

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 909 894**

51 Int. Cl.:

C10G 1/10 (2006.01)

B03B 9/06 (2006.01)

C08F 8/50 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.06.2017** **PCT/IT2017/000135**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.01.2019** **WO19003253**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.06.2017** **E 17778364 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.12.2021** **EP 3645664**

54 Título: **Procedimiento y aparato para la conversión termocatalítica de materiales poliméricos**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
10.05.2022

73 Titular/es:

BIORENOVA SOCIETA' PER AZIONI (100.0%)
Zona Industriale Trinita', SNC
64046 Montorio Al Vomano, IT

72 Inventor/es:

REVERSO, RICCARDO y
D'ABBONDANZA, EMANUELE

74 Agente/Representante:

CURELL SUÑOL, S.L.P.

Observaciones:

**Véase nota informativa (Remarks, Remarques o
Bemerkungen) en el folleto original publicado por
la Oficina Europea de Patentes**

ES 2 909 894 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y aparato para la conversión termocatalítica de materiales poliméricos

5 La presente invención se refiere a un procedimiento y a una planta para la conversión termocatalítica de materiales poliméricos, en particular de residuos de plástico, en hidrocarburos líquidos adecuados para su utilización en el sector energético y en el sector del transporte, o en productos químicos que pueden utilizarse en la industria.

10 La correcta gestión de los residuos es uno de los retos medioambientales mundiales más importantes. El continuo aumento de la población mundial, junto con el crecimiento económico y la mejora relacionada en las condiciones de vida experimentada por millones de personas, principalmente en países en vías desarrollo, está conduciendo a nivel mundial a un aumento excepcional de la producción de residuos.

15 Basándose en evaluaciones realizadas por el Banco Mundial, se estima que aproximadamente el 10% de la producción anual sólo de residuos sólidos municipales se compone de residuos de plástico. Estudios adicionales realizados por la Fundación Ellen MacArthur junto con McKinsey & Company, han demostrado además que en los últimos 50 años la producción de residuos de plástico ha aumentado considerablemente y que la incorrecta gestión de este tipo de residuos provoca un gran daño medioambiental, también al ecosistema marino.

20 Se conoce el reciclaje, la conversión de residuos en energía y el vertido en vertederos entre las prácticas y tecnologías utilizadas actualmente para la gestión de residuos de plástico.

25 El reciclaje de materiales poliméricos de plástico es un sector específico del reciclaje de residuos y consiste en un conjunto de operaciones realizadas sobre residuos compuestos por materiales de plástico con el fin de obtener nuevos materiales para reintroducirse en procedimientos de producción. Después de la etapa de recogida de residuos clasificados, el plástico se lleva a plantas de primera selección y tratamiento; luego se separa de otras fracciones e impurezas y luego se divide por tipo de polímero. En particular, se seleccionan PET y PE de baja y alta densidad. Se conocen diversos métodos de reciclaje mecánico que se adaptan para obtener escamas o gránulos que luego se utilizan para producir nuevos objetos.

30 Sin embargo, se estima que a diferencia de otros tipos de residuos, tales como vidrio o metales, los residuos de plástico no pueden reciclarse indefinidamente y que sólo el 50% del total de residuos de plástico puede reutilizarse de manera válida en un procedimiento de producción, mientras que el 50% restante no es adecuado por diversas razones tales como, a modo de ejemplo no limitativo, el excesivo grado de contaminación de los plásticos, la pérdida de propiedades técnicas debido a ciclos pasados de reciclaje/reutilización, la imposibilidad de realizar una selección de los diversos tipos de plástico para fracciones más finas. Este 50% restante de los residuos de plástico se desecha actualmente mediante la conversión de residuos en energía o mediante el vertido en vertederos.

35 La conversión de residuos en energía utiliza plantas de tratamiento de residuos (plantas de conversión de residuos en energía) que permiten recuperar el calor generado durante la combustión de dichos residuos y utilizarlo para generar vapor, que luego se utiliza para generar energía eléctrica o como medio de transferencia de calor, por ejemplo, para calentamiento remoto. Aunque las plantas actuales de conversión de residuos en energía presentan muchas ventajas con respecto a los incineradores simples, los procedimientos de conversión de residuos en energía siguen caracterizándose por impactos económicos y medioambientales negativos; en general, no logran alcanzar un equilibrio económico únicamente a través de la generación y venta de energía térmica y/o eléctrica. Desde el punto de vista medioambiental, los procedimientos de conversión de residuos en energía se caracterizan por todos los impactos negativos asociados a procedimientos de combustión de residuos, tales como, a modo de ejemplo no limitativo, emisiones a la atmósfera, producción de residuos peligrosos y no peligrosos, producción de aguas residuales.

