una zona de compresión, una zona de transición y una zona de desgasificación, las cuales tienen un diseño geométrico distinguible entre una sección y la otra debido a su paso constante y diámetro de raíz variable. El método comprende las etapas de: ingresar los residuos poliméricos; desplazarlos; calentar el residuo polimérico

20 a través de un conjunto de resistencias eléctricas, una resistencia interna y el efecto de fricción con la superficie del tornillo del reactor; separar los sólidos generados; separar los gases generados; condensar los gases generados y almacenar los productos generados en sus respectivos tanques de almacenamiento.

25 **SECTOR TECNOLÓGICO:**

La presente invención se encuentra dentro del sector de la ingeniería mecánica e ingeniería química, con énfasis en los métodos y procesos para el aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos.

30

ANTECEDENTES:

El uso de materiales poliméricos en distintas aplicaciones industriales ha generado una
5 acumulación gradual de sus residuos sólidos. Es ampliamente conocida la dificultad para
tratar estos residuos, teniendo en cuenta su baja biodegradabilidad y su bajo potencial de
reprocesamiento (particularmente para polímeros termoestables y empaques multicapa).
Por lo cual, a nivel global se ha optado por soluciones que traen repercusiones negativas
en el medio ambiente (por ejemplo: rellenos sanitarios, combustión incontrolada y
10 vertederos a cielo abierto, entre otros).

Una alternativa para el tratamiento de los residuos poliméricos es la pirólisis. Este proceso
consiste en la degradación térmica de polímeros en ausencia de oxígeno, produciendo
sólidos tipo carbón (biochar), ceras, compuestos líquidos y compuestos gaseosos. Esta
15 alternativa consigue entonces valorizar los residuos poliméricos al generar productos
comercializables y eliminar su impacto negativo en el medio ambiente.

El reactor tipo tornillo o *auger* se presenta como una opción dentro de las tecnologías
disponibles para la pirólisis de materiales sólidos. Este reactor comprende en esencia un
20 cilindro cuyo interior contiene un tornillo extrusor o tornillo sin fin. El tornillo cumple la
función de transportar, comprimir y degradar la materia prima al interior del cilindro para
facilitar su pirolización. Los productos de la degradación térmica son separados y tratados
mediante unos equipos auxiliares (condensadores, intercambiadores de calor, bomba de
vacío, compresor, accesorios separadores, tanques, filtros, entre otros) cuya función
25 consiste en realizar las operaciones unitarias necesarias para obtener los subproductos
de la reacción a condiciones deseables.

La pirólisis a través de reactores tipo tornillo o *auger* presenta la ventaja de ser un proceso
continuo de transformación de los materiales, donde el uso de un elemento transportador
30 (tornillo sin fin) permite un mejor control de las etapas de reacción y mejora el mezclado
del producto al interior del reactor. Estos avances técnicos permiten mejorar la
transferencia de calor y por ende la eficiencia de la reacción química.

Sin embargo, la acumulación de residuos tipo biochar en la superficie del tornillo (en particular al interior de los filetes del tornillo) es una de las desventajas comunes de esta alternativa. Otra desventaja común en los procesos de pirólisis tiene que ver con el uso eficiente de la energía necesaria para alcanzar la temperatura de degradación del material. Este factor resulta clave para evaluar la viabilidad de esta tecnología dentro de la industria.

Algunos ejemplos de este tipo de reactores adaptables para el procesamiento de residuos poliméricos se encuentran en los documentos US2017/0114279 y WO08058137A2. El primer documento describe un reactor de pirólisis tipo tornillo y su método de uso, donde el reactor comprende un recipiente de alta presión y un recipiente de baja presión. En el segundo documento se divulga un sistema y método para el tratamiento de derivados poliméricos, que consiste en un reactor tipo tornillo adaptado a una cámara de reacción controlada. Ambas invenciones usan de manera eficiente un sistema de desplazamiento del substrato, evitando las acumulaciones al interior del reactor y un calentamiento homogéneo de los sólidos. Sin embargo, la pirólisis en ambos sistemas requiere el ingreso de gases a altas temperaturas en el interior del reactor. En cuyo caso, el alto consumo de energía y el uso de hornos auxiliares para la obtención de dichos gases de calentamiento limita la eficiencia y viabilidad de las invenciones descritas.

