

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 985 682**

21 Número de solicitud: 202390147

51 Int. Cl.:

B01J 8/00	(2006.01)
C10B 57/00	(2006.01)
C09C 1/00	(2006.01)
C10L 1/00	(2006.01)
C10L 3/00	(2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A2

22 Fecha de presentación:

01.04.2022

30 Prioridad:

01.04.2021 BR 1020210063807
31.03.2022 BR 1020220062560

43 Fecha de publicación de la solicitud:

06.11.2024

71 Solicitantes:

VALOREN CIRCULAR TECH SOLUTIONS
EUROPE; LDA (100.0%)
AV. do Atlântico Escritorio 11.10 1.19
Parque Nações
1990-019 Lisboa PT

72 Inventor/es:

MATHIAS ALOYSIUS BECKER NETO, Carlos y
DEMARCHI NETO, Ferdinando

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

54 Título: **SISTEMA DE TRANSFORMACIÓN ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE DIVERSOS RESIDUOS PLÁSTICOS EN HIDROCARBUROS, PROCESO DE TRANSFORMACIÓN ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE VARIOS RESIDUOS PLÁSTICOS EN HIDROCARBUROS, HIDROCARBUROS, Y SUS USOS**

57 Resumen:

Sistema de transformación energéticamente eficiente de diversos residuos plásticos en hidrocarburos, proceso de transformación energéticamente eficiente de varios residuos plásticos en hidrocarburos, hidrocarburos, y sus usos.

La presente invención se refiere a un sistema y un proceso para la transformación energéticamente eficiente de diversos residuos plásticos en hidrocarburos en forma líquida, pastosa, sólida y gaseosa para aplicaciones en productos de la cadena de valor de la economía circular del plástico.

ES 2 985 682 A2

DESCRIPCIÓN

SISTEMA DE TRANSFORMACIÓN ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE DIVERSOS RESIDUOS PLÁSTICOS EN HIDROCARBUROS, PROCESO DE TRANSFORMACIÓN ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE VARIOS RESIDUOS PLÁSTICOS EN HIDROCARBUROS, HIDROCARBUROS, Y SUS USOS

5

CAMPO DE LA INVENCION

[001] La presente invención se enmarca en el campo del procesamiento de residuos, más precisamente en el área de la reutilización y conversión de residuos materiales en productos reciclados y describe un sistema energéticamente eficiente y un proceso para
10 transformar diversos residuos plásticos en hidrocarburos reciclados en forma líquida, pastosa, sólido y gaseoso para uso en diversas aplicaciones como sustituto de productos fósiles y no fósiles aplicados preferentemente en la economía circular de la cadena del plástico, como r-nafta como materia prima reciclada en sustitución de la nafta fósil como insumo para la industria petroquímica, r-hidrocarburos hidrocarburos ligeros utilizados como sustitutos de
15 insumos químicos de origen fósil, r-parafinas ligeras y pesadas para sustituir las parafinas fósiles utilizadas en uso industrial o en productos de aplicación personal, r-negro de humo reciclado para sustituir el negro de humo fósil. Algunos subproductos también pueden tener otras aplicaciones, como productos utilizados en aplicaciones energéticas como el r-diésel, como sustituto del diésel fósil, el r-gas residual reciclado para sustituir los gases fósiles y la
20 energía eléctrica procedente de fuentes renovables, además de otras aplicaciones. r-hidrocarburos como materias primas recicladas aplicadas en sustitución de los hidrocarburos sólidos.

FUNDAMENTOS DE LA INVENCION

[002] La intensa generación de residuos sólidos representa uno de los mayores
25 desafíos de la actualidad. Debido al crecimiento económico y poblacional y a los avances tecnológicos, se produce una mayor cantidad de residuos y los recursos naturales se vuelven cada vez más escasos.

[003] Gracias a los avances tecnológicos, muchos productos se desechan incluso antes del final de su vida útil, lo que aumenta la ya importante carga de residuos

sólidos que deben gestionar las autoridades públicas. Además, la producción industrial acelerada y constante de diferentes sectores también ha generado una gran cantidad de residuos en Brasil y en el mundo.

[004] Paralelamente, una legislación más severa, como la Política Nacional de Residuos Sólidos (PNRS), ha llevado a las empresas a asumir la responsabilidad de las consecuencias ambientales de sus operaciones. Dichas responsabilidades incluyen el impacto ambiental causado por los residuos generados en el proceso productivo.

[005] Por lo tanto, ante el constante crecimiento poblacional y el acelerado desarrollo de los sectores industriales, es necesario buscar soluciones e innovaciones para el manejo y adecuada disposición final de los residuos sólidos generados. La opción de reutilizar residuos como materia prima para otras industrias puede ser una posibilidad atractiva, ya que puede generar una reducción de gastos financieros e impactos ambientales, además de incrementar la cadena productiva con la creación de nuevos empleos.

[006] Además, se sabe que gran parte de los productos que consumimos actualmente están fabricados o envasados en plástico: envases, juguetes, muebles, tejidos y automóviles son sólo algunos ejemplos. El uso del material revolucionó la industria, pero también creó un gran desafío para el planeta: la acumulación de residuos plásticos.

[007] La reutilización de residuos plásticos todavía tiene una tasa baja en comparación con la reutilización de residuos metálicos. El reciclaje de plástico en Brasil ronda el 20%.

[008] En este contexto, se crean técnicas y estrategias con el propósito de ayudar al problema de generación y acumulación de residuos. El empleo de métodos de reutilización de plástico es una cuestión urgente para las industrias que creen que un desenvolvimiento sustentable posible, buscando el equilibrio entre crecimiento económico y respeto al medio ambiente.

[009] Los procesos de valorización de residuos plásticos disponibles actualmente se centran en plásticos rígidos puros, haciendo que los plásticos en forma de películas, plásticos flexibles, plásticos multicapa o aquellos con varios componentes en su composición no tengan rutas de reciclaje económicamente viables. Por lo tanto, es

fundamental desarrollar tecnologías que permitan la valorización de materiales plásticos flexibles, multicapa o multicomponentes mediante la transformación de estos materiales en productos que tengan la cualidad de reemplazar a los fósiles tradicionales y un valor económico que justifique los costos utilizados en esta transformación, promoviendo así la economía circular.

[010] En general, los procesos de transformación de plásticos desarrollados o en desarrollo buscan producir hidrocarburos con el objetivo de generar energía o con el objetivo de producir diversos aceites en lugar de reinsertar el producto como materia prima para las empresas químicas. Algunos procesos que buscaban producir materiales se centraron en la producción de insumos para refinerías y no en la producción de materias primas directamente aplicables en los procesos de producción de productos químicos.

[011] Un desafío adicional importante que debe superarse es la viabilidad económica de los procesos para transformar los residuos plásticos en productos. Para lograr esta viabilidad, es esencial que los sistemas de producción sean eficientes, particularmente en términos de consumo de energía y la capacidad de absorber materias primas con gran variabilidad, y aun así entregar productos que cumplan con especificaciones estrictas.

ESTADO DE LA TÉCNICA

[012] Algunos documentos de última generación describen formas de tratar los residuos plásticos para generar nuevos productos, por ejemplo:

El documento US 10131847 describe un proceso para tratamiento de residuos de material plástico para proporcionar al menos un producto combustible de acuerdo con las especificaciones. El material plástico se funde en una extrusora y se carga en un reactor de pirólisis, que sigue un proceso discontinuo, y cuenta con una atmósfera libre de oxígeno para degradar térmicamente el material y así formar gases de pirólisis. Los gases de pirólisis se ponen en contacto con las placas en un recipiente contactor, de modo que algunos componentes del gas de cadena larga se condensan y se devuelven para ser pirolizados nuevamente para lograr la degradación térmica. Los componentes del gas de cadena corta salen del contactor en forma gaseosa y proceden a la destilación para proporcionar uno o más productos combustibles de acuerdo con las especificaciones. Un tubo conecta directamente

la cámara de pirólisis al contactor, siendo adecuado para transportar gases de pirólisis que se mueven hacia arriba y flujo descendente líquido de cadena larga para degradación térmica. A continuación, el gas de pirólisis pasa por un proceso de destilación fraccionada en varias etapas realizado utilizando, entre otros elementos, dos torres de destilación en serie, una a 5 presión atmosférica y otra a vacío con un alto volumen de recirculación de líquido.

[013] Por lo tanto, la presente invención presenta las siguientes ventajas en comparación con el documento antes mencionado: i. Uso de la degradación termocatalítica como forma de asegurar una mejor calidad del producto al facilitar el proceso de fraccionamiento; ii. El proceso utiliza lotes extendidos y alimentación/producción continua con 10 descargas rápidas, lo que aumenta la productividad del reactor y reduce la contaminación; iii. Mejora de la calidad de las cenizas de carbón para alcanzar las especificaciones de negro de humo y carbón activado; iv. Proceso de fraccionamiento más sencillo y con menor gasto de capital sin requerir, por ejemplo, una torre de destilación al vacío, debido a la mejor calidad de la corriente de gas de pirólisis al pasar por el proceso de craqueo termocatalítico; vi. Mayor 15 eficiencia energética, reduciendo opex, mediante la reutilización de gases de r-gas en los quemadores y una alta recirculación de gases de calefacción.

[014] El documento GB2158089 describe un proceso de tratamiento de residuos plásticos, que comprende los siguientes pasos: (a) fusión de plásticos de desecho, p.e. en petróleo pesado; (b) calefacción de la masa fundida para producir gas; (c) craqueo de gas; (d) 20 estabilización de moléculas; (e) enfriar el gas hasta aproximadamente la temperatura ambiente y recoger el líquido aceitoso condensado durante el enfriamiento del gas; y (f) destilación fraccionada del líquido aceitoso recibido de la etapa (e) para obtener fueloil de varios puntos de ebullición.

[015] Así, la presente invención tiene lo siguiente ventajas respecto al 25 documento antes mencionado: i. El reactor de craqueo del presente depósito puede producir gas de pirólisis sin requerir una serie de tres reactores del documento GB 2158089; ii. El sistema de calentamiento de la presente invención transfiere calor directamente al material de entrada sin requerir el uso de petróleo pesado, lo que introduce una mayor complejidad en el sistema de calefacción y hace que el control de los contaminantes en el producto final sea

más complejo.

[016] El documento PI 0508115-7 describe un proceso y una planta para la conversión termocatalítica de materiales de desecho en combustibles reutilizables y un combustible producido por el proceso, que implica los pasos de aplicar el material de desecho fundido en una o más cámaras de pirólisis a través de distribuidores y válvulas calentados, y llevar a cabo la pirólisis del materiales de desecho a un estado gaseoso en un ambiente purgado de oxígeno y con presión controlada. Luego, los gases pirolíticos se transfieren a un convertidor catalítico donde la estructura molecular del material gaseoso se transforma en la estructura y en forma, y los gases luego se transfieren a uno o más condensadores para destilar y enfriar los gases en sus respectivas fracciones. Después del tratamiento post-pirólisis, las fracciones de combustible forman entonces un combustible utilizable, que en su mayor parte equivale al diésel con un punto de ebullición final de 348,5°C. Esto incluye fundir el material de desecho (plástico) antes de su aplicación a cualquiera de las cámaras de pirólisis, haciendo que el movimiento de material en la torre catalítica sea una operación semicontinua, el direccionamiento de los materiales de desecho derretido hacia uno o más, pero preferiblemente cuatro cámaras de pirólisis, haciendo que cada cámara sea capaz de operar de forma independiente y en un sistema por lotes. Opcionalmente, hay una eliminación mecánica del material carbonizado residual de la cámara de pirólisis mediante el uso de una rosca helicoidal interna u otro medio apropiado después de completar un lote seguido de un ciclo de enfriamiento de la cámara de pirólisis.