40 Actualmente, los materiales poliméricos de plástico que no se reciclan y no se envían a la recuperación de energía mediante la conversión de residuos en energía se desechan normalmente en un vertedero. Al igual que la práctica de la conversión de residuos en energía, la transferencia a un vertedero se caracteriza por impactos económicos y medioambientales negativos; de hecho, los vertederos generalmente no presentan otra fuente de ingresos excepto las tasas de vertido y, por tanto, su sostenibilidad económica/financiera se basa completamente en estas tasas. Desde el punto de vista medioambiental, su construcción y gestión genera varios impactos negativos, tales como, a modo de ejemplo no limitativo, la utilización y contaminación del suelo y la contaminación de las capas freáticas circundantes.

45 La conversión de residuos en energía y el vertido en vertederos, a pesar de constituir métodos de gestión escasamente eficientes, con altos impactos negativos tanto desde el punto de vista económico como desde el punto de vista medioambiental, son actualmente las dos prácticas más extendidas a nivel mundial para la gestión de residuos de plástico.

50 El vertido en vertederos es sin duda el peor modo de gestión, ya que a cambio de ningún beneficio tangible genera tanto altos costes económicos relacionados con su disposición y gestión, como considerables impactos

medioambientales negativos, que están relacionados principalmente con la utilización del suelo y la contaminación del mismo. La conversión de residuos en energía, aunque es preferible al vertido en vertederos, implica, a cambio de la generación de energía eléctrica y/o térmica, a menudo con eficiencias de conversión menos que óptimas, tanto costes considerables como impactos medioambientales negativos significativos, principalmente en lo que se refiere a la contaminación atmosférica. Ambas prácticas se encuentran en los niveles más bajos de la jerarquía de tratamiento de residuos proporcionada por las normas de la Unión Europea destinadas a desarrollar una economía circular, en la que se favorecen las prácticas y aplicaciones destinadas a la reutilización de materiales/residuos y su reciclaje para generar productos/materias primas adicionales.

Se conocen las denominadas tecnologías "de plástico a combustible" ("*Plastic-To-Fuel*" (PTF)) que consisten en procedimientos destinados a convertir residuos y materiales de plástico en combustibles líquidos o aceites sintéticos, basados principalmente en los dos procedimientos de pirólisis simple y pirólisis catalítica.

Las tecnologías basadas en la pirólisis simple utilizan únicamente energía térmica para facilitar la ruptura de los enlaces moleculares de los polímeros y, por consiguiente, producir moléculas de hidrocarburo que, tras un procedimiento de condensación o destilación, se convierten en hidrocarburos líquidos con rendimientos de conversión que varían generalmente entre el 50% y el 70%. Los productos generados mediante las tecnologías de PTF basadas en pirólisis simple son aceites combustibles pesados, que no presentan una calidad suficiente para utilizarse directamente como combustibles en el sector energético y en el sector del transporte o como materias primas en el sector industrial.

Se conocen tecnologías de PTF basadas en pirólisis catalítica. Estas tecnologías utilizan la acción combinada de la energía térmica y de un catalizador para romper los enlaces moleculares de los polímeros y, por tanto, producir moléculas de hidrocarburo que, tras un procedimiento de condensación o destilación, se convierten en hidrocarburos líquidos. Existen diferentes variaciones de procedimientos dentro de esta categoría de tecnologías de PTF; en general, se basan principalmente en una primera etapa en la que, por medio de energía térmica, los residuos/materiales de plástico se convierten del estado sólido al estado líquido, en una segunda etapa de pirólisis en la que, nuevamente por medio de energía térmica, en un entorno libre de oxígeno, se realiza la primera ruptura de los enlaces moleculares de los plásticos junto con su conversión del estado líquido al estado gaseoso, y en una tercera etapa de catálisis, en la que los gases producidos por pirólisis se colocan en contacto con un catalizador, normalmente en estado sólido, para facilitar una ruptura molecular más profunda y más difusa. En algunas tecnologías, esta distinción entre pirólisis y etapa catalítica es más sustancial, proporcionando secciones de planta específicas dedicadas a las etapas primera, segunda y tercera del procedimiento (a modo de ejemplo no limitativo, se hace referencia a las tecnologías desarrolladas por las empresas Cynar Plc y Agylix Inc.), mientras que en otras aplicaciones, el catalizador se inyecta de manera continua directamente al interior del reactor de pirólisis o forma parte de las paredes del propio reactor (a modo de ejemplo no limitativo, se hace referencia a las tecnologías desarrolladas por la empresa Demont Spa y a la solicitud de patente WO2010070689). Las tecnologías de PTF mencionadas anteriormente utilizan principalmente catalizadores en estado sólido. Estas tecnologías presentan algunos inconvenientes. En primer lugar, utilizan principalmente catalizadores desechables, que deben introducirse constantemente en el procedimiento como verdaderas materias primas consumibles, es decir, deben reemplazarse periódicamente. Otro inconveniente de la mayoría de las tecnologías de PTF basadas en pirólisis catalítica es que requieren un pretratamiento de los residuos de plástico por medio de extrusoras u otros aparatos similares. Los documentos US 2001/056214 A1, US 3 974 206 A y US 2011/171114 A1 describen todos ellos procedimientos y plantas para el craqueo de material polimérico.

Por tanto, existe la necesidad de superar las limitaciones de las prácticas y tecnologías utilizadas actualmente para la gestión de residuos de plástico por medio de procedimientos con mayor sostenibilidad económica y medioambiental.