El problema técnico no resuelto por el estado de la técnica es la obtención de productos aprovechables que provengan de residuos poliméricos sólidos a través de la pirólisis, usando una tecnología que permita el mejor aprovechamiento de la energía y una reacción controlada donde el calentamiento de la materia prima sea homogéneo y eficiente.

El objetivo de la invención es resolver el problema técnico descrito, a partir del desarrollo de un método y dispositivo para la degradación térmica o pirólisis de polímeros mediante un reactor tipo tornillo, enfocado en el mejoramiento de las características técnicas relacionadas al reactor, los componentes auxiliares y las etapas que comprende el proceso.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

FIG 1. Muestra una vista isométrica de la realización preferida del dispositivo para la degradación térmica de polímeros mediante un reactor tipo tornillo.

5

FIG 2. Muestra una vista posterior de una realización preferida del reactor.

FIG 3. Muestra una vista en corte lateral de una realización preferida del interior de la tolva de alimentación.

10

FIG 4. Muestra una vista isométrica superior de una realización preferida del exterior de la tolva de alimentación.

FIG 5. Muestra una vista en corte lateral y una vista explosionada de una realización preferida del cabezal divisor.

15

FIG 6. Muestra una vista en corte lateral del tornillo del reactor.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

20

Introducción al dispositivo

Los reactores de pirólisis tipo tornillo consisten básicamente de un cilindro cuya temperatura es controlada por un medio externo y un tornillo que transporta y comprime el material polimérico por el interior del cilindro hasta su degradación. En los casos más comunes, dicho tornillo tiene una configuración homogénea que corresponde a la de un tornillo para transporte y mezcla del material ingresado.

25

La presente invención consiste en un dispositivo y método para la degradación térmica o pirólisis de polímeros a través de un reactor tipo tornillo y unos componentes mecánicos auxiliares que permiten el procesamiento de los productos generados por la ruptura de las cadenas poliméricas al interior del reactor.

30

La información divulgada en este documento, al igual que cualquier discusión derivada de la misma, hace referencia a las características de una invención cuyo objetivo es el procesamiento de residuos poliméricos para obtener nuevos productos aprovechables. No obstante, los componentes que se exponen en este documento pueden ser adaptados a otras aplicaciones en las que puedan ser requeridos (por ejemplo: procesamiento de biomasa, procesamiento de residuos orgánicos o mezclas de materiales poliméricos con biomasa) y con ello resolver otros problemas técnicos similares. Por consiguiente, la información divulgada puede extenderse a la resolución de otros problemas técnicos, distintos al aprovechamiento de residuos poliméricos, en cuanto las características técnicas descritas en este documento puedan presentarse como una alternativa de solución.

En la figura 1 se muestra una realización preferida del dispositivo en la cual se ilustra el dispositivo para la degradación térmica de residuos poliméricos que comprende al menos: una tolva de alimentación (101); un reactor (105); un tanque de almacenamiento de sólidos (108); un tanque de almacenamiento de líquidos (111); un condensador (110); una bomba de vacío (112); un tanque de baja presión (113); un tanque de almacenamiento de gases (116); un intercambiador de calor indirecto (106), un cabezal divisor (300).

En una realización preferida de la invención se integra un conjunto de componentes auxiliares de acuerdo con la representación ilustrada en la figura 1. El dispositivo para la degradación térmica de residuos poliméricos se caracteriza porque comprende entre 2 y 6 sensores entre los que se distingue al menos: un sensor de presión en la tolva (102) y un manómetro (103) acoplados a la tolva (101); además de un sensor de presión al final del reactor (109).

El dispositivo para la degradación térmica de residuos poliméricos se caracteriza porque el reactor (105) comprende entre 1 y 4 ductos de extracción (107) para la extracción de los gases generados en el proceso de pirólisis del material polimérico. En la figura 1 se muestra una realización preferida de la invención en la que el reactor (105) comprende un ducto de extracción (107) ubicado en el inicio de la zona de desgasificación.

El dispositivo para la degradación térmica de residuos poliméricos comprende a su vez un compresor (115) acoplado al tanque de almacenamiento de gases (116) y un sistema de refrigeración externo (117) para enfriar el fluido usado en el condensador (110). El sistema de refrigeración externo (117) puede ser seleccionado entre la variedad de equipos diseñados para reducir la temperatura del fluido de trabajo.