[017] Por lo tanto, la presente invención presenta las siguientes ventajas en comparación con el documento antes mencionado: i. Operación semicontinua y continua de cada cámara, aumentando sustancialmente la productividad de cada reactor de pirólisis, debido a que el sistema de alimentación de material y eliminación de sólidos de la cámara de pirólisis está dedicado a cada reactor; ii. Valorización de productos de cenizas de carbón, como negro de humo o carbón activado utilizando el reactor de tostación; III. Capacidad de producir una fracción mayor (por encima del 50% en masa) de líquidos e hidrocarburos más ligeros (punto de ebullición final 220°C o 310°C) siguiendo estrictas especificaciones ya que este depósito emplea un sistema de reflujo a la salida del reactor y también un proceso de

catálisis antes la corriente de aceite de pirólisis ingresa al sistema de fraccionamiento; iv. El menor consumo de energía se debe a una mayor eficiencia térmica mediante la recirculación de gases de calentamiento calientes y el uso de gas de síntesis en la producción de energía térmica, lo que hace que el proceso sea autosuficiente en energía térmica.

5 [018] El documento EP3311969A1 hace referencia a un dispositivo para la descomposición térmica de residuos de polietileno y polipropileno. El dispositivo descrito en esta sección utiliza al menos dos reactores conectados en paralelo, uno o ambos de los cuales utilizan un horno extraíble. Además, el dispositivo también utiliza: una unidad para fraccionar materias primas poliméricas, que se encuentran en forma de una mezcla de vapor y gas, que
10 consta de un intercambiador de calor; un reservatorio de recolección de hidrocarburos con caldera para acumulación y recalentamiento del volumen interno; un desparafinador; una columna de rectificación para separar las fracciones de diésel y gasolina y una caldera; un intercambiador de calor tubular. Este proceso también utiliza catalizadores metálicos de titanio en forma de tira que se instalan dentro de los tubos/pasos del intercambiador de calor.

15 [019] Sin embargo, parece que este documento se centra en la generación de combustibles para motores (gasolina, diésel), quema de petróleo, gas hidrocarburo y coque/carbón. Sin embargo, la presente invención tiene las siguientes ventajas en comparación con dicho documento: i. Los gases de salida del reactor de pirólisis sufren reflujo para evitar que moléculas con mucho carbono pasen al sistema de condensación, lo que
20 podría provocar pérdidas de productividad por obstrucción e incrustaciones, incluso si el sistema utiliza catalizadores y “*dewaxing*” como una forma de craquear las moléculas de hidrocarburos al tamaño requerido y así evitar; ii. Proceso continuo; en la presente invención no hay existencias intermedias de material en el proceso, como un depósito calentado por una caldera, y por lo tanto es más eficiente energéticamente y permite una mayor estabilidad
25 del proceso, lo que resulta en una mejor calidad del producto; iii. Sistema de fraccionamiento más simple y menos costoso mediante un proceso termocatalítico seguido de reflujo y catálisis adicional antes de iniciar la etapa de fraccionamiento; iv. Mejor uso de *materia prima* completa ya que las cenizas de carbón son tratadas mediante un reactor de tostación específico. El citado documento presenta también dos versiones para el reactor de pirólisis. En la versión 1

(“*periodic mode implementation*” - “*implementación del modo periódico*”) los autores detallan con precisión un proceso que alterna dos reactores que producen gases de pirólisis para ser procesados aguas abajo del sistema propuesto. En esta versión 1 los reactores se paran, enfrían, limpian y recargan alternativamente, teniendo así siempre un reactor produciendo gases de pirólisis, y otro parado. En la versión 2 (“*continuous mode implementation*” - “*implementación en modo continuo*”) los autores describen de manera muy amplia sin resaltar ni los componentes del sistema ni cómo funciona efectivamente el sistema de alimentación y producción continua para garantizar el funcionamiento continuo y seguro de los reactores. En este caso, la presente invención es más productiva ya que describe en detalle un sistema de alimentación que permite la operación de reactores de pirólisis en un proceso discontinuo extendido y también en un proceso de operación continua, asegurando una mayor productividad y por tanto economía para el sistema.

[020] El documento BR 112021000086-0 A2 describe un proceso de planta para conversión termocatalítica que emplea la hidrogenación catalítica de materiales de desecho para convertirlos en combustibles reutilizables. Además, este documento propone la reutilización de la energía obtenida en el método para que el método sea autosuficiente en términos energéticos, de modo que el método utilice sólo una cantidad limitada de productos petrolíferos extraídos, reduciendo así las potenciales emisiones de CO₂ producidas por el hombre.

[021] Aun así, la presente invención presenta las siguientes ventajas respecto al documento antes mencionado: i. no emplea un proceso de hidrogenación de la corriente de gas de pirólisis, que requiere inyección de hidrógeno industrial, lo que aumenta los costos de producción. La presente invención, debido a las características del conjunto reactor-reflujo, parámetros del proceso y uso de catalizadores, logra especificaciones de producto con alto rendimiento sin requerir el paso de hidrogenación; ii. No existe una descripción detallada ni especificación del sistema de alimentación y extracción de sólidos del reactor, que son partes fundamentales para asegurar la productividad y calidad del producto que sale del craqueo primario, y que determina la necesidad de sistemas de tratamiento y fraccionamiento aguas abajo. Cuanto más crudo e inestable sea el producto del reactor de craqueo primario, más

complejo y costoso será el tratamiento y fraccionamiento requerido para la obtención de productos hidrocarburos; iii. El documento en mención no tiene un paso en su proceso para tratar las cenizas de carbón de la salida del reactor primario para lograr especificaciones de uso como producto ya sea como negro de humo o carbón activado. La valorización de este producto es importante para la economía del proceso; iv. Otra parte importante de la economía del proceso es el máximo aprovechamiento de los gases de síntesis formados durante el craqueo para generar energía térmica para el proceso. El citado documento no especifica el sistema de reutilización de dichos gases ni el sistema de recuperación de gases calientes para reducir el consumo de energía térmica y así hacer autosuficiente energéticamente el proceso.

10 [022] El documento WO2021/209276 A1 describe un proceso y planta de conversión térmica que no requiere el uso de catalizadores para transformar materiales de desecho en combustibles reutilizables. Adicionalmente, este documento proporciona un proceso de pirólisis para la obtención de productos petroquímicos a partir de residuos plásticos, particularmente basado en el uso de reactivos basados en nanopartículas de carbono, en lugar del uso de catalizadores, en el que se utiliza menor temperatura, presión y energía para obtener mejores resultados.

15 [023] Por lo tanto, la presente invención presenta las siguientes ventajas en comparación con dicho documento: i. No utiliza como reactivo nanoelementos de carbono, que al ser reactivos y no catalizadores terminan consumiéndose en el proceso de craqueo, lo que requerirá su compra constante para su uso, lo que genera costos al proceso; ii. Los autores del citado documento describen de forma muy amplia sin destacar ni los componentes del sistema ni cómo opera eficazmente el sistema de alimentación y producción continua para garantizar el funcionamiento continuo y seguro de los reactores. En este caso, la presente invención es más productiva ya que describe en detalle un sistema de alimentación que permite la operación de reactores de pirólisis en un proceso discontinuo extendido y también en un proceso de operación continua, asegurando una mayor productividad y por tanto economía para el sistema; iii. El documento en cuestión utiliza como fuente de energía térmica gas industrial (gas natural) adquirido en el mercado, lo que encarece mucho el proceso, ya que no reutiliza el gas de síntesis generado por el propio proceso de craqueo como fuente de

energía térmica. El uso eficiente de este gas es crucial para la economía del proceso.

[024] Por tanto, el sistema propuesto en la presente invención presenta algunas ventajas con relación al estado de la técnica, tales como: (i) Alto rendimiento para producto petroquímico tipo nafta equivalente a "R-nafta" (densidad inferior a 0,78 kg/l); (ii) Proceso más simple con menor gasto de capital y alta modularidad (mucho más simple en *downstream*); (iii) Alta eficiencia energética utilizando recirculación de aire caliente y gas de combustión como combustible principal; (iv) evita el uso de un gas de purga específico (N₂ puro), ya que dificultaría la eficiencia de la reutilización energética del gas residual; (v) lote extendido y también la posibilidad de procesamiento continuo para optimizar la productividad del reactor; (vi) es capaz de absorber una amplia variedad de residuos plásticos diferentes y aun así entregar productos finales que cumplen con especificaciones muy estrictas. Además, está enfocado en producir productos que puedan reinsertarse en la economía circular de la cadena del plástico. Uno de los productos producidos por el sistema y proceso de la presente invención es del mayor rendimiento posible de nafta equivalente tipo "R-nafta" con especificaciones estrictas (densidad inferior a 0,78 kg/l) y sin presencia de ceras, procedentes de diversos residuos plásticos (flexibles, multicapa y multicomponente).

SUMARIO DE LA INVENCION

[025] La presente invención tiene como objetivo proponer un sistema y un proceso para la transformación energéticamente eficiente de diversos residuos plásticos en hidrocarburos en forma líquida, pastosa, sólida y gaseosa para su uso en diversas aplicaciones, como sustituto de productos fósiles y no fósiles aplicados preferentemente en la economía circular de la cadena de plásticos y químicos, como la r-nafta (predominantemente de 6 a 14 carbonos) como materia prima reciclada para sustituir a la nafta fósil como insumo para la industria petroquímica, los r-hidrocarburos ligeros (de 5 a 11 carbonos) utilizados como sustitutos de insumos químicos de origen fósil, r-parafinas ligeras y pesadas (de 20 a 24 carbonos) en sustitución de las parafinas fósiles utilizadas en uso industrial o en el uso de productos de aplicación personal, r-negro de humo reciclado o r-carbón activado (cenizas de carbón tratadas) para reemplazar el negro de humo fósil. Algunos subproductos también pueden tener otras aplicaciones, como productos utilizados en aplicaciones energéticas como

el r-diésel (de 12 a 20 carbonos), como sustituto del diésel fósil, el r-gas residual reciclado (de 1 a 4 carbonos) para sustituir los gases fósiles y la energía eléctrica procedente de fuentes renovables, además de otros r-hidrocarburos como materias primas recicladas aplicadas en sustitución de los hidrocarburos sólidos.

5 **BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

[026] La figura 1 muestra un esquema general del sistema propuesto en la presente invención.

[027] La figura 2 muestra una vista lateral del reactor principal (7) utilizado en la presente invención.

10 [028] La figura 3 muestra una vista lateral de la torre de reflujo (8) utilizada en la presente invención.

[029] La Figura 4 muestra gráficamente la producción por lotes extendida con ciclos de producción de 15 a 30 horas, destacando la relación gas x líquido en relación a la producción global de un reactor principal (7) operando individualmente.

15 [030] La Figura 5 muestra gráficamente la producción por lotes extendida con ciclos de producción de 15 a 30 horas, mostrando la producción combinada de 3 reactores principales (7) operando juntos. La línea superior muestra la producción total de hidrocarburos y la línea inferior muestra la producción de petróleo (líquidos y parafinas).

[031] La Figura 6 muestra un esquema general del sistema que detalla el ejemplo de implementación de la invención considerando el balance de masa y energía para una planta con tres reactores operando juntos con un horizonte de un año de operación.