La finalidad de la presente invención es proporcionar un procedimiento que pueda realizar una gestión de residuos de plástico que sea económicamente ventajosa, con un menor impacto medioambiental que los procedimientos de conversión de residuos en energía o vertido en vertederos.

Dentro de esta finalidad, un objetivo de la invención es proporcionar un procedimiento para el tratamiento de residuos de plástico que tiene como finalidad reciclar todos los tipos principales de residuos de plástico convirtiéndolos, basándose en el tipo de residuos procesados, en productos energéticos de alto valor añadido, que pueden utilizarse en el sector energético y en el sector del transporte, o en productos químicos que pueden utilizarse en la industria, generando además importantes ventajas económicas, con impactos medioambientales negativos insignificantes.

Un objetivo adicional de la presente invención es maximizar el nivel de reciclaje de los residuos de plástico, reduciendo los costes asociados a la gestión de la fracción de residuos de plástico que no es adecuada para el reciclaje y eliminando los impactos medioambientales generados por las prácticas de conversión de residuos en energía o vertido en vertederos.

Otro objetivo de la invención es proporcionar una planta que sea altamente fiable, relativamente sencilla de

proporcionar y con costes competitivos.

Esta finalidad, así como estos y otros objetivos que se pondrán de manifiesto a continuación en la presente memoria, se logran mediante un procedimiento continuo para craqueo de un material polimérico, que comprende la introducción continua de dicho material polimérico en una corriente o baño de catalizador fundido.

La finalidad y los objetivos de la invención también se logran mediante una planta para craqueo de un material polimérico, que comprende un circuito cerrado o entorno que contiene un catalizador fundido, y medios adaptados para mantener dicho catalizador fundido en movimiento continuo.

Características y ventajas adicionales de la invención resultarán más evidentes a partir de la descripción detallada que sigue.

Descripción de las formas de realización preferidas

El procedimiento y la planta de la invención se definen en las reivindicaciones adjuntas.

La presente invención se refiere al reciclaje de materiales poliméricos, en particular residuos de plástico, por medio de su conversión en hidrocarburos líquidos, que pueden utilizarse en el sector energético para generar energía eléctrica y energía térmica y en el sector del transporte como combustibles, o en productos químicos, que pueden utilizarse en la producción de polímeros y en otras aplicaciones en el sector químico.

Tal como se ha mencionado, el principal objetivo de esta tecnología es ofrecer una solución válida al creciente problema mundial de la contaminación provocada por residuos de plástico, que pueda eliminar todos los impactos medioambientales y económicos negativos generados por las prácticas utilizadas actualmente para la gestión de este tipo de residuos. Asimismo, la presente tecnología pretende proporcionar una nueva fuente de productos energéticos, o de materias primas básicas, caracterizada por un impacto medioambiental y una huella de carbono extremadamente bajos.

I. Procedimiento de craqueo catalítico continuo

El procedimiento de craqueo catalítico según la invención se caracteriza por que comprende una etapa que consiste en introducir uno o más materiales poliméricos de manera continua en una corriente o baño de catalizador fundido.

Los materiales poliméricos se introducen por tanto en una corriente o baño dentro del cual fluye de manera continua el catalizador fundido (líquido). Esto permite una mejor mezcla de los materiales poliméricos con el catalizador y, por tanto, una mejora de la calidad de las reacciones para la ruptura de los enlaces moleculares de los plásticos y la recombinación de las moléculas de hidrocarburo.

El flujo continuo del catalizador fundido permite además simplificar considerablemente las actividades de limpieza del catalizador, eliminando los tiempos de inactividad provocados por esta actividad, y mantener el catalizador implicado en las reacciones de despolimerización siempre en estado puro, aumentando por tanto la capacidad de tratamiento y mejorando la calidad de las reacciones.

En una forma de realización, el procedimiento según la presente invención comprende por tanto una etapa de limpieza continua del catalizador fundido, eliminando del catalizador fundido productos sólidos que son el resultado del craqueo de dicho uno o más materiales poliméricos y cualquier contaminante no polimérico que esté presente junto con dicho material polimérico.

El procedimiento según la invención puede utilizarse para el tratamiento de los principales tipos de materiales poliméricos, en particular residuos de plástico, tales como plásticos lineales, entre los que se mencionan, a modo de ejemplo no limitativo, de polipropileno (PP), polietileno (PE) y poliestireno (PS), plásticos ramificados, entre los que se mencionan, a modo de ejemplo no limitativo, de poli(metacrilato de metilo) (PMMA) y poliuretanos (PUR), y plásticos halogenados, entre los que se mencionan, a modo de ejemplo no limitativo, de poli(cloruro de vinilo) (PVC). Además, la presente invención puede procesar tanto plásticos puros, es decir, que pertenecen a un solo tipo, como mezclas de plásticos de diferentes tipos.