Reactor

Un ejemplo de una de las realizaciones de la invención se encuentra en la figura 2. El dispositivo para la degradación térmica de residuos poliméricos se caracteriza porque el reactor (105) comprende un conjunto de resistencias eléctricas (208) que cubren la superficie externa del cilindro del reactor (105). El reactor (105) puede comprender entre 2 y 10 resistencias eléctricas (208), preferiblemente 6 resistencias eléctricas (208).

15

El reactor (105) comprende opcionalmente un conjunto de ventiladores (207) ubicados sobre la superficie externa del reactor (105) para mantener una temperatura deseada en distintas zonas del reactor junto con las resistencias eléctricas (208). El conjunto, la cantidad de ventiladores (207) comprende el mismo número de resistencias eléctricas (208). El reactor comprende además un flanche fijo de salida (206) que se acopla directamente al cabezal divisor (300).

20

El intercambiador de calor indirecto (106) ejemplificado en la figura 2, se caracteriza porque está dispuesto entre las resistencias (208) y la tolva de alimentación (101). Esto con el propósito de reducir la temperatura a la entrada del reactor (105) para evitar la propagación del calor desde el interior del reactor hacia la tolva de alimentación (101) y que el calor ablande el material que ingresa por la tolva (101) (lo cual dificulta su transporte), por lo que se genera un adecuado transporte del residuo polimérico. Adicionalmente, el intercambiador de calor indirecto (106) cumple la función de evitar que el calor proveniente del reactor (105) ocasione daños en los sellos mecánicos a partir del calentamiento del reductor.

25

30

En una realización preferida de la invención, el reactor (105) se encuentra acoplado con el cabezal divisor (300) a través de un sistema de acople (no mostrado en la ilustración) que consiste en un flanche fijo de salida (206), una contratuerca, un flanche móvil y una cámara de separación, de forma tal que permite un acople entre el reactor (105) y el
5 cabezal divisor (300).

Tolva de alimentación

En las figuras 3 y 4 se muestra un ejemplo de realización de la tolva de alimentación (101)
10 característica del dispositivo para la degradación térmica de residuos poliméricos. La tolva de alimentación (101) se caracteriza porque tiene un diámetro superior 8 veces mayor al diámetro inferior. Esta relación 1:8 permite una mejor fluidez del residuo polimérico a pirolizar (el cual se recomienda estar previamente peletizado o molido).

15 La tolva de alimentación (101) a su vez comprende un sistema de cierre hermético en su parte superior, de manera que permite minimizar la perdida de vacío durante el proceso de pirólisis del material. La tolva de alimentación (101) comprende opcionalmente un sistema de purga (205) que sirve como salida adicional del material, en caso de que este se atasque al interior de la tolva (101).

20

La tolva de alimentación (101) comprende una sección inferior (202) acoplada a una garganta de alimentación por medio de un acople hermético mecánico. El acople hermético mecánico consta de una base circular con ranuras concéntricas en su superficie sobre los cuales se apoya un empaque polimérico que ajusta a través de un conjunto de
25 entre 2 y 6 tornillos (ejemplificado en la figura 4). Por tanto, el diseño modular del acople permite integrar otras opciones de tolva a la invención, distintas a la tolva de alimentación (101).

El acople hermético mecánico resulta ser una ventaja técnica en el ensamble de la tolva
30 de alimentación (101) distinta a otras estructuras similares donde la tolva suele soldarse a los otros elementos del dispositivo. Otra realización de la invención contempla el uso

opcional de una tolva común en lugar de la tolva de alimentación (101) o inclusive otro tipo de aditamentos adicionales a la tolva de alimentación (101) tales como pre-mezcladores.

5 La tolva de alimentación (101) se caracteriza porque la garganta de alimentación tiene una relación de alto y ancho de 1:3. Esta relación geométrica permite minimizar el riesgo de ablandamiento del material por efecto de la transferencia de calor por conducción proveniente de las resistencias eléctricas (208) en dirección a la parte inferior de la tolva (202).

10 La tolva de alimentación (101) comprende además un orificio de entrada (201) ubicado en la parte superior de la tolva (101) tal y como se ilustra en las figuras 3 y 4. El orificio de entrada (201) se caracteriza por tener un cierre hermético, el cual permite que el proceso de degradación se haga en condiciones de vacío o bajo una atmósfera controlada.

15 El dispositivo para la degradación térmica de residuos poliméricos se caracteriza porque la bomba de vacío (112) está conectada a la tolva de alimentación (101), al reactor (105), al tanque de recolección de sólidos (108), al tanque de recolección de líquidos (111) y al condensador (110). Esta conexión conjunta se hace para minimizar el contenido de oxígeno en el sistema.