20 [032] La Figura 7 muestra un gráfico de la masa destilada acumulada versus temperatura, presentando datos empíricos que demuestran el cambio en las curvas de destilación de los diferentes productos al ser sometidos a tres escenarios diferentes: sin catalizador, con catalizador C y Catalizador F.

25 **DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION**

[033] La presente invención se refiere a un sistema de transformación energéticamente eficiente de diversos residuos plásticos en hidrocarburos en forma líquida, pastosa, sólida y gaseosa para su aplicación en productos de la cadena de valor de la

economía circular plástica y química. Dicho sistema, tal como se representa en la Figura 1, comprende los siguientes componentes:

- módulo de alimentación;
 - sistema de preparación de material (1);
 - 5 - silo de almacenamiento (2);
 - rosca alimentadora y dosificadora (3);
 - medidor de flujo de sólidos (33);
 - dosificador de catalizador (36);
 - compactador (4);
 - 10 - rosca de fusión (5);
 - intercambiador de calor (6);
 - ventilador de rosca de fusión (19);
 - Módulo de Reacción;
 - reactor principal (7);
 - 15 - medidor de nivel (34);
 - quemador y horno (18);
 - torre de reflujo (8);
 - ventilador de reflujo (22);
 - intercambiador de calor (26);
 - 20 • Módulo de Condensación/Separación;
 - torre de catálisis (9);
 - sistema de condensación (10);
 - intercambiadores de calor (11a y 11b);
 - torre de enfriamiento de agua (23);
 - 25 - bomba del sistema de refrigeración general (30);
 - *chiller* (31);
 - bomba del sistema de refrigeración (32);
 - Módulo de escape/r-gas residual;
 - lavadora de gas (*bubbler*) (12);

- compresor de baja presión (13);
- intercambiador de calor recuperativo (14);
- reservorios de gas de síntesis (r-gas residual) (16);
- reservorios de GPL (17);
- 5 - generador de energía eléctrica (24);
- *flare* (25);
- Módulo de Descarga;
- válvula de control de descarga (35);
- reactor de tostación (15);
- 10 - quemador y horno del reactor de tostación (20);
- ventilador de torre de catálisis (21);
- rosca para retirar el reactor de tostación (27);
- enfriador de cenizas de carbón (28);
- rosca de sellado (29).
- 15 [034] En una segunda realización, la presente invención se refiere a un proceso para la transformación energéticamente eficiente de diversos residuos plásticos en hidrocarburos líquidos utilizando el sistema descrito anteriormente. Dicho proceso comprende los siguientes pasos:
- (a) Preparación del material con remoción y control de contaminantes y remoción
- 20 de agua;
- (b) Homogeneización y alimentación de material al reactor de pirólisis;
- (c) Reacción de pirólisis;
- (d) Tratamiento, condensación y separación de hidrocarburos producidos;
- (e) Tratamiento y almacenamiento de gas de síntesis;
- 25 (f) Uso de gas de síntesis almacenado para calentar los reactores principal y secundario y generar energía eléctrica y térmica;
- (g) Reutilización térmica y agotamiento de gases quemados; y
- (h) Eliminación y tratamiento de cenizas de carbón.

[035] A continuación, se detallará más detalladamente el funcionamiento del

sistema y el proceso de transformación.

[036] En primer lugar, se prepara el material (1), mediante procesamiento mecánico y químico, con el objetivo de eliminar los principales contaminantes para cumplir con la especificación final de los productos y eliminar agua para optimizar el procesamiento.

5 Dichos materiales provienen de vertederos o materiales reciclados. Además de eliminar los contaminantes, procedimientos como la trituración y la molienda tienen como objetivo reducir el tamaño de las partículas a aproximadamente 1 pulgada para facilitar el lavado. Además, los procedimientos de separación y aglutinación tienen como objetivo aumentar la densidad de las partículas. Los principales pasos de la fase de preparación para sus respectivos
10 objetivos varían según el origen del material plástico recibido y los límites aceptables de contaminación en el producto final, sin embargo, pueden estar compuestos por los siguientes pasos en su forma más extensa:

- a.1 Tamiz separador de finos, equivalente a un tamiz rotativo tipo *trommel*;
- a.2 Línea de separación manual para retiro de telas y artículos voluminosos;
- 15 a.3 Separación magnética para eliminar material ferroso magnético;
- a.4 Trituración hasta alcanzar un tamaño máximo de partícula de 250 mm;
- a.5 Eliminación de plásticos (películas) por succión;
- a.6 Molienda obteniendo partículas con un tamaño máximo de 25 mm;
- a.7 Lavado con baño de solución para eliminar contaminantes como clorados,
20 oxigenados y silicio;
- a.8 Secado por centrifugación para eliminación de impurezas residuales y secado inicial;
- a.9 Aglutinación para secado final del material y aumento de densidad aparente; y
- a.10 Almacenamiento y transporte.

25 [037] Como resultado de la etapa de preparación (1), el material que pasa a las siguientes etapas deberá tener un seguimiento de sus características para que pueda cumplir con las siguientes especificaciones:

- Contenido máximo de humedad 5%;
- Densidad aparente entre 200 kg/m³ y 450 kg/m³;

- Tamaño máximo de partícula 25 mm;
- Máximo 300 ppm-m de cloruros totales;
- Máximo 1100 ppb-m de oxigenados totales;
- Máximo 300 ppb-m de nitrogenados;
- 5 - Máximo 500 ppb-m de azufre total;
- Máximo 15 ppm-m de arsénico;
- Máximo 50 ppm-m de cobre;
- Máximo 5 ppm-m de mercurio;
- Máximo 5000 ppm-m de sodio;
- 10 - Máximo 150 ppm-m de plomo; y
- Máximo 1100 ppm-m de silicio.

[038] Estas especificaciones límite aceptables pueden cambiar según la aplicación de los productos finales.

[039] Desde la línea de preparación, la materia prima se envía a un silo de
15 almacenamiento de unos 3 m³ (2) que tiene como objetivo asegurar la homogeneidad del material, además de una alimentación continua siempre que el sistema de alimentación del reactor demande material.

[040] En el momento en que el silo de almacenamiento (2) está lleno, comienza la alimentación. Tras salir del silo de almacenamiento (2), la materia prima pasará por un
20 alimentador y rosca dosificadora (3) que estandariza el flujo de material plástico retirado del silo (2) y mediante un control que combina la lectura en el medidor de flujo de sólidos (33) con la dosificación realizada por el dosificador de catalizador (36) permite el catalizador se añada precisamente al entrar al compactador (4) a razón de entre 0,1% y 10% en masa dependiendo del aporte de materia prima. Este control de dosificación se realiza mediante ajuste continuo
25 entre la masa alimentada de material plástico que se mide por el medidor de volumen (33) y el volumen de catalizador introducido por el dosificador de catalizador (36). Los parámetros de control se dan según el material a procesar y la especificación/rendimiento del producto deseado.

[041] El catalizador tiene como objetivo aumentar la velocidad a la que las

moléculas de polímero se descomponen y favorecer la formación de hidrocarburos ligeros. El catalizador, principalmente catalizador ácido a base de zeolita, se inserta en el compactador (4), a una tasa entre 0,1% y 10% (según tipo de material y producto final deseado) en masa en relación con la entrada de materia prima. Este catalizador se almacena en un conjunto de silo dosificador (36) y se dosifica en el compactador (4). El sistema de alimentación continúa con el envío de la materia prima al compactador (4), que tiene la función de aumentar la densidad mínima del material hasta unos 450 kg/m³ para reducir el riesgo de que entre oxígeno al sistema. Además, el sistema funciona con una rotación de 5 a 60 rpm y la consiguiente fuerza de compresión y con un sistema de refrigeración, capaz de reducir la temperatura para mantenerla en un máximo de 30 °C, para evitar que la materia prima se derrita en su interior. El compactador (4) se enfría mediante un sistema de encamisado, el cual se basa en un recubrimiento que ingresa con el líquido refrigerante enviado por una bomba (30) desde una torre de enfriamiento (23). Después de introducir la materia prima junto con del 0,1% al 10% del catalizador, el compactador (4) comprime con una relación de compresión de 1:2,5 y conduce los dos materiales a una rosca de fusión (5).

[042] La función de la rosca de fusión (5) es precalentar el material a una temperatura entre 200 °C y 350 °C. Después de salir de la rosca de fusión (5), el material ingresa a un intercambiador de calor (6), que calienta el material entre 350 °C y 450 °C. El tiempo de residencia de los polímeros en este sistema de fusión y calentamiento puede variar entre 90 segundos y 600 segundos. Este intercambiador de calor (6) recibe calor del gas quemado del horno (18), después de que sale de la camisa del reactor principal (7) para calentar el material.

[043] Al salir del intercambiador de calor (6), el material ingresa al reactor principal (7). Este reactor tipo cstr (*continuous stirred-tank reactor*), con un eje centralizado y dividido en forma de ancla (Figura 2), que trabaja con una rotación entre 1 y 30 rpm, pudiendo girar tanto en sentido horario como antihorario. El reactor (7) tiene un índice L/D (*Length/Diameter*) entre 3,5 y 7,0. El reactor principal (7) está encamisado para recibir del horno el calor necesario para llevar a cabo la reacción pirolítica. En un ejemplo de implementación piloto se utilizó un quemador con una potencia de 440.000 kCal/h.

[044] El eje de este reactor tiene como objetivo homogeneizar la masa del reactivo, que pesa entre 600 y 2000 kg, y controlar la eliminación de las cenizas de negro de humo. En la base del eje, inmediatamente después del anclaje, se encuentra una terminación en forma de helicoidal que, dependiendo del sentido y velocidad de rotación del eje, guía la masa reactiva en diferentes direcciones. Controlar la rotación de esta terminación, junto con la válvula de descarga (35) y la rosca de sellado (29), permite que las reacciones sean semicontinuas o continuas. En reacciones semicontinuas, la válvula de descarga (35) funciona cerrada y la rosca de sellado (29) funciona de forma intermitente. En reacciones continuas, la válvula de descarga (35) funciona con ajustes de apertura en función de la producción del reactor principal (7) y consecuente funcionamiento continuo de la rosca de sellado (29).

[045] El material ingresa al reactor principal (7) a una temperatura entre 350 °C – 450 °C. Al ingresar, la materia prima en estado pastoso recibe calentamiento hasta que su temperatura alcanza entre 420 °C – 460 °C, con el fin de minimizar el tiempo de residencia en el reactor. En este rango de temperatura y a una presión calibre de - 20,0 a + 50,0 KPa (- 0,2 hasta + 0,5 bar) se produce la reacción de pirólisis, que consiste en la descomposición de moléculas de plástico, en ausencia de oxígeno, en moléculas de 20 a 40 carbonos, preferentemente de 24 a 28 carbonos, que pasan a estado gaseoso. La reacción química tiene un tiempo de residencia entre 10 minutos y 4 horas, preferentemente de 2 a 3 horas, que se debe aplicar dependiendo de la distribución deseada del producto. Esta reacción química genera productos en tres estados físicos diferentes: i. sólido: cenizas de carbón en forma amplia pero que cumplen con las especificaciones de negro de humo o carbón activado; ii. aceite pirolítico, que contiene fracciones de R-nafta; R-diesel, parafinas y otros; iii. r-gas residual. La proporción formada es de 1% a 35% de sólidos, de 1% a 35% de gas r residual y de 30% a 98% de aceite pirolítico. Este gas es aspirado a través de un compresor radial (13) y enviado a torre de reflujo (8).