En una forma de realización, el procedimiento de la presente invención se caracteriza por tanto por que el material polimérico se selecciona de entre el grupo que consiste en:

- un plástico de cadena lineal o una mezcla de plásticos de cadena lineal;
- un plástico halogenado, por ejemplo, PVC, o una mezcla de plásticos halogenados;
- un plástico de cadena ramificada o una mezcla de plásticos de cadena ramificada;

- una mezcla de plásticos de cadena lineal y plásticos de cadena ramificada;

- una mezcla de plásticos de cadena lineal y plásticos halogenados;

- una mezcla de plásticos halogenados y plásticos de cadena ramificada;

- una mezcla de plásticos halogenados, plásticos de cadena ramificada y plásticos de cadena lineal.

En una forma de realización del procedimiento según la presente invención, el material polimérico está contaminado por otros materiales no poliméricos.

En una forma de realización del procedimiento según la presente invención, el material polimérico es una mezcla de materiales poliméricos que se originan a partir de la gestión de residuos seleccionados de entre el grupo que consiste en residuos sólidos municipales y residuos especiales.

Las pruebas realizadas hasta el momento han demostrado que el tratamiento de residuos de plástico que pertenecen a un solo tipo da lugar predominantemente a la producción de productos químicos que pueden reutilizarse en la industria de polímeros, así como en otras aplicaciones industriales, mientras que el tratamiento de mezclas de diferentes tipos de plástico provoca la producción de mezclas de hidrocarburos que pueden utilizarse en el sector energético y en el sector del transporte; a modo de ejemplo, las pruebas realizadas han demostrado que mediante el procesamiento de una mezcla de plásticos heterogéneos destinados a recrear la composición de Plasmix Corepla, es decir, los residuos que se derivan de las actividades de selección y reciclaje de residuos de plástico que tienen su origen en la recogida de residuos clasificados realizada por las plataformas Corepla y formados predominantemente por polipropileno (PP), polietileno (PE), poliestireno (PS) y poli(tereftalato de etileno) (PET), la presente invención puede producir una mezcla de hidrocarburos líquidos que presentan características totalmente similares al queroseno.

La razón de conversión en peso entre los plásticos tratados y los hidrocarburos líquidos, o los demás productos químicos, está comprendida entre el 85% y el 90%; es decir, entre el 85% y el 90% del peso de los plásticos tratados se convierte en hidrocarburos líquidos, o en otros productos químicos. La calidad de estos productos es tal que pueden introducirse libremente en el mercado de productos energéticos o en el mercado de productos químicos.

Con mayor detalle, según pruebas realizadas sobre plásticos lineales (PP, PE, PS, PET), los hidrocarburos líquidos producidos mediante la presente invención se caracterizan, entre otras cosas, por una densidad comprendida entre 750 y 800 kg/m³, por un poder calorífico inferior comprendido entre 42.000 y 44.000 kJ/kg y por un contenido en azufre muy bajo; de nuevo según las pruebas realizadas en plásticos ramificados y en particular en poli(metacrilato de metilo) (PMMA), el producto químico generado presenta características técnicas que son totalmente similares a las del metacrilato, es decir, el monómero de poli(metacrilato de metilo).

El 10-15% restante del peso de los plásticos tratados se convierte en gases no condensables, que presentan un alto poder calorífico y compuestos, entre otros, por metano (CH₄), monóxido de carbono (CO), trazas de hidrógeno (H₂) y alcoholes, y un subproducto sólido, compuesto esencialmente por carbono. Mientras que los gases no condensables se utilizan predominantemente para satisfacer la demanda de energía del procedimiento de craqueo catalítico de los materiales poliméricos de la presente invención, el subproducto sólido también se comercializa.

Basándose en la presente invención, la producción de los hidrocarburos mencionados anteriormente o de los otros productos químicos a partir de materiales poliméricos se realiza mediante un procedimiento termocatalítico, mediante el cual se produce la ruptura macromolecular de los enlaces poliméricos y, por tanto, se proporciona la formación de moléculas de hidrocarburos o de otros compuestos químicos.

En este sentido, la presente invención presenta algunas similitudes con el procedimiento de craqueo catalítico en lecho fluido utilizado en refinerías petroquímicas, donde los hidrocarburos pesados que llegan procedentes de otras etapas de la refinación se convierten en hidrocarburos ligeros que presentan mayor valor añadido, tal como el combustible diésel y la gasolina. Sin embargo, existen muchas diferencias que caracterizan el procedimiento de craqueo catalítico de los materiales de plástico de la presente invención.

En primer lugar, los dos procedimientos utilizan materias primas completamente diferentes y esto, además, implica que se realizan reacciones químicas sustancialmente diferentes dentro de ellos. Además, el craqueo catalítico en lecho fluido utilizado en refinerías petroquímicas utiliza tipos de catalizadores que son completamente diferentes de los proporcionados por el procedimiento según la presente invención. De hecho, mientras que el procedimiento utilizado en una refinería utiliza predominantemente alúmina en polvo o catalizadores basados en zeolitas, la presente invención utiliza predominantemente catalizadores basados en metales.