20

En la figura 3 se evidencia una realización de la invención donde se detalla la conexión entre la tolva de alimentación (101) y el reactor (105). El reactor (105) además de los componentes ilustrados en la figura 2, comprende en su interior un tornillo del reactor (203). El tornillo del reactor (203) puede contener una resistencia interna (204) al interior de la estructura del tornillo.

25

En una realización del dispositivo para la degradación térmica de residuos poliméricos tal y como se evidencia en la figura 1, el dispositivo comprende adicionalmente un motoreductor (104). El motoreductor (104) se encuentra ensamblado al reactor (105) y acoplado al tornillo del reactor (203) de manera que se pueda regular las revoluciones del tornillo del reactor (203) y por ende el procesamiento del material polimérico. El motoreductor (104) comprende un variador, instalado para regular la velocidad del tornillo

30

(203), permitiendo trabajar con distintos tiempos de residencia del material polimérico a pirolizar en el reactor (105).

- 5 El dispositivo para la degradación térmica de residuos poliméricos se caracteriza porque las resistencias eléctricas (208) tienen una longitud asociada a la cantidad de calor requerida en cada una de las zonas del tornillo (203).

Cabezal divisor

- 10 En la figura 5 se ilustra en detalle el cabezal divisor (300), propio de una de las realizaciones preferidas de la invención. El cabezal divisor (300) comprende al menos una tubería de descarga de sólidos (301), una tubería de descarga de gases (302) y una cámara de separación (303). El acople del cabezal divisor (300) con el reactor (105) puede ser hecho a partir de una combinación de un flanche de acople (304) y una contratuerca
- 15 de sujeción (305) unidas directamente a la cámara de separación (303). En una realización preferida de la invención, el ajuste entre el reactor (105) y el cabezal divisor (300) se hace a través del ajuste del flanche fijo de salida (206) con el flanche de acople (304) que tiene la característica de ser móvil.
- 20 El cabezal divisor se caracteriza porque la contratuerca de sujeción (305) se encuentra acoplada en el interior del flanche de acople (304) tal y como se ilustra en la figura 5.

Tornillo del reactor

- 25 El tornillo del reactor (203) tiene la función no sólo de transportar y comprimir el material polimérico al interior del reactor de pirólisis, sino que posee unas características geométricas que aceleran la degradación del material a través de la generación de calor durante la compresión del material polimérico, producto de las interacciones entre la superficie del tornillo y el área superficial de los sólidos ingresados al reactor. La
- 30 modificación del diámetro de raíz de las zonas del tornillo del reactor y las dimensiones de los filetes del tornillo generan un efecto de fricción del material a medida que avanza en el reactor.

Una realización del tornillo del reactor (203) comprende una sección de acople (203e) por ajuste al sistema de potencia de la planta (motoreductor), una zona de transporte (203b) en la que el diámetro de raíz del tornillo permanece constante, una segunda zona de compresión (203c) cuyo diámetro de raíz del tornillo aumenta gradualmente, lo que genera una compresión gradual del material fundido que a su vez provoca un calentamiento del material a pirolizar, una tercera zona de desgasificación (203d) cuyo diámetro de raíz del tornillo permanece constante siendo menor al diámetro de raíz del tornillo de la zona de transporte (203b) resultando en un mayor volumen de espacio para el material polimérico, lo cual facilita la evacuación de los gases producidos en la degradación del material pirolizado. Adicionalmente, el tornillo del reactor (203) comprende una zona de transición (203f) entre la zona de compresión (203c) y la zona de desgasificación (203d).

La figura 6 ilustra una de las realizaciones preferidas del tornillo del reactor (203), en el que se ve un mayor detalle de las características del componente. El tornillo del reactor (203) comprende un vástago (203a); una zona de transporte (203b); una zona de compresión (203c); una zona de transición (203f) y una zona de desgasificación (203d).

El tornillo del reactor (203) se caracteriza porque el vástago (203a) tiene una sección de acople (203e).

En una realización de la invención, el vástago (203a) tiene un diámetro entre 25 y 85 milímetros. En una realización preferida de la invención, el vástago del tornillo del reactor (203a) tiene un diámetro de 60 milímetros. Adicionalmente, en dicha realización de la invención, el vástago (203a) tiene una longitud entre 0.8 y 1.2 veces su diámetro.