[046] La torre de reflujo (8) (figura 3) es un recipiente cónico encamisado, sin presencia de metales con función catalítica, por el que circula aire como refrigerante, compuesto por deflectores y anillos, sin el uso de placas perforadas, que dificultan el flujo ascendente, creando turbulencia (número de Reynolds entre 30.000 y 300.000) que aumenta

el intercambio térmico con las paredes enfriadas sin provocar que se transporte condensado, evitando que moléculas más grandes de más de 20 a 40 carbonos (preferiblemente de 20 a 28 carbonos) pasen a la siguiente fase del proceso. Estas moléculas más grandes se condensan y regresan por gravedad al reactor donde serán craqueadas nuevamente. El reflujo se mantiene a una temperatura de 220 °C a 320 °C, preferentemente de 240 a 280 °C, donde su control de temperatura se realiza mediante un ventilador (22) que hace circular aire frío en su camisa. Al salir de reflujo, la corriente ingresará a un intercambiador de calor (26), que absorbe gases del reactor principal (7), utilizando la fuerza motriz del ventilador (19), el cual puede aumentar la temperatura a un rango entre 220 °C y 600 °C. Esta temperatura se ajustará dependiendo de las condiciones de operación requeridas para la torre de catálisis.

[047] A torre de catálisis (9), que tiene un índice L/D (Longitud/Diámetro) de 3,0 a 5,0, tiene como objetivo completar la descomposición de moléculas que son mayores que el tamaño deseado en la especificación de los tipos de productos que se producen, permitiendo así una producción más homogénea de productos. La torre de catálisis (9), que está compuesta por un lecho catalítico sólido de dimensiones, volumen y porosidad adecuadas, depende directamente del tipo de catalizador utilizado, ya que el tiempo de residencia del producto debe ser suficiente para que se produzcan las rupturas moleculares deseadas. Este tiempo de residencia de la corriente de hidrocarburos puede variar de 2 a 12 segundos dependiendo del producto deseado. Otro factor fundamental para la efectividad de la catálisis es la temperatura de operación, la cual debe estar entre 350 °C y 550 °C según el tipo de catalizador utilizado y los productos finales deseados. Los catalizadores utilizados son generalmente ácidos y del tipo zeolita, utilizándose preferentemente catalizadores de zeolita Y o clinoptilolita y silicato de aluminio ZSM5.

[048] El proceso de la presente invención puede emplear catalizadores en dos etapas del proceso: i. En el reactor principal (7), donde se produce el craqueo primario, también llamado catalizador en fase líquida, ii. En la torre de catálisis (9), donde se puede producir el craqueo secundario, también llamado catalizador en fase gaseosa. Los catalizadores se pueden aplicar individualmente en cada fase o en operación conjunta, o el presente proceso de depósito se puede operar sin catalizadores. Pero preferiblemente, los

catalizadores se usan juntos en sus respectivas etapas, ya que generalmente reducen el nivel de energía requerido para obtener productos de craqueo más livianos, ya sea en fase líquida o gaseosa. Figura 7 (el eje X es el % de masa acumulada destilada, el eje Y es la temperatura) muestra datos empíricos que demuestran el cambio en las curvas de destilación de diferentes productos cuando se someten a tres escenarios diferentes: sin catalizador, con Catalizador C y Catalizador F. En el caso de aplicar el catalizador en fase líquida, que ocurre en el reactor (7), se puede esperar una reducción del nivel de energía de alrededor del 10 al 15%, lo que se traduce en una reducción de consumo de energía térmica. La fase gaseosa, que se produce en la torre de catálisis (9), puede trabajar con diferentes tipos de catalizadores o sin ningún catalizador, pero con diferente eficiencia en la conversión en productos más ligeros y en el consumo de energía para la reacción. Diferentes especificaciones de catalizadores encontrados en el mercado brasileño e internacional pueden utilizarse con éxito al adaptar la torre de catálisis a las condiciones de trabajo requeridas. La Tabla 1 a continuación ilustra esta relación de algunos tipos diferentes de catalizadores con los rendimientos máxicos de los productos de salida.

Tabla 1: Rendimiento máxico en función de las temperaturas de trabajo y los tipos de catalizadores.

RANGO DE TEMPERATURA	% EN MASA DE PRODUCTO DE SALIDA				TIPOS DE CATALIZADOR
	Aceite pesado	Diesel	Nafta	Gas de síntesis	
220-380 °C	10-15%	55-70%	10-15%	10-20%	Medio catalítico ácido de zeolita
450-550 °C	5-10%	10-15%	45-55%	20-40%	Medio catalítico ácido de zeolita Y
430-500 °C	5-10%	10-15%	10-15%	60-75%	Silicato de aluminio ZSM-5 o Zeolita Y

[049] Después de salir de la torre de catálisis (9), el gas pasa por un sistema de condensación (10), que tiene la función de condensar este gas a temperaturas de 240 °C y 310 °C. El volumen de gas no condensado en esta etapa, que está compuesto por moléculas más ligeras, irá a condensadores para ser condensado a temperaturas más bajas. Ambos productos, tras la condensación, son enviados a reservorios de almacenamiento.

[050] La segunda etapa de condensación ocurre en los intercambiadores de calor (11a y 11b). El fluido caliente se condensa a una temperatura de hasta 110 °C y se envía a la zona de almacenamiento. El intercambiador de calor (11b) reduce la temperatura de la corriente de hidrocarburos a 10 °C, utilizando agua enfriada, entre 0 °C y -15 °C, preferiblemente -5 °C, proveniente de un *chiller* (31). Este condensado también se envía a almacenamiento. Estas últimas fracciones de aceite condensado se denominan R-nafta.

[051] El tercer y último punto de condensación se encuentra en el intercambiador de calor recuperativo (14). Esta condensación es favorecida principalmente por el aumento de presión obtenido por el compresor (13), más que por la pura reducción de temperatura. La presión de trabajo puede variar de 1,5 bar a 6 bar, utilizando una temperatura de condensación de 30 °C a 70 °C. Este aceite pirolítico ligero adicional se puede mezclar con el aceite pirolítico condensado en los intercambiadores de calor (11a y 11b) como parte de la composición de R-nafta o se puede almacenar por separado y utilizar en diversos insumos químicos. Esta opción se define según la aplicación y necesidad definida para la producción deseada.

[052] Se obtiene un rendimiento del 1% - 40% en masa de aceite pirolítico pesado (r-parafina), del 1% - 40% en masa de aceite pirolítico medio (r-diesel) y del 20% - 98% en masa de aceite pirolítico ligero y muy ligero (r-nafta).

[053] El gas incondensable (gas residual r) que sale de los intercambiadores de calor (14) se comprime a una presión más alta, entre 1,5 bar y 6 bar, y se envía al sistema de almacenamiento de gas. Será reutilizado por el sistema para la producción de energía térmica, para generación de energía y/o como r-GLP para *materia prima* de *crackers* petroquímicos.

[054] Antes de comprimir el gas para su uso, se puede lavar en un lavador de gas (*bubbler*) (12) con una solución de CaOH o NaOH, entre 0,1 y 5%, preferentemente 0,5%, dependiendo del material a procesar. Se puede utilizar otra base para eliminar las impurezas

existentes. El *bubbler* (12) funciona como un depurador, en el que el gas entra hacia arriba, pasando a través de una solución alcalina. Esta etapa se utiliza en particular para los gases generados en el proceso de tostación que tiene lugar en el reactor secundario/reactor de tostación (15).

5 [055] El compresor (13) tiene la función de estabilizar el flujo de producción durante todo el proceso desde el reactor principal (7) y también asegura las condiciones para la condensación del aceite pirolítico muy ligero en el intercambiador de calor de recuperación (14), como se describió anteriormente.

[056] Los reservorios de r-gas residual (16) tienen la función de almacenar el
10 r-gas residual a una presión de 1,5 a 6 bar.

[057] El uso principal del r-gas residual producido es proporcionar energía térmica para la reacción de pirólisis, como se describirá a continuación. Sin embargo, puede haber un exceso de producción de r-gas residual que puede enviarse para uso de energía adicional a través de un generador de energía eléctrica (24). Este generador, al generar
15 energía eléctrica, también permite el aprovechamiento térmico ya sea para calentamiento mediante gases de combustión o para enfriamiento mediante adsorción térmica. Los tres usos energéticos (energía eléctrica, calor y frío) se utilizan en el proceso industrial y contribuyen a la eficiencia energética del proceso en su conjunto.

[058] El flare (25) es el sistema de seguridad que quema el gas en momentos
20 esporádicos, y puede usarse en momentos de emergencia o para vaciar el sistema para un eventual mantenimiento.

[059] El principal uso para gas almacenado en los reservorios de r-gas residual (16) es el suministro al quemador que proporcionan energía térmica a los hornos (18 y 20). El quemador y horno (18) calienta todo el sistema de reacción, trabajando a temperaturas entre
25 750 °C y 1.200 °C. La reacción de pirólisis utiliza parte de esta energía con una temperatura de funcionamiento de 700 a 900 °C. La energía térmica generada en este mismo horno también proporciona energía térmica para el sistema de fusión de plástico en el intercambiador de calor (6) y para el intercambiador de calor (26) para calentar la corriente después del reflujo.

[060] El quemador y el horno (20) suministran energía térmica al reactor de tostación (15) y también suministran energía a la torre de catálisis (9).

[061] También se puede utilizar un gas combustible alternativo para la puesta en marcha de plantas o en otras eventualidades. Tanto el GLP como el Syngas son transportados al quemador y horno (18) del reactor principal (7), y al quemador y horno (20) del reactor de tostación (15) por la presión de almacenamiento de sus reservorios.

[062] El aprovechamiento energético del quemador y horno (18) se realiza mediante la recirculación de gas caliente en circuito cerrado mediante un ventilador (19). Este circuito hace circular aire caliente entre: i. horno (18), ii. camisa del reactor principal (7), iii. intercambiador de calor (26) post torre de reflujo (8) y iv. intercambiador de calor (6) para fusión de plástico. Este circuito cerrado tiene un adecuado intercambio de gases mediante la eliminación de gases saturados y la entrada de aire fresco para asegurar las condiciones ideales para la quema de gas de síntesis o GLP en el quemador del horno. El gas de retorno al horno (18) tiene una temperatura entre 400 y 550 °C. Las condiciones ideales de combustión del quemador, por ejemplo, una presión en la entrada de la camisa del reactor de -7 mbar a -10 mbar, dependen no sólo de la composición química del aire recirculado (que garantiza la presencia necesaria de oxígeno sin exceso de contaminantes), sino también equilibrando presiones y eliminando impurezas sólidas eventualmente generadas en el proceso de combustión.

[063] De manera similar, el quemador y horno (20) también tienen reutilización de energía mediante la recirculación de gas caliente utilizando el ventilador de la torre de catálisis (22) como fuerza motriz. Esta temperatura varía entre 450 y 650 °C. En este caso, el circuito de reutilización de energía hace circular el gas caliente entre: i. horno (20), ii. camisa del reactor de tostación (15), y iii. camisa de torre de catálisis (9). Este circuito cerrado tiene un intercambio de gases adecuado mediante la eliminación de gases saturados y la entrada de aire fresco para garantizar las condiciones ideales para la quema de r-gas/syngas o GLP en el quemador del horno, como el circuito del ventilador (19).

[064] La reacción del pirólisis de lecho fijo produce cenizas de carbono como subproducto (negro de humo o carbón activado). En el caso de reacciones discontinuas

prolongadas, la presencia de cenizas de carbono es imperceptible, en términos de dinámica de reacción, hasta el momento en que finaliza la reacción/lote extendido termina y es necesario eliminar el material sólido residual en el lecho del reactor. En el caso de reacciones discontinuas prolongadas o reacciones continuas, es fundamental monitorear y eliminar las cenizas de carbón cuando la acumulación y respectivo aumento de la concentración de este componente reduce la eficiencia de la reacción. El proceso desarrollado cuenta con mecanismos para monitorear y eliminar las cenizas de carbón formadas a lo largo de la reacción.