Además, los catalizadores utilizados en el craqueo catalítico en lecho fluido están en estado sólido en forma de

polvos, mientras que los utilizados en el procedimiento de la presente invención están en estado líquido. Finalmente, el craqueo catalítico en lecho fluido se realiza a temperaturas que pueden variar entre aproximadamente 650°C y 750°C, mientras que el procedimiento de la presente invención puede funcionar a temperaturas significativamente menores. En particular, en una de sus realizaciones, el procedimiento según la invención se caracteriza por que el catalizador se mantiene a una temperatura de 300-550°C, preferiblemente de 350-500°C. La definición de la temperatura de funcionamiento del procedimiento se determina principalmente por el tipo de residuos de plástico que van a tratarse y por la composición del catalizador.

En una forma de realización, el catalizador se funde a una temperatura de 330°C o menos.

En una realización del procedimiento según la invención, el catalizador es un metal o una mezcla de metales, mezclados opcionalmente con un componente ácido.

En una forma de realización, el catalizador se selecciona del grupo que consiste en plomo, estaño, cinc, antimonio, cadmio y magnesio y mezclas de los mismos, mezclados opcionalmente con otros metales y/o un componente ácido.

En una forma de realización, el catalizador es plomo, una mezcla de plomo-cinc, una mezcla de plomo-estaño, una mezcla de plomo-cinc-estaño, una mezcla de cinc-antimonio, una mezcla de plomo-cobre, una mezcla de plomo-antimonio, una mezcla de plomo-cadmio o una mezcla de plomo-magnesio, mezclados opcionalmente con un componente ácido.

En una forma de realización del procedimiento según la invención el catalizador es plomo.

En otra forma de realización, el catalizador es una mezcla de metales elegidos del grupo seleccionado de:

- una mezcla de estaño-plomo en la que el estaño está presente en una cantidad comprendida entre el 5% y el 35% en peso del peso total de la mezcla;
- una mezcla de plomo-antimonio, en la que el antimonio está presente en una cantidad comprendida entre el 2% y el 20% en peso del peso total de la mezcla;
- una mezcla de estaño-plomo-cinc, en la que el estaño está presente en una cantidad comprendida entre el 25% y el 40% y el cinc está presente en una cantidad comprendida entre el 1% y el 5% en peso del peso total de la mezcla;
- una mezcla de plomo-cadmio, en la que el cadmio está presente en una cantidad comprendida entre el 10% y el 40% en peso del peso total de la mezcla; y
- una mezcla de plomo-magnesio, en la que el magnesio está presente en una cantidad comprendida entre el 1% y el 5% en peso del peso total de la mezcla.

En una forma de realización, el catalizador se mezcla con un componente ácido y dicho componente ácido se selecciona de entre silicatos metálicos, carbonatos metálicos, y mezclas de los mismos.

En una forma de realización, el catalizador se mezcla con un componente ácido que es un silicato de aluminio o un carbonato de plomo.

La corriente de catalizador fundido fluye de manera continua al interior de una tubería.

La corriente de catalizador fundido conduce el material polimérico a través de dicha tubería al interior de un reactor.

En el procedimiento según la invención, la reacción para romper los enlaces moleculares de los materiales poliméricos y la formación de las moléculas de hidrocarburo comienza cuando los materiales poliméricos que van a tratarse se sumergen dentro de la corriente continua de catalizador fundido (líquido).

La introducción de los materiales poliméricos dentro de la corriente de catalizador líquido provoca la creación de turbulencias dentro de la propia corriente, facilitando el contacto íntimo entre el catalizador y los materiales poliméricos. Estos materiales, junto con los productos de reacción que comienzan a formarse dentro de la corriente de catalizador, se conducen entonces por la corriente hacia un reactor de reacción, también conocido como reactor de craqueo, donde continúa la reacción para romper los enlaces moleculares de los polímeros y la formación de las moléculas de hidrocarburo. A modo de ejemplo no limitativo, a continuación en la presente memoria se facilita el detalle de las reacciones que puede suponerse que se producen durante el procedimiento para el craqueo catalítico de materiales poliméricos:

- i) cuando los polímeros se sumergen en el catalizador, los enlaces carbono-carbono que forman sus

moléculas se rompen y los radicales resultantes se fijan al catalizador; en esta etapa se libera una serie de electrones, con la consiguiente formación de compuestos alifáticos;

ii) el catalizador adopta características ácidas y los componentes alifáticos migran sobre su superficie, se protonan y, por tanto, se convierten en carbocationes;

iii) los carbocationes pueden experimentar diferentes tipos de reacciones tales como, a modo de ejemplo no limitativo, pueden romperse en dos fragmentos, isomerizarse o experimentar ciclaciones; al final de estas reacciones en cualquier caso pierden un protón, restableciendo la actividad del catalizador, y migran a la superficie en forma de gas.

Los productos generados por la reacción para el craqueo catalítico de materiales poliméricos, conocidos como gases de craqueo y en estado gaseoso, avanzan hacia la parte superior del reactor, emergen del catalizador y luego se conducen a una columna de condensación, u otro sistema de condensación, donde se convierten al estado líquido y luego se almacenan en un tanque adaptado. Los hidrocarburos líquidos, o los demás productos químicos así producidos, se destinan entonces a la venta como productos energéticos o combustibles, o como materias primas para la industria.