En una realización de la invención, la sección de acople del vástago (203a) tiene un diámetro entre 1 y 1.5 veces el diámetro del vástago. En una realización preferida de la invención el diámetro de la sección de acople es 1.25 veces el diámetro del vástago. Adicionalmente, en dicha realización de la invención, la sección de acople tiene una longitud entre 4 y 6 veces el diámetro del vástago.

En una realización de la invención la zona de transporte (203b), la zona de compresión (203c) y la zona de desgasificación (203d) comprenden un conjunto de filetes distribuidos a lo largo de la superficie del tornillo del reactor (203) comprendida entre las zonas mencionadas (203b, 203c, 203d y 203f). Una realización preferida de la invención se caracteriza porque el tornillo del reactor (203) comprende un rango entre 20 y 40 filetes con paso constante y altura variable, distribuidos a lo largo de la superficie del tornillo del reactor (203), contenida entre las zonas de transporte, la zona de compresión, la zona de transición y la zona de desgasificación.

Una realización de la invención se caracteriza porque los filetes comprendidos en el tornillo (203) tienen un espesor con una medida entre 0.08 y 0.15 veces la medida del diámetro del vástago (203a) del tornillo. En una realización preferida de la invención, el espesor cuenta con una medida de 0.12 veces la medida del diámetro del vástago (203a).

Los filetes se encuentran distribuidos de manera uniforme con diferencia de un paso de tornillo, siendo el paso de tornillo la diferencia de longitud entre cada uno de los filetes distribuidos a lo largo de la superficie del tornillo (203). Una realización preferida de la invención se caracteriza porque el paso de tornillo tiene una longitud entre 0.6 y 1.2 veces la medida del diámetro del vástago (203d) del tornillo.

20

El tornillo del reactor (203) se caracteriza porque tiene una longitud entre 20 y 40 veces la medida del diámetro del vástago. En una realización preferida de la invención, la longitud del tornillo del reactor (203) es 24 veces la medida del diámetro del vástago (203a).

El tornillo del reactor (203) se caracteriza porque la zona de transporte (203b) tiene una longitud entre 4 y 8 veces la medida del diámetro del vástago. Adicionalmente, en una realización de la invención, la zona de transporte (203b) tiene un diámetro de raíz entre 0.6 y 1.2 veces el diámetro del vástago. En una realización preferida de la invención, el diámetro de la sección de acople (203e) es 1.2 a 1.8 veces el diámetro del vástago.

30

El tornillo del reactor (203) se caracteriza porque la zona de compresión (203c) tiene un diámetro de raíz inferior (D1) que coincide con el diámetro de raíz de la zona de transporte

(203b), este diámetro de raíz se incrementa hasta alcanzar un diámetro de raíz superior (D2) igual al diámetro de raíz de la zona de transición (203f). Adicionalmente, el tornillo del reactor (203) se caracteriza porque la zona de compresión (203c) tiene un ángulo de ensanchamiento entre el diámetro de raíz inferior (D1) y el diámetro de raíz superior (D2) de 0.5 ° y de 1.5 ° con respecto al eje de simetría del tornillo (203) (preferiblemente 1.1° con respecto al eje de simetría del tornillo)

El tornillo del reactor (203) se caracteriza porque entre la zona de compresión (203c) y la zona de desgasificación (203d) existe una región de transición (203f). La región de transición se caracteriza porque tiene una longitud entre 0.5 y 0.9 veces la medida del diámetro del vástago y porque tiene un ángulo de estrechamiento del diámetro entre la zona de compresión (203c) y la zona de desgasificación (203d). El ángulo de estrechamiento es de 5 ° y 15 ° con respecto al eje de simetría del tornillo (203) (preferiblemente 9.73° con respecto al eje de simetría del tornillo).

El tornillo del reactor (203) se caracteriza porque la zona de desgasificación (203d) tiene una longitud entre 12 y 18 veces la medida del diámetro del vástago. Adicionalmente, en una realización preferida de la invención la zona de desgasificación (203d) tiene un diámetro de raíz entre 0.6 y 1.2 veces el diámetro del vástago (preferiblemente 0.8 veces el diámetro del vástago).