[065] Existen dos formas de producción utilizando el diseño de proceso desarrollado aquí: i. Producción por lotes extendidos con ciclos de producción de 15 a 30 horas (Figura 4), ii. Producción continua sin necesidad de paradas para eliminación de cenizas por saturación de la masa reaccionante. En ambos casos, es fundamental monitorear el estado de la masa de reactivo y la acción sobre la masa de reactivo para eliminar las cenizas de carbón, utilizando un sensor de nivel.

[066] En el caso del lote extendido, la válvula de descarga (35) opera cerrada y se abre sólo cuando el material contenido en el reactor principal (7) se descarga por completo. Una vez que el material retirado del reactor principal (7) ingresa al reactor de tostación (15), comienza el proceso de tostación del material, el cual ocurre a una temperatura entre 500 °C y 600 °C. La masa de reactivo en el reactor principal (7), al alcanzar el punto de saturación, es de entre un 25 y un 45%, preferentemente un 30% de cenizas de carbono, valor calculado en función del volumen de producción, será necesario descargar las cenizas de carbono que están ubicados en el interior del reactor principal (7). El punto de saturación está determinado por la relación entre la temperatura de la masa que reacciona y la producción de gas (Figura 5). Cuando el aumento de temperatura ya no genera mayor producción, preferiblemente 450 a 480 °C, se debe detener la reacción y comenzar el proceso de remoción de la masa reaccionante.

[067] Después de asegurar la formación de cenizas de carbón en el tercio inferior del reactor principal (7), se inicia la descarga manual del material. Para este fin, el eje dividido tiene su dirección de rotación invertida y su velocidad aumentada, por lo que el eje dividido

envía el material fuera del reactor principal (7) y hacia el reactor de tostación (15) donde se realiza el proceso de tostación de cenizas de carbón. Este proceso de tostación busca asegurar que las cenizas de carbón serán procesadas al punto de cumplir con las especificaciones requeridas para la aplicación de este producto como negro de humo o carbón activado. Para aplicar este producto, en este caso carbón activado, por ejemplo, el producto debe cumplir las siguientes especificaciones: Humedad hasta 5% (ASTMD2867), Densidad entre 400 y 600 kg/m³ (DIN ISO 787-11), Superficie min 300 m²/g (DIN 66132) y Tamaño de partícula (<100µm) mínimo 80% (CT-PA 17). Durante esta fase, además del calentamiento y la revolución mecánica continua del material, se pueden agregar componentes químicos para contribuir a la composición química final requerida. El reactor de tostación (15) tiene un índice L/D (*Longitud/Diámetro*) entre 4,3 y 5,6, y tiene una camisa calefactora alimentada por el quemador y horno (20). El material dentro del reactor se calienta y se mezcla hasta que el sensor de temperatura del reactor de tostación (15) indica 500-6000 °C. Después de alcanzar esta temperatura y tiempo de procesamiento determinados, se extrae y almacena el producto final, ya sea negro de humo o carbón activado. Los gases eventualmente generados por este proceso de tostación también son absorbidos por el sistema de compresión y utilizados como gases de planta, una vez insertados en el *bubbler* (12).

[0 6 8] Este proceso también puede funcionar de forma continua para eliminar las cenizas de carbón. En este caso, la forma continua se produce con la válvula de descarga (35) teniendo su apertura controlada, la rosca de sellado (29) insertando material y el eje del reactor principal (7) girando entre 20 y 30 rpm en la dirección de descarga. Para conseguirlo es necesario que se alcance un punto de equilibrio de concentración de cenizas de carbono (entre el 10% y el 30%). En este caso, el eje dividido del reactor principal (7) debe girar en el sentido de retirar la masa reaccionante del material a una rotación adecuada, entre 20 y 100 rpm, preferentemente 30 rpm, para mantener el equilibrio entre la velocidad de extracción y la estabilidad de la masa reactiva. Este equilibrio también se mantiene mediante el funcionamiento de la válvula de descarga (35), que funciona con ajustes de apertura en función de la producción del reactor principal (7) y el consiguiente funcionamiento continuo de la rosca de sellado (29).

[069] Esta extracción continua también tiene lugar en el reactor de tostación (15), donde, como se describió anteriormente, el material retirado del reactor se someterá a un proceso de tostación y la eventual adición de componentes químicos para lograr la especificación deseada de las cenizas de carbono. Los parámetros y especificaciones del proceso son los mismos que los descritos anteriormente en la operación por lotes extendida.

[070] Después han pasado por el proceso de tostación en el reactor de tostación (16), los productos de carbón activado o negro de humo *son* conducidos por una rosca de retiro (27) desde el reactor de tostación (15) hasta el reservatorio de enfriamiento (28) donde permanecerá de 5 a 15 horas hasta que se enfríe (alrededor de 70 °C). Posteriormente, los productos de carbón activado o negro de humo se pueden utilizar en la rosca de sellado (29) del sistema de eliminación de material del reactor principal (7) o se pueden enviar al silo de existencia final y embalaje para uso del cliente.

[071] En una tercera realización, la presente invención se refiere a hidrocarburos producidos según el proceso descrito. Cabe señalar que dichos hidrocarburos pueden presentar contaminantes en la siguiente concentración máxima solos o juntos. El control para cumplir con dichos niveles máximos de contaminantes se realiza, en su mayor parte, en el sistema de preparación del material (1):

- 300 ppm-m de cloruros totales;
- 1100 ppb-m de oxigenados totales;
- 300 ppb-m de nitrogenados;
- 500 ppb-m de azufre total;
- 50 ppb-m de disulfuro de carbono;
- 100 ppb-m de mercaptanos;
- 10 ppb-m de sulfuro de carbonilo;
- 50 ppb-m de sulfuro de hidrógeno;
- 15 ppm-m de arsénico;
- 50 ppm-m de cobre;
- 300 ppm-m de hierro;
- 5 ppm-m de mercurio;

- 5000 ppm-m de sodio;
- 150 ppm-m de plomo; y
- Silicio 1100 ppm-m.

[072] Además, los hidrocarburos producidos pueden ser principalmente gases
5 sintéticos, preferentemente propano, butano, metano, etano, propileno e isopropileno, con un
punto de ebullición final de 30 °C; hidrocarburo ligero, preferentemente pentano, hexano y
heptano, con un punto de ebullición inicial de 30 °C y un punto de ebullición final de 80 °C;
nafta y diesel, principalmente alcanos, parafinas, isoparafinas y olefinas, con un punto de
ebullición inicial de 80 °C y un punto de ebullición final de 240 °C respectivamente (r-nafta), y
10 un punto de ebullición inicial de 240 °C y punto de ebullición final de 310 °C (r-diesel); parafina,
principalmente parafinas con cadenas lineales de baja densidad, con un punto de ebullición
inicial de 310 °C y un punto de ebullición final superior a 330 °C, preferentemente sólidas a
temperatura ambiente, y líquidas entre 35 °C y 55 °C; cenizas de carbón bajo la
caracterización de producto de negro de humo, con un tamaño de partícula entre 10 y 320 nm
15 y densidad aparente (dbp) entre 50 y 120, y bajo la caracterización como producto de carbón
activado, Humedad hasta 5% (ASTMD2867), Densidad entre 400 y 600 kg/m³ (DIN ISO 787-
11), Superficie min 300 m²/g (DIN 66132) y Tamaño de partícula (<100µm) mínimo 80% (CT-
PA 17).

[073] En una cuarta realización, la presente invención también se refiere a los
20 usos de los hidrocarburos producidos, incluyendo:

- Gas reciclado envasado para sustituir el gas fósil en aplicaciones de calefacción
(gas residual r);
- Fuente de generación de energía renovable a partir de gas reciclado (r-gas
residual);
- 25 - Nafta reciclada en cracker petroquímico para producir plásticos vírgenes (r-nafta);
- Aditivo reciclado para gasóleo fósil (r-diesel);
- Materias primas recicladas para la industria química que sustituyen a los
hidrocarburos fósiles (r-nafta ligera/r-diesel);
- Insumos químicos reciclados que reemplazan los insumos fósiles (r-nafta ligera/r-

diesel);

- Quema de aceites sostenibles para sustituir los aceites fósiles (r-nafta ligera/r-diésel);

5 - Parafinas recicladas para aplicaciones industriales y no industriales que sustituyen a las parafinas fósiles (r-parafinas);

- Negro de humo reciclado y carbón activado en sustitución del negro de humo fósil y del carbón activado (negro de humo y carbón activado);

- Valorización de plásticos de bajo valor añadido, plásticos multicapa y plásticos multicomponentes que podrían acabar en vertederos;

10 - Producción de nafta petroquímica a partir de fuentes recicladas (r-nafta) para sustituir la nafta fósil;

- Producción de diésel a partir de fuentes recicladas (r-Diesel) y sustitución del diésel fósil;

- Producción de otros hidrocarburos (r-hidro) con aplicación en la industria química;

15 - Producción de parafinas ligeras (r-parafinas ligeras);

- Producción de parafinas pesadas (r-parafinas pesadas);

- Producción de negro de humo y carbón activado (r-negro de humo y r-carbón activado);

- Producción de gas de síntesis (r-gas residual); y

20 - Producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables.

Ejemplo de realización de la invención

[074] Con el único propósito de demostrar el funcionamiento de la presente invención, que no se limita a estos parámetros, se proporcionan detalles del proceso como se muestra en la Figura 6 y la Tabla 2 a continuación. La Figura 6 contiene un ejemplo del
25 diagrama de flujo general del proceso de una planta operativa y el balance de masa y energía de esta planta.

Tabla 2: Balance de masa y energía en cada una de las líneas principales de la planta utilizada como ejemplo.

Descriptivo	Nº de	Flujo másico	Hc	Energía
-------------	-------	--------------	----	---------

	la línea	(ton/año)	(kCal/tonelada)	(GCal/año)
Entrada de materiales	1M	5910 (100%)	N/A	65258 (88,0%)
PP o PE	2M	5910 (100%)	N/A	65258 (88,0%)
Entrada de energía	N/A	N/A	N/A	73873 (100%)
Hilo de fusión	1E	N/A	N/A	2088 (3,0%)
Compresor	2E	N/A	N/A	192 (1,0%)
Quemadores	3E y 4E	N/A	N/A	6334 (8,0%)
Salida de materiales	N/A	5910 (100%)	N/A	73873 (100%)
Gas de proceso	3M y 4M	569 (9,6%)	11132000	6334 (9,0%)
Exceso de gases	5M	801 (13,6%)	11132000	8917 (12,0%)
Fracción ligera (nafta)	6M	2408 (40,7%)	10733000	25845 (35,0%)
Fracción promedio	7M	850 (14,4%)	10178000	8651 (12,0%)
fracción pesada	8M	746 (12,6%)	9426000	7032 (10,0%)
Negro de carbón	9M	295 (5,0%)	7047000	2079 (2,0%)
Pérdida de agua en intercambiadores	10M	241 (4,1%)	N/A	N/A
Salida de potencia	N/A	N/A	N/A	15015 (20,0%)
Torre de enfriamiento de agua	5E	N/A	N/A	1501 (10,0%)
Ventilador de torre de reflujo	6E	N/A	N/A	150 (1,0%)
Pérdidas de gases saturados de los reactores	7E y 8E	N/A	N/A	450 (3,0%)

Pérdidas del sistema	N/A	N/A	N/A	950 (6,0%)
----------------------	-----	-----	-----	------------

[075] Es importante mencionar que la presente invención se implementa en plantas operativas que tienen el módulo de alimentación, el módulo de reacción y el módulo de descarga en módulos, lo que permite que una planta tenga su capacidad de producción ajustada a la disponibilidad de materia prima en el lugar de implantación. El proceso de esta invención considera el uso de 2 a 9 módulos operando en paralelo en una misma planta. El resto de los módulos (módulo de preparación de material, módulo de fraccionamiento, módulo de escape) son únicos, independientemente del número de módulos que tenga una planta. En el caso específico de la Figura 6 y Tabla 2, el balance de masa y energía se realiza para una planta con tres módulos de reacción.