La fracción no condensable de los gases de craqueo, que se compone, entre otros, de metano (CH_4), monóxido de carbono (CO), trazas de hidrógeno (H_2) y trazas de alcoholes, se conduce a un sistema de lavado húmedo, u otro sistema de lavado que pueda purificar los gases de la presencia de cualquier compuesto ácido tal como, a modo de ejemplo no limitativo, ácido clorhídrico (HCl), ácido fluorhídrico (HF) y sulfuro de hidrógeno (H_2S). De hecho, estas sustancias no deseadas pueden estar presentes en los gases no condensables si los plásticos halogenados tales como, a modo de ejemplo no limitativo, el poli(cloruro de vinilo) (PVC), están presentes dentro de los residuos de plástico tratados.

Si se tiene la certeza de que la corriente de materiales poliméricos que entran en la planta está libre de plásticos halogenados, puede evitarse el lavado de los gases no condensables. Los gases no condensables purificados de los componentes no deseados se almacenan dentro de un depósito de gas, u otro sistema de almacenamiento para gases, y luego se utilizan para satisfacer la demanda de energía del procedimiento para el craqueo catalítico de residuos y materiales de plástico.

El subproducto de carbono generado durante la reacción de craqueo, debido a una diferencia en densidad, se deposita sobre la superficie del catalizador y se conduce a través de la corriente del circuito cerrado a un segundo reactor, que se conoce como reactor de limpieza. En el interior de este último, el subproducto de carbono, por medio de un sistema de recogida adaptado, se conduce a una cámara de recogida que está dispuesta fuera del reactor y desde allí se deposita por gravedad dentro de los denominados "sacos grandes" u otro sistema para la recogida de materiales sólidos en polvo.

Se especifica que todo el entorno del circuito cerrado del catalizador líquido, del sistema para introducir los materiales de plástico dentro de la corriente del catalizador, y de la cámara de recogida de residuos de carbono, se mantienen constantemente en un entorno libre de oxígeno, también mediante la introducción de gases inertes, preferiblemente nitrógeno.

II. Planta para craqueo de un material polimérico

En un segundo aspecto, la presente invención también se refiere a una planta para realizar el procedimiento para el craqueo catalítico de materiales poliméricos tal como se describió anteriormente. En particular, la planta para el craqueo de un material polimérico según la presente invención comprende un circuito cerrado o entorno que contiene un catalizador fundido y medios adaptados para mantener dicho catalizador fundido en movimiento continuo.

Por medio del movimiento continuo del catalizador fundido, se genera una corriente continua de catalizador fundido dentro del circuito cerrado/entorno. Tal como ya se ha mencionado, esta corriente continua permite mezclar mejor el material polimérico con el catalizador y simplifica adicionalmente las actividades para limpiar dicho catalizador.

En una realización de la planta según la invención, los medios adecuados para mantener el catalizador fundido en movimiento continuo comprenden una o más bombas.

La planta según la invención comprende además:

- uno o más reactores, de los cuales por lo menos un reactor de craqueo, apto para realizar la reacción, y por lo menos un reactor de limpieza, apto para limpiar el catalizador, o un reactor individual dividido en por lo menos dos secciones, de las cuales por lo menos una sección de craqueo, apta para realizar la reacción de craqueo, y por lo menos una sección de limpieza, apta para limpiar el catalizador;

- uno o más sistemas de carga adaptados para introducir dicho material polimérico en el circuito cerrado/entorno;
- uno o más sistemas para la conexión entre dichos reactores/secciones.

II. A. Reactores/secciones de craqueo y limpiezas

Los reactores son esencialmente tanques calentados y aislados térmicamente dentro de los cuales hay una cantidad constante de catalizador. Pueden presentar diferentes formas, aunque se prefiere la forma cilíndrica, y están contruidos con materiales que están adaptados para soportar altas temperaturas. Los reactores pueden calentarse con diversos métodos y preferiblemente recurriendo a quemadores de combustible duales de gas/líquido, o por medio de un sistema eléctrico, y presentando todos ellos en cualquier caso una potencia tal que se garantice alcanzar y mantener la temperatura de funcionamiento dentro del reactor, que dependiendo del tipo de catalizador utilizado puede variar entre 300°C y 550°C. El aislamiento térmico se proporciona según los métodos y materiales que conoce el experto en la materia y en cualquier caso de modo que se contengan las pérdidas de calor hacia el exterior y que se garantice la estabilidad de la temperatura dentro del reactor, de manera eficiente y eficaz. Además, cada reactor está provisto de dos o más bridas para la conexión de las tuberías en las que se canaliza la corriente de catalizador fundido, de las cuales por lo menos una está dispuesta cerca del fondo del reactor, uno o más sensores para controlar la temperatura interna, uno o más sensores para monitorizar el nivel del catalizador fundido. Dentro de los reactores se mantiene una atmósfera inerte, sin oxígeno, y se garantiza también por medio de la introducción continua de gases inertes, preferiblemente nitrógeno.