El tornillo del reactor (203) se caracteriza porque puede encontrarse completamente macizo o incluir una sección hueca al interior de sí mismo. En una realización preferida de la invención el tornillo del reactor (203) comprende una sección hueca con diámetro que va entre 0.2 y 0.5 veces el diámetro del vástago, que sirve para ingresar un medio de calefacción auxiliar, en función de mejorar el calentamiento del material polimérico. En una realización preferida el medio de calefacción es una resistencia eléctrica interna (204).

Otra realización del tornillo del reactor (203) se caracteriza porque la resistencia eléctrica interna (204) es una resistencia de cartucho que se introduce en la sección interna del tornillo (203).

En otra realización del tornillo del reactor (203), este se caracteriza porque la zona de transporte (203b) equivale a una longitud entre el 17% y 20% de la longitud total del tornillo (203) y tiene un diámetro de raíz constante. En esta sección la transferencia de calor se genera principalmente desde las resistencias externas del reactor.

5

En otra realización del tornillo del reactor (203), esta se caracteriza porque la zona de compresión (203c) equivale a una longitud entre el 20% y 27% de la longitud total del tornillo (203). En la zona de compresión (203c), el diámetro de raíz del tornillo aumenta de manera gradual hasta llegar a la zona de transición (203f). En esta zona, el paso constante del tornillo (203) garantiza que las fracciones de material permanezcan entre los filetes del tornillo, la misma cantidad de tiempo en cada una de las zonas de calentamiento. El aumento del diámetro de raíz produce un aumento de calor en la mezcla, por efecto de rozamiento entre las paredes internas del reactor (105) y las fracciones del material que al pasar de un filete a otro ejercen una mayor presión entre las superficies encontradas.

15

En otra realización del tornillo del reactor (203), este se caracteriza porque la zona de desgasificación (203d) equivale a una longitud entre el 60% y 64% de la longitud total del tornillo (203). En la zona de desgasificación (203d) se encuentra el menor diámetro de raíz del tornillo (203) y el paso de los filetes se mantiene constante. Dichas características favorecen una caída de presión sobre el material altamente degradado por efecto del aumento de temperatura, permitiendo la evacuación de los gases generados en la degradación del material polimérico.

20

La zona de desgasificación (203d) se caracteriza porque se encuentra ubicada debajo del ducto de extracción (107), preferiblemente la sección inicial de dicha zona de desgasificación (203d) coincide con la ubicación del ducto de extracción (107) en el reactor (105). Adicionalmente, la zona de desgasificación (203d) se encuentra conectada con el cabezal divisor (300) de manera que se haga la separación de los materiales producidos por la degradación polimérica.

25

30

La zona de desgasificación (203d) se caracteriza a su vez porque se encuentra rodeada de unas 3 a 6 zonas adicionales de calentamiento externo al reactor (105) producto de las

resistencias eléctricas externas (208). Estas zonas adicionales son programables de manera independiente para favorecer el aumento de transferencia de calor externa en caso de ser estas necesarias para degradar el material remanente dentro del reactor (105).

- 5 Otra realización preferida del tornillo del reactor (203) comprende unos filetes con un perfil plano. El cual favorece una mayor transferencia de calor por conducción y efecto de cizallamiento sobre el material a lo largo de todas las zonas del tornillo.

Introducción al método

10

En una de las realizaciones de la invención el método para la degradación térmica de polímeros comprende las siguientes etapas:

15

- Ingresar los residuos a través de una tolva de alimentación (101) caracterizada porque el material se desplaza hacia la entrada del reactor por efecto de gravedad,
- desplazar el residuo polimérico a través de un tornillo del reactor (203) al interior de un reactor (105),
- calentar el residuo polimérico a través de un conjunto de resistencias eléctricas (208) ubicadas en la superficie externa del reactor (105),

20

- calentar el residuo polimérico a través de una resistencia interna (204) ubicada al interior del tornillo del reactor (203),
- calentar el residuo polimérico a partir del efecto de fricción o cizalla producido por las interacciones del material particulado con la superficie de los filetes del tornillo del reactor (203),

25

- Extraer los gases generados a partir del proceso de calentamiento de los sólidos restantes a través de un cabezal divisor (300) y de un ducto de evacuación (107), ubicado en la sección final y en una salida ubicada en la zona intermedia del reactor (105) respectivamente;

30

- Condensar los gases generados por medio de un condensador (110),
- Almacenar los gases no condensados en un tanque de almacenamiento de gases (116),

- Almacenar los líquidos condensados en un tanque de almacenamiento de condensados (111), y
- Almacenar los sólidos restantes en un tanque de almacenamiento de sólidos (108).