[076] Finalmente, considerando que la presente invención puede implementarse de diferentes maneras, sin apartarse de sus características esenciales, los ejemplos anteriores deben entenderse como no limitativos, ya que sólo ilustran cómo se puede reproducir la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Sistema para la transformación energéticamente eficiente de diversos residuos plásticos en hidrocarburos **caracterizado** porque comprende:

- Módulo de alimentación;
- 5 • Módulo de reacción;
- Módulo de Condensación/Separación;
- Módulo de escape/gases residuales; y
- Módulo de Descarga;

donde el módulo de potencia comprende:

- 10 - sistema de preparación de material (1);
- silo de almacenamiento (2);
- rosca alimentadora y dosificadora (3);
- medidor de flujo de sólidos (33);
- dosificador de catalizador (36);
- 15 - compactador (4);
- rosca de fusión (5);
- intercambiador de calor (6);
- ventilador de rosca de fusión (19);

el módulo de reacción comprende:

- 20 - reactor principal (7);
- medidor de nivel (34);
- quemador y horno (18);
- torre de reflujo (8);
- ventilador de reflujo (22);
- 25 - intercambiador de calor (26);

el módulo de Condensación/Separación comprende:

- torre de catálisis (9);
- sistema de condensación (10);
- intercambiadores de calor (11a y 11b);

- torre de enfriamiento de agua (23);
- bomba del sistema de refrigeración general (30);
- *chiller* (31);
- bomba del sistema de refrigeración (32);

5 el módulo de escape/gases residuales comprende:

- lavadora de gas (*bubbler*) (12);
- compresor de baja presión (13);
- intercambiador de calor recuperativo (14);
- reservorios de gas de síntesis (r-gas residual) (16);

10 - reservorios de GPL (17);

- generador de energía eléctrica (24);

- *flare* (25);

el módulo de descarga comprende:

- válvula de control de descarga (35);

15 - reactor de tostación (15);

- quemador y horno del reactor de tostación (20);

- ventilador de torre de catálisis (21);

- rosca para retirar el reactor de tostación (27);

- enfriador de cenizas de carbón (28);

20 - rosca de sellado (29).

2. Sistema, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque la rosca alimentadora y dosificadora (3) estandariza el flujo y mediante un control que combina la lectura en el medidor de flujo de sólidos (33) con la dosificación realizada por el dosificador de catalizador (36) permite agregar el catalizador en una necesidad al entrar al compactador (4).

3. Sistema, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque el catalizador es introducido en el compactador (4) por el dosificador de catalizador (36), a razón de entre 0,1% y 10% en masa dependiendo del aporte de materia prima.

4. Sistema, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque el

compactador (4) trabaja con una fuerza de rotación y consecuente compresión generada por una rotación de 5 a 60 rpm con el objetivo de alcanzar una densidad mínima de 450kg/m³ para asegurar una buena alimentación de la rosca de fusión (5) y evitar el retorno de gas.

5 5. Sistema, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque el compactador (4) comprime la materia prima junto con el catalizador y los lleva a una rosca de fusión (5).

6. Sistema, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque la rosca de fusión (5) precalienta el material a una temperatura entre 200 °C y 350 °C.

10 7. Sistema, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque después de salir de la rosca de fusión (5), el material ingresa a un intercambiador de calor (6), el cual calienta el material entre 350 °C y 450 °C.

15 8. Sistema, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque la reacción de pirólisis ocurre en el reactor principal (7) en el rango de temperatura entre 420 °C y 460 °C y con una presión manométrica de - 20,0 a + 50,0 KPa (- 0,2 hasta + 0,5 bar), para un tiempo de residencia de 10 minutos a 4 horas, preferentemente de 2 a 3 horas.

9. Sistema, de acuerdo con la reivindicación 8, **caracterizado** porque el reactor principal (7) es del tipo cstr (*continuous stirred-tank reactor*), con un eje centralizado y dividido en forma de ancla, que funciona con una rotación de entre 1 y 30 rpm, pudiendo girar tanto en sentido horario como antihorario.

20 10. Sistema, de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado** porque el reactor principal (7) tiene una relación L/D entre 3,5 y 7,0, y está encamisado para recibir del horno el calor necesario para llevar a cabo la reacción pirolítica.

25 11. Sistema, de acuerdo con la reivindicación 10, **caracterizado** porque el reactor principal (7) comprende también un eje que pesa entre 600 y 2000 kg y que presenta en su base, justo después del anclaje, una terminación en forma helicoidal que, junto con la válvula de descarga (35) y rosca de sellado (29) permite que la eliminación de cenizas de carbón sea continua o intermitente.

12. Sistema, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque la temperatura de la corriente de hidrocarburos a la salida de la torre de reflujo (8) se mantiene

entre 220 °C y 320 °C, preferentemente entre 240 °C y 280 °C con turbulencias con un número de Reynolds entre 30.000 y 300.000, y sin metales catalíticos, donde el control de la temperatura se realiza mediante un ventilador (22) que hace circular aire frío en su camisa.

5 13. Sistema, de acuerdo con la reivindicación 12, **caracterizado** porque la torre de reflujo (8) tiene una forma cónica divergente en su camisa con un sistema de anillos y “sombrosos chinos” que combinados con el caudal de la salida del reactor principal (7) proporcionan un flujo turbulento para maximizar el intercambio térmico y al mismo tiempo permitir que la fracción pesada (moléculas con cadenas superiores a C20-C28) fluya y regrese al reactor principal (7).

10 14. Sistema, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque la torre de catálisis (9) con un índice L/D de 3,0 a 5,0, permite un tiempo de residencia de 2 a 12 segundos y tiene una temperatura de catálisis entre 350 °C y 550 °C.

15 15. Sistema, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque el sistema de condensación (10) condensa el gas a temperaturas entre 240 °C y 310 °C.

16. Sistema, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque el fluido se condensa a una temperatura de hasta 110 °C y en un segundo punto hasta 10 °C, utilizando agua helada, entre 0 °C y -15 °C, preferentemente -5 °C, viniendo a partir de un *chiller* (31).

20 17. Sistema, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque la condensación se realiza en el intercambiador de calor recuperativo (14) por el aumento de presión obtenido por el compresor (13), variando la presión de trabajo de 1,5 bar a 5 bar, y la temperatura de condensación de 30 °C a 70 °C.

18. Sistema, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque el gas se lava en un lavador de gas (*bubbler*) (12) principalmente con una solución de CaOH o NaOH.

25 19. Sistema, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque los reservorios de r-gas residual (16) almacenan el r-gas residual a una presión de 4 a 12 bar, y alimentan a los quemadores que proporcionan energía térmica a los hornos (18 y 20).

20. Sistema, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque tanto el GLP como el r-gas/Syngas son transportados al quemador y horno (18) del reactor principal (7), y al quemador y horno (20) del reactor de tostación (15) por la presión almacenamiento de sus

reservatorios.

21. Sistema, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque la reutilización de energía del quemador y horno (18) se realiza mediante la recirculación de gas caliente en un circuito cerrado mediante un ventilador de rosca de fusión (19), en el que el
5 retorno de gas caliente a la entrada del quemador y el horno (18) es de 450 °C a 550 °C.

22. Sistema, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque la recirculación de aire caliente en el quemador y horno (18) se realiza en un circuito cerrado entre el horno (18), camisa del reactor principal (7), intercambiador de calor (26), torre de post
reflujo (8), e intercambiador de calor (6) de fusión de plástico.

10 23. Sistema, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque la descarga de cenizas de carbón generadas en el reactor principal (7) se realiza mediante operación conjunta entre la válvula de descarga (35), la rosca de sellado (29) y el eje del reactor principal (7), estando acoplados a la máquina de tostado del reactor (15) que hace girar continuamente el material y lo calienta hasta 500-6000 °C.

15 24. Sistema, de acuerdo con la reivindicación 23, **caracterizado** porque el reactor de tostación (15) tiene un índice L/D entre 4,3 y 5,6, y tiene una camisa calefactora alimentada por el quemador y horno (20).

20 25. Sistema, de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 24, **caracterizado** porque el producto final se extrae a través de la rosca de extracción del reactor de tostación (27) y se enfría a 70 °C en el enfriador de cenizas de carbón (28), en el cual los gases generados por este proceso de tostación también son absorbidos por el sistema de compresión y utilizados como gases vegetales, siendo insertados en el *bubbler* (12) y, después de enfriar, el material se envía mediante transportadores de rosca para su almacenamiento.

25 26. Proceso para la transformación energéticamente eficiente de residuos plásticos diversos en hidrocarburos utilizando el sistema definido en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 25, **caracterizado** porque comprende los siguientes pasos:

(a) Preparación del material con remoción y control de contaminantes y remoción de agua;

(b) Homogeneización y alimentación de material al reactor de pirólisis;

(c) Reacción de pirólisis;

(d) Tratamiento y fraccionamiento de hidrocarburos producidos;

(e) Tratamiento y almacenamiento de gas de síntesis;

5 (f) Uso de gas de síntesis almacenado para calentar los reactores principal y secundario y generar energía eléctrica y térmica;

(g) Reutilización térmica y agotamiento de gases quemados; y

(h) Eliminación y tratamiento de cenizas de carbón.

27. Proceso, de acuerdo con la reivindicación 26, **caracterizado** porque el paso (a)
10 comprende los siguientes subpasos:

a.1 Tamiz separador de finos, equivalente a un tamiz rotativo tipo *trommel*;

a.2 Línea de separación manual para retiro de telas y artículos voluminosos;

a.3 Separación magnética para eliminar material ferroso magnético;

a.4 Trituración hasta alcanzar un tamaño máximo de partícula de 250 mm;

15 a.5 Eliminación de plásticos (películas) por succión;

a.6 Molienda obteniendo partículas con un tamaño máximo de 25 mm;

a.7 Lavado con baño de solución para eliminar contaminantes como clorados, oxigenados y silicio;

20 a.8 Secado por centrifugación para eliminación de impurezas residuales y secado inicial;

a.9 Aglutinación para secado final del material y aumento de densidad aparente; y

a.10 Almacenamiento y transporte.

28. Proceso, de acuerdo con la reivindicación 26 ó 27, **caracterizado** porque la
etapa (a) también permite recibir el material plástico contenido en diferentes tipos de residuos
25 y tratarlos mecánica y químicamente mediante un proceso que implica una secuencia específica de tamizado, trituración, succión, molienda, lavado, centrifugación y aglutinación, en el que los residuos tratados cumplen con las siguientes especificaciones:

- Contenido máximo de humedad 5%;

- Densidad aparente entre 200 kg/m³ y 450 kg/m³;

- Tamaño máximo de partícula 25 mm;
- Máximo 300 ppm-m de cloruros totales;
- Máximo 1100 ppb-m de oxigenados totales;
- Máximo 300 ppb-m de nitrogenados;
- 5 - Máximo 500 ppb-m de azufre total;
- Máximo 15 ppm-m de arsénico;
- Máximo 50 ppm-m de cobre;
- Máximo 5 ppm-m de mercurio;
- Máximo 5000 ppm-m de sodio;
- 10 - Máximo 150 ppm-m de plomo; y
- Máximo 1100 ppm-m de silicio.