Las especificaciones mencionadas anteriormente son comunes a todos los tipos de reactor, es decir, al reactor de craqueo, al reactor de limpieza y al reactor individual, si la planta proporciona un reactor individual dividido en múltiples secciones. Cada tipo particular de reactor presenta además las siguientes características principales específicas:

- **Reactor de craqueo:** su capacidad varía dependiendo de la capacidad de tratamiento de toda la planta y se calcula siguiendo una razón entre kg/h de residuo/material de plástico tratado y litros de catalizador igual a 0.5:1 o superior. La razón entre el volumen ocupado por el catalizador y el volumen útil total del reactor es variable, pero preferiblemente se encuentra entre 2:3 y 3:4. El reactor de craqueo está dotado de por lo menos una sección, preferiblemente una sección, que puede estar dotada de un laberinto interno para maximizar el tiempo de contacto entre los residuos/material de plástico y el catalizador. Además, el reactor de craqueo está dotado de por lo menos una abertura en la parte superior, preferiblemente una abertura a través de la cual se conducen los gases de craqueo hacia el condensador.
- **Reactor de limpieza:** su capacidad varía dependiendo de la capacidad de tratamiento de toda la planta y se calcula siguiendo una razón entre kg/h de materiales poliméricos tratados y litros de catalizador igual a 0.5:1 o superior. La razón entre el volumen ocupado por el catalizador y el total del volumen útil del reactor es variable, pero preferiblemente es de entre 1:2 y 2:3. El reactor de limpieza está dotado de dos o más secciones, preferiblemente dos o tres secciones, estando la última de las cuales siempre destinada a la recogida y expulsión de la planta del residuo de carbono y de cualquier otra impureza. En el caso de un reactor de limpieza con tres secciones, el catalizador que llega desde el reactor de craqueo, contaminado por el residuo de carbono o por otras impurezas, se introduce en la primera sección, donde por medio de un sistema de aliviadero, se separa el catalizador puro del catalizador contaminado. Este último se vierte en la segunda sección, mientras que el catalizador puro permanece en la primera sección; por medio de un canal dispuesto en la parte inferior de la primera sección, se recoge entonces el catalizador puro y se envía de nuevo hacia la base del reactor de craqueo. Dentro de la segunda sección, nuevamente por medio de un sistema de aliviadero, se produce una separación adicional entre el catalizador puro y el catalizador contaminado; el primero permanece almacenado dentro de la segunda sección y por medio de un canal dispuesto en la parte inferior de la sección se vierte periódicamente en la primera sección, mientras que el catalizador contaminado se envía a la tercera y última sección donde, por medio de un sistema para la recogida y el manejo de sólidos en polvo, el residuo de carbono y cualquier otra impureza se guían periódicamente dentro de una cámara de recogida y luego se expulsan de la planta. La tercera sección también está dotada de un canal en la parte inferior, a través del cual se vierte periódicamente el catalizador hacia la primera sección. Para permitir el movimiento del catalizador entre las diversas secciones del reactor de limpieza, el reactor está dotado de una o más bombas.
- **Reactor combinado:** se utiliza si la planta para craqueo catalítico de materiales poliméricos está formada por un reactor individual. Comprende por lo menos una sección de craqueo, preferiblemente una, y por lo menos una sección de limpieza, preferiblemente una; esta última a su vez puede dividirse en dos o más subsecciones, preferiblemente dos o tres. La capacidad del reactor combinado varía dependiendo de la capacidad de tratamiento de toda la planta y se calcula siguiendo una razón entre kg/h de residuos y/o materiales de plástico tratados y litros de catalizador igual 0.5:1 o superior. La razón entre el volumen ocupado por el catalizador y el total del volumen útil del reactor es variable pero preferiblemente es de entre 1:2 y 3:4. La sección de craqueo puede estar dotada de un laberinto interno para maximizar el tiempo de

contacto entre los residuos/materiales de plástico y el catalizador; la sección de craqueo y la sección de limpieza están conectadas por un aliviadero que permite transferir el catalizador contaminado desde la sección de craqueo hasta la sección de limpieza. En el interior de la sección de limpieza se produce un procedimiento de separación y purificación del catalizador totalmente similar al mencionado en la descripción del reactor de limpieza, con la única diferencia de que el catalizador puro, tomado de la base de la sección de limpieza, se introduce nuevamente en la base de la sección de craqueo y no en un reactor diferente. El reactor combinado está dotado además de por lo menos una abertura en la parte superior, preferiblemente una, por medio de la cual los gases de craqueo son conducen al interior del condensador.

En una forma de realización, el reactor de limpieza o la sección de limpieza del reactor combinado están dotados de un sistema para la separación y expulsión de los productos sólidos que son el resultado del craqueo de dicho material polimérico y de cualquier contaminante no polimérico que esté presente junto con dicho material polimérico.