5 El método para la degradación térmica de polímeros se caracteriza porque la pirólisis opera a baja presión. La presión se disminuye a partir de una bomba de vacío (112) que retira el oxígeno de la tolva de alimentación (101) y el reactor (105). En adición, el proceso se caracteriza porque se retira el calor propagado en dirección a la tolva (101) a través de un sistema de intercambio de calor indirecto (106).

10

Descripción detallada del método

Una descripción detallada del método para la degradación térmica de polímeros se presenta a continuación.

15

Ingreso del material

Una realización preferida del método para la degradación térmica de polímeros se caracteriza porque el material polimérico se deposita en una tolva (101) y por efecto de gravedad alimenta el tornillo del reactor (203), pasando por la parte inferior de la tolva (202).

20

Una realización preferida del método para la degradación térmica de polímeros se caracteriza porque el material polimérico se deposita por el orificio (201) de la tolva (101). Adicionalmente, la tolva de alimentación (101) se encuentra sellada herméticamente y cuenta con un sensor (102) que envía la información de la presión al interior del componente a un PLC y un manómetro (103).

25

30

Desplazamiento del material

- Una realización preferida del método para la degradación térmica de polímeros se caracteriza porque el material polimérico se desplaza sobre la superficie del tornillo del reactor (203), a través del reactor (105), con dirección hacia la salida del reactor (105).

- El desplazamiento del material a través del reactor (105) se caracteriza porque es accionado mediante un sistema que comprende un motoreductor (104) y un variador, permitiendo regular la velocidad del tornillo (203) y por ende los distintos tiempos de residencia del material en el interior del reactor (105).

Calentamiento del material

- Una realización preferida del método para la degradación térmica de polímeros se caracteriza porque el material polimérico se calienta a través de una serie de 4 a 10 resistencias eléctricas (208) (preferiblemente 6 resistencias) hasta una temperatura entre 400° y 800° C (preferiblemente 600°C).
- El método para la degradación térmica de polímeros se caracteriza porque las resistencias eléctricas (208) se encuentran ubicadas alrededor de la superficie externa del reactor (105) distanciadas de tal forma que generan una zona de intercambio de calor entre el cilindro del reactor (105) y la superficie externa del tornillo del reactor (203).
- El método para la degradación térmica de polímeros se caracteriza porque las resistencias eléctricas (208) están controladas de manera independiente tal que puedan tener zonas de intercambio de calor al interior del reactor (105) de distintas temperaturas, generando un perfil de temperaturas controlado.
- Una realización preferida del método para la degradación térmica de polímeros se caracteriza porque las resistencias eléctricas (208) pueden tener un aumento gradual de la temperatura correspondiente a unas primeras zonas de calentamiento externo del

reactor. Las primeras zonas de calentamiento externo del reactor coinciden con la zona de transporte (203b) del tornillo del reactor (203) en función de garantizar el máximo aumento de temperatura posible del material polimérico.

- 5 Una realización preferida del método para la degradación térmica de polímeros se caracteriza porque las resistencias eléctricas (208) pueden tener un aumento gradual de la temperatura correspondiente a unas zonas adicionales de calentamiento externo del reactor. Las zonas adicionales de calentamiento externo del reactor coinciden con las zonas de compresión (203c) y de desgasificación (203d) del tornillo del reactor (203) en
10 función de aumentar la transferencia de calor externa para degradar el material.

El calentamiento del material se caracteriza porque se puede usar un conjunto de sensores de temperatura y unos ventiladores (207) para mantener la temperatura de la zona circundante a cada una de las resistencias eléctricas (208) ubicadas alrededor del reactor
15 (105).

Una realización preferida del método para la degradación térmica de polímeros se caracteriza porque el material polimérico se calienta a través de una resistencia interna (204) ubicada al interior del tornillo del reactor (203), cuyo efecto de conducción permite la
20 transferencia de calor al material polimérico.

Una realización preferida del método para la degradación térmica de polímeros se caracteriza porque el material polimérico se calienta a través del efecto de cizallamiento sobre el material a lo largo de las zonas del tornillo del reactor (203).
25

Intercambio de calor indirecto

El método para la degradación térmica de polímeros se caracteriza porque el calor generado dentro del reactor (105) con dirección a la tolva de alimentación (101) se
30 minimiza a través de un intercambiador de calor indirecto (106). La reducción de calor se caracteriza porque el intercambiador de calor indirecto (106) refrigera la sección de entrada del reactor (105) con agua a una temperatura entre 10°C y 20°C.