29. Proceso, de acuerdo con la reivindicación 26, **caracterizado** porque en el paso (b) la alimentación al reactor de pirólisis se inicia cuando el silo de almacenamiento (2) está lleno, en el que al salir del silo la materia prima pasa por una rosca alimentadora y dosificadora (3), consiguiendo uniforme el flujo y mediante control que combina la lectura en el medidor de flujo de sólidos (33) con la dosificación realizada por el dosificador de catalizador (36) permite agregar el catalizador con precisión al ingresar al compactador (4) a una velocidad entre 0,1% y 10% en masa dependiendo del aporte de materia prima.

30. Proceso, de acuerdo con la reivindicación 26, **caracterizado** porque el compactador (4) alimenta una rosca de fusión (5), fundiendo el material y elevando su temperatura entre 200 °C y 350 °C, en el que después de salir de la rosca de fusión (5), el material entra a un intercambiador de calor (6), que, recibiendo calor del gas quemado en el horno (18), calienta el material entre 350 °C y 450 °C y lo alimenta al reactor principal (7).

31. Proceso, de acuerdo con la reivindicación 26, **caracterizado** porque en la etapa (c), la reacción de pirólisis ocurre en el reactor principal (7) en el rango de temperatura entre 420 °C y 460 °C y con una presión manométrica de -20,0 a +50,0 KPa (-0,2 hasta + 0,5 Bar), para un tiempo de residencia de entre 10 minutos y 4 horas, preferentemente de 2 a 3 horas.

32. Proceso, de acuerdo con la reivindicación 26, **caracterizado** porque en el paso (d) los hidrocarburos producidos se condensan en tres puntos, el primero en el sistema de

condensación (10), el segundo en los intercambiadores de calor (11a y 11b) y el tercero en el intercambiador de calor recuperativo (14).

33. Proceso, de acuerdo con la reivindicación 32, **caracterizado** porque en el sistema de condensación (10) el gas se condensa a temperaturas entre 240 °C y 310 °C.

5 34. Proceso, de acuerdo con la reivindicación 32, **caracterizado** porque en los intercambiadores de calor (11a y 11b), el fluido se condensa a una temperatura de hasta 110 °C y en un segundo punto hasta 10 °C.

10 35. Proceso, de acuerdo con la reivindicación 32, **caracterizado** porque en el intercambiador de calor recuperativo (14), la presión de trabajo varía de 1,5 bar a 5 bar, utilizando una temperatura de condensación de 30 °C a 70 °C.

36. Proceso, de acuerdo con la reivindicación 26, **caracterizado** debido al hecho de que en la etapa (e), el r-gas residual se almacena en los reservorios de r-gas residual (16) a una presión de 4 a 12 bar.

15 37. Proceso, de acuerdo con la reivindicación 36, **caracterizado** porque el gas almacenado en los reservorios de gases residuales (16) se utiliza para alimentar los quemadores que proporcionan energía térmica a los hornos (18 y 20), los cuales trabajan a temperaturas entre 750 °C y 1.200 °C.

20 38. Proceso, de acuerdo con la reivindicación 26, **caracterizado** porque en el paso (g) la recirculación de aire caliente en el quemador y horno (18) se realiza en un circuito cerrado entre el horno (18), la camisa del reactor principal (7), el intercambiador de calor (26) y la torre de post reflujó (8), y un intercambiador de calor (6) para fundir plásticos, en el que el gas que regresa al horno (18) tiene una temperatura entre 400 °C y 550 °C.

25 39. Proceso, de acuerdo con la reivindicación 26, **caracterizado** porque en el paso (h), después de secarse en el reactor de tostación (15), las cenizas de carbono son conducidas a través de una rosca de retiro (27) desde el reactor de tostación hasta el reservorio de enfriamiento (28), en el que permanecerá de 5 a 15 horas hasta que se enfríe.

40. Proceso, de acuerdo con la reivindicación 39, **caracterizado** porque la ceniza de carbón se utiliza en la rosca de sellado (29) del sistema de remoción de material del reactor principal (7) o se envía al silo de existencia final y empaque para su uso.

41. Proceso, de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 26 a 40, **caracterizado** porque se realiza de manera continua o en un lote extendido, en el cual la forma continua se da con la válvula de descarga (35) teniendo su apertura controlada, la rosca de sellado (29) insertando material y el eje del reactor principal (7) girando entre 20 y 30 rpm en la dirección de descarga, y en el lote extendido, la válvula de descarga (35) opera cerrada y se abre sólo cuando el material contenido en el reactor principal (7) está completamente descargado.

42. Hidrocarburos producidos según el proceso definido en cualquiera de las reivindicaciones 26 a 41, **caracterizados** porque son líquidos, pastosos, sólidos y gaseosos, provenientes de fuentes recicladas, constituidos por gas de síntesis, hidrocarburos ligeros, r-nafta, r-diesel, parafina y negro de humo o carbón activado.

43. Hidrocarburos, de acuerdo con la reivindicación 42, **caracterizados** porque el gas de síntesis tiene un punto de ebullición final de 30 °C y se selecciona del grupo formado principalmente por propano, butano, metano, etano, propileno y isopropileno.

44. Hidrocarburos, de acuerdo con la reivindicación 42, **caracterizados** porque la r-nafta tiene un punto de ebullición inicial de 30 °C y un punto de ebullición final de 240 °C, y se selecciona del grupo formado principalmente por alcanos, parafinas, isoparafinas y olefinas.

45. Hidrocarburos, de acuerdo con la reivindicación 42, **caracterizados** porque el r-diesel tiene un punto de ebullición inicial de 240 °C y un punto de ebullición final de 310 °C, y se selecciona del grupo formado principalmente por alcanos, parafinas, isoparafinas y olefinas.

46. Hidrocarburos, de acuerdo con la reivindicación 42, **caracterizados** porque la parafina tiene un punto de ebullición inicial de 310 °C y un punto de ebullición final superior a 330 °C, en la cual es preferentemente sólida a temperatura ambiente, líquida entre 35 °C y 55 °C, y se selecciona del grupo formado principalmente por parafinas de cadena lineal de baja densidad.

47. Hidrocarburos, de acuerdo con la reivindicación 42, **caracterizados** porque el negro de humo tiene un tamaño de partícula entre 10 y 320 nm y una densidad aparente (dbp)

entre 50 y 120, y el carbón activado tiene una humedad de hasta el 5%, densidad entre 400 y 600 kg/m³, superficie mínima de 300 m²/g y tamaño de partícula (<100 µm) mínimo del 80%.

48. Uso de los hidrocarburos tal como se definen en cualquiera de las reivindicaciones 42 a 47, **caracterizado** porque es como:

- 5 - Gas reciclado envasado para sustituir el gas fósil en aplicaciones de calefacción (gas residual r);
- Fuente de generación de energía renovable a partir de gas reciclado (r-gas residual);
- Nafta reciclada en cracker petroquímico para producir plásticos vírgenes (nafta);
- 10 - Aditivo reciclado para gasóleo fósil (diesel);
- Materias primas recicladas para la industria química en sustitución de hidrocarburos fósiles (nafta/ligera/diesel);
- Insumos químicos reciclados que reemplazan los insumos fósiles (ligeros/diésel);
- Quema de aceites sostenibles para sustituir los aceites fósiles (/ligeros/diésel);
- 15 - Parafinas recicladas para aplicaciones industriales y no industriales que sustituyen a las parafinas fósiles (parafinas);
- Negro de humo reciclado que sustituye al negro de humo fósil (negro de humo) y carbón activado reciclado que sustituye al material fósil;

49. Uso de hidrocarburos, de acuerdo con la reivindicación 48, **caracterizado** porque también es para:

- Valorización de plásticos de bajo valor añadido, plásticos multicapa y plásticos multicomponentes que podrían acabar en vertederos;
- Producción de nafta petroquímica a partir de fuentes recicladas (r-nafta) para sustituir la nafta fósil;
- 25 - Producción de diésel a partir de fuentes recicladas (r-Diesel) y sustitución del diésel fósil;
- Producción de otros hidrocarburos (r-hidro) con aplicación en la industria química;
- Producción de parafinas ligeras (r-parafinas ligeras);
- Producción de parafinas pesadas (r-parafinas pesadas);

- Producción de negro de humo (r-negro de humo) y carbón activado (r-carbón activado);
- Producción de gas de síntesis (r-gas residual); y
- Producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables.

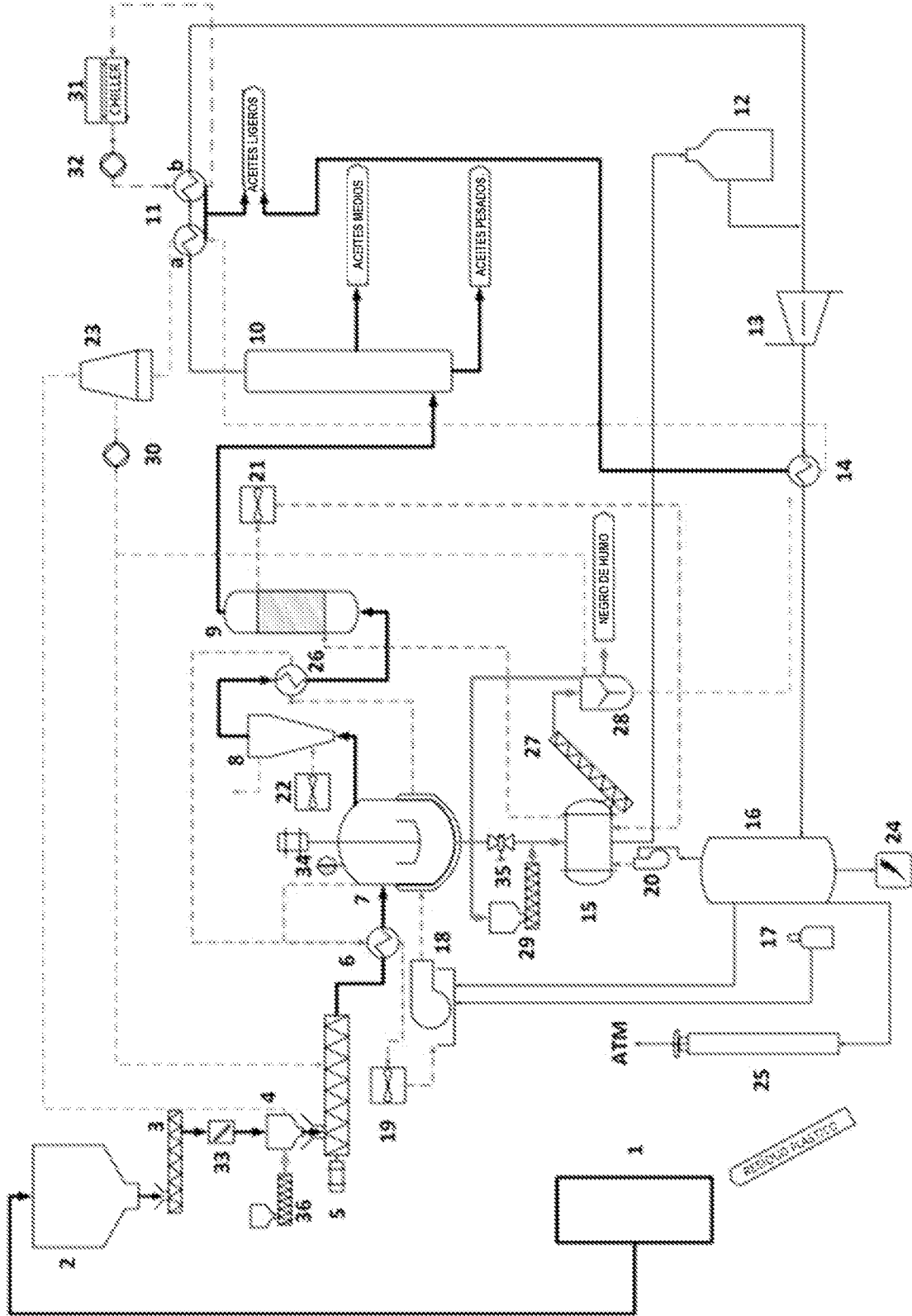


FIGURA 1

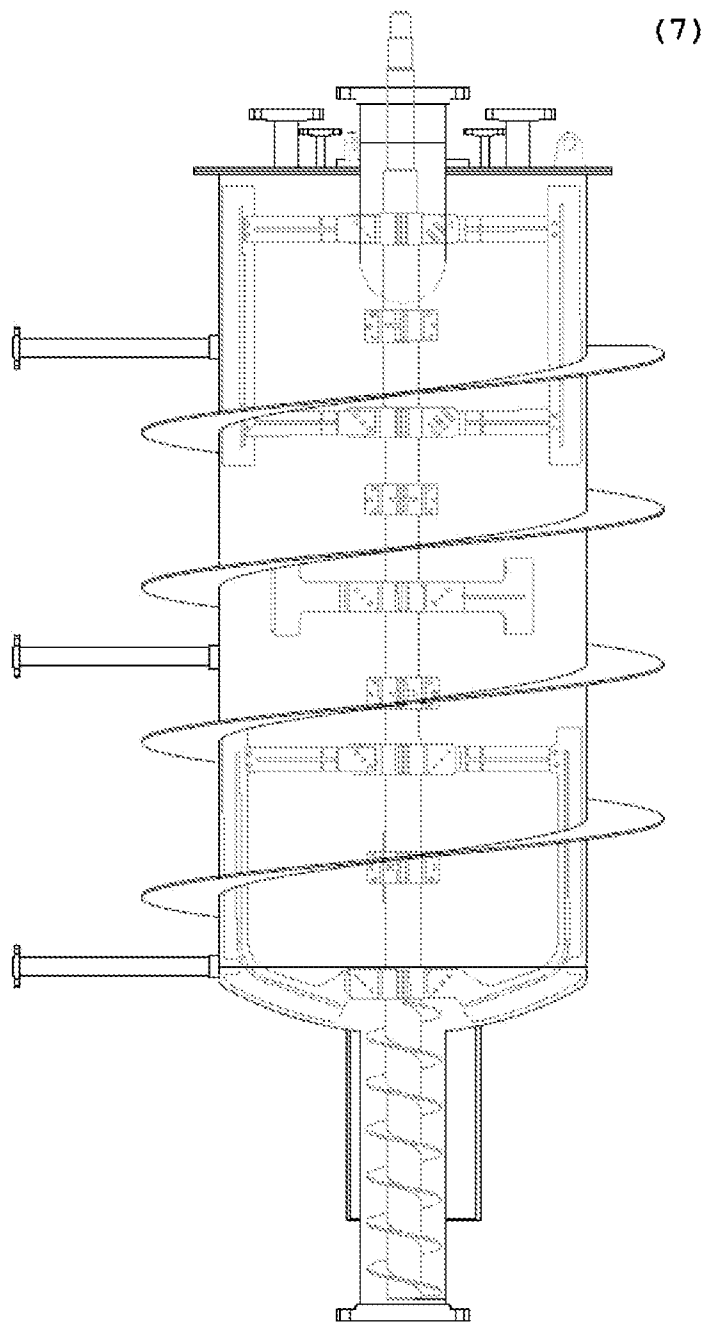


FIGURA 2

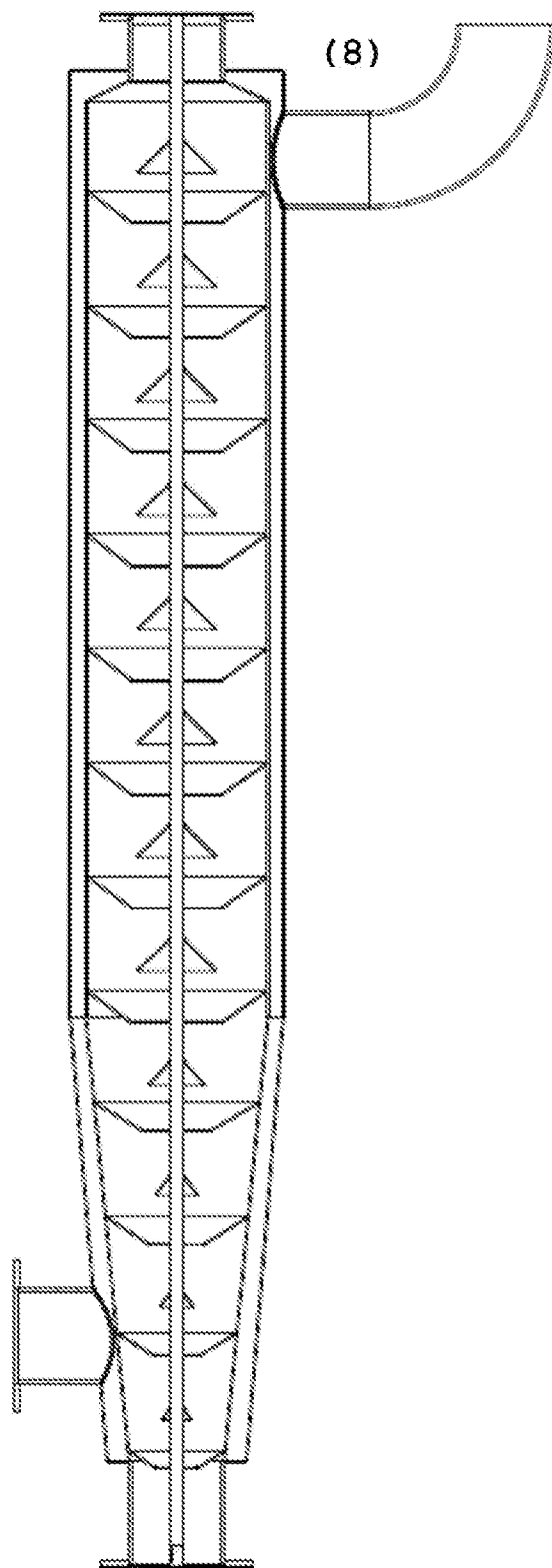


FIGURA 3

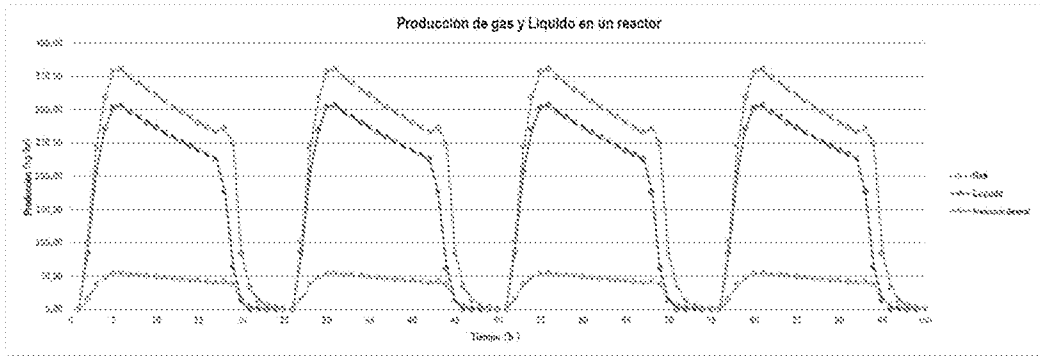


FIGURA 4

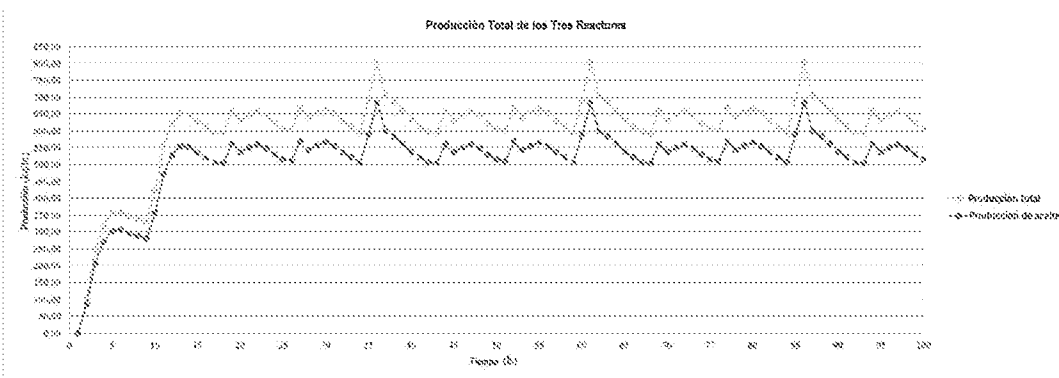


FIGURA 5

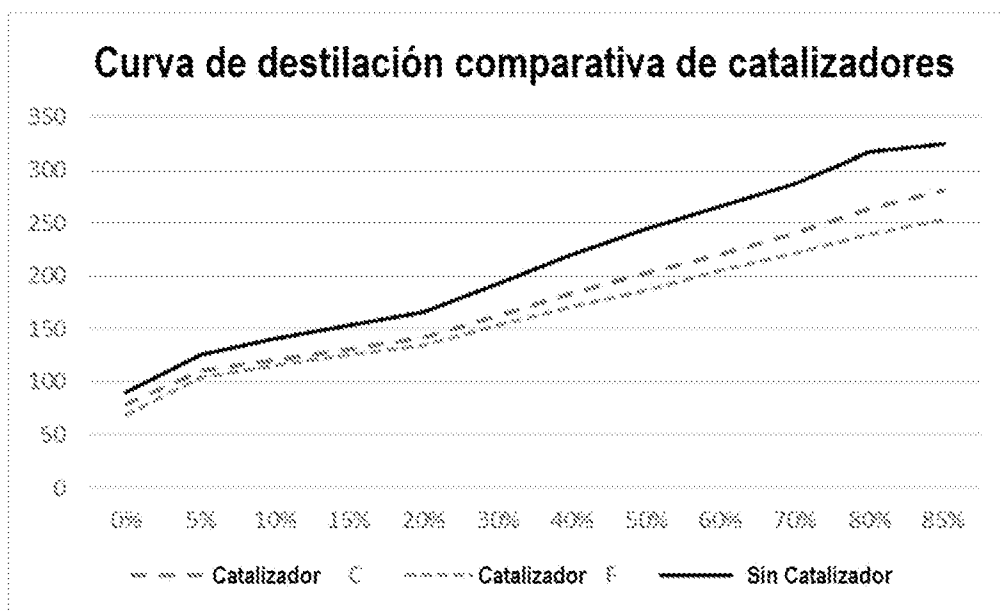


FIGURA 7