Separación de sólido y gas

- 5 El método para la degradación térmica de polímeros se caracteriza porque los sólidos generados dentro del reactor (105) son recogidos por gravedad en un tanque de almacenamiento de sólidos (108) después de ser separados de los gases generados en la cámara de separación (303).
- 10 El método para la degradación térmica de polímeros se caracteriza porque los gases generados dentro del reactor (105) son extraídos por la zona intermedia del reactor a través de un ducto de desgasificación (107) y/o son retirados en la salida del reactor (105) a través de la tubería de descarga de gases (302) del cabezal divisor (300). La extracción de los gases se hace a través de la bomba de vacío (112).

15

Condensación de gases

- El método para la degradación térmica de polímeros se caracteriza porque los gases retirados a través del ducto de extracción (107) y la tubería de descarga de gases (302)
- 20 son condensados a través de un condensador (110) que puede ser un intercambiador de calor de tubos concéntricos.

- El método para la degradación térmica de polímeros se caracteriza porque el condensador (110) tiene unos sensores de temperatura para la corriente de entrada del medio de refrigeración y dos para la corriente del proceso (a la entrada y salida). Los sensores sirven
- 25 para monitorear el proceso y optimizar la transferencia de calor en el condensador (110).

- El método para la degradación térmica de polímeros se caracteriza porque el condensador (110) emplea agua como medio de refrigeración. El agua se enfría mediante un sistema
- 30 de refrigeración externo (117) hasta una temperatura entre 8° y 15°, preferiblemente 10°.

Tratamiento de condensados

El método para la degradación térmica de polímeros se caracteriza porque los condensados generados en la corriente de salida del condensador (110) se recogen en un
 5 tanque de almacenamiento de condensados (111). El tanque de almacenamiento de condensados puede tener una mirilla para visualizar el contenido del tanque, así como un dispositivo electrónico de detección de nivel.

Operación en vacío

10

El método para la degradación térmica de polímeros se caracteriza porque la tolva de alimentación (101) y el reactor (105) operan en presiones bajas o en vacío. El método se caracteriza porque se alcanza una presión entre 1 y 10 milibar al interior del reactor (105) y la tolva de alimentación (101) a través de la bomba de vacío (112).

15

El método para la degradación térmica de polímeros se caracteriza porque el reactor (105) y la tolva de alimentación (101) comprenden al menos 2 sensores de presión para controlar la baja presión al interior de cada componente, un sensor de presión en la tolva (102) y un sensor de presión al final del reactor (109).

20

El método para la degradación térmica de polímeros se caracteriza porque los gases resultantes del proceso de condensación se extraen a través de la bomba de vacío (112) y se almacenan en un tanque de almacenamiento de baja presión (113).

25

El método para la degradación térmica de polímeros se caracteriza porque los gases confinados en el tanque de almacenamiento de baja presión (113) son transportados a un tanque de almacenamiento de gases (116) a través de un compresor (115) mediante un lazo de control que mantiene la presión en el tanque de baja presión hasta una presión máxima de 1.1 bar, tal que se asegure el funcionamiento correcto de la bomba de vacío
 30 (112). Esto es necesario para evitar que la bomba de vacío (112) se perturbe por una contrapresión excesiva de los gases de salida almacenados en el tanque de baja presión (113).

El método para la degradación térmica de polímeros se caracteriza porque el compresor (115) se activa una vez se exceda el valor de 1.1 bar al interior del tanque de baja presión (113), para que los gases vayan al tanque de almacenamiento de gases (116), y así
5 disminuir la presión en el tanque de baja presión (113).

Se debe entender que, aunque la presente invención ha sido específicamente divulgada por una forma de realización preferida y unas características opcionales, cualquier modificación, mejora y/o variación de la invención en el presente documento divulgado
10 puede derivar de la deducción de expertos en la técnica. Además, tales modificaciones, mejoras y variaciones se consideran que están dentro del alcance de esta invención. Los dispositivos y métodos descritos aquí son representativos de las realizaciones preferidas y se exponen para ejemplificar el concepto inventivo de la tecnología, es decir, son a modo de ejemplo y no están destinados como limitaciones del alcance de la invención; se
15 sobreentiende que una persona versada en la materia podrá suponer algunos cambios obvios con respecto a la descripción anterior.