En una forma de realización, dicho sistema para la separación y expulsión de dichos productos sólidos consiste en un rascador de superficie y una ranura por medio de la cual dicho producto sólido se conduce hacia una cámara de expulsión adaptada, desde la que se expulsan luego de la planta por gravedad.

II.B. Conexiones entre reactores/secciones y medios para mover el catalizador

Las conexiones entre los diversos reactores o, si la planta está dotada de un reactor individual, entre las diversas secciones consiste en tuberías adaptadas para alojar en su interior la corriente continua de catalizador, fabricadas con materiales adaptados para soportar altas temperaturas, aisladas térmicamente y dotadas opcionalmente de un sistema de calentamiento, preferiblemente del tipo eléctrico, que se utiliza principalmente para llevar las tuberías a la temperatura deseada durante la etapa de puesta en funcionamiento de la planta y, si es necesario, para permitir el calentamiento adicional del catalizador. El aislamiento térmico se proporciona según los métodos y materiales que conoce el experto en la materia y en cualquier caso de modo que se contengan las pérdidas de calor hacia el exterior y que se garantice la estabilidad de la temperatura del catalizador que fluye dentro de las tuberías de manera eficiente y eficaz. Cada conexión puede estar provista además de por lo menos una o más válvulas para abrir y cerrar la conexión, uno o más sensores para controlar la temperatura, con una o más válvulas para descargar el catalizador.

La conexión que une el reactor de limpieza al reactor de craqueo o, en el caso de un reactor individual, la sección de limpieza a la sección de craqueo, en la que la corriente de catalizador limpio fluye desde el reactor/la sección de limpieza hasta el reactor/la sección de craqueo, además de suministrar a este último/está última catalizador puro, presenta un papel en la carga del material polimérico en la planta. Esta conexión está conectada de hecho al sistema para cargar el material polimérico, preferiblemente por medio de un acoplamiento en forma de T, y presenta una forma particular que facilita la introducción del material polimérico dentro de la corriente de catalizador líquido.

Con el fin de regular la velocidad de la corriente de catalizador y, por tanto, de la cantidad de material que va a tratarse, la conexión está dotada además de por lo menos una bomba acoplada a un inversor. El tamaño de la bomba, seleccionado preferiblemente en la categoría de bombas de engranaje o bombas de semiinmersión, es variable dependiendo de la capacidad de tratamiento de la planta; este tamaño se desarrolla en cualquier caso para garantizar una corriente de catalizador que es necesaria y suficiente para el tratamiento del material que va a tratarse que llega desde el acoplamiento en forma de T.

II.C. Sistema de carga

El sistema de carga es el componente de la planta designado para introducir los materiales de plástico en la corriente de catalizador fundido. La planta puede dotarse de uno o más sistemas de carga, de un solo tipo o de diversos tipos, dependiendo de la capacidad de producción deseada y del material que va a tratarse.

En una forma de realización de la planta según la invención, uno o más sistemas de carga permiten introducir de manera continua y ajustable el material polimérico en la corriente de catalizador.

En una forma de realización de la planta, dicho uno o más sistemas de carga están dotados de uno o más sistemas para enfriar el material polimérico y/o de uno o más sistemas para moler el material polimérico.

La carga del material polimérico dentro de la corriente de catalizador líquido puede realizarse de diversas formas tal como, a modo de ejemplo no limitativo, por medio de un pistón o por medio de una extrusora.

En una forma de realización preferida, cada sistema de carga consiste en por lo menos un tanque de carga y por lo menos un alimentador sin fin de carga, preferiblemente dos tanques de carga y dos alimentadores sin fin de carga. En esta última configuración, el primer tanque de carga recibe los residuos de plástico que llegan desde los silos de almacenamiento y, por medio del primer alimentador sin fin de carga, mueve los residuos hacia el segundo

tanque de carga. Desde este último, el plástico, utilizando el segundo alimentador sin fin de carga, se conduce hacia una tubería conectada a la conexión, a través de la cual fluye la corriente de catalizador puro desde el reactor/la sección de limpieza hasta el reactor/la sección de craqueo y luego se conduce hacia este último/esta última. Se especifica que el segundo alimentador sin fin de carga puede reemplazarse opcionalmente por un pistón de carga.

Una atmósfera inerte, libre de oxígeno se mantiene dentro del sistema de carga también por medio de la introducción continua de gases inertes, preferiblemente nitrógeno, en por lo menos uno de los tanques de carga. La introducción de gas inerte también control la presión de esta área.

Cada sistema de carga está provisto de por lo menos un sistema para aislar de las temperaturas en las proximidades del acoplamiento a la conexión en la que fluye la corriente de catalizador y puede dotarse de uno o más sistemas de enfriamiento, preferiblemente dos, dispuestos preferiblemente en el segundo tanque de carga y en las proximidades del acoplamiento a la conexión a través de la cual fluye la corriente de catalizador. Esta solución mantiene bajo control la temperatura del material que va a tratarse.

En una forma de realización preferida, dicho uno o más sistemas de carga adaptados para introducir dicho material polimérico en la corriente de catalizador funcionan por medio de la utilización combinada del empuje de un último alimentador sin fin de carga y de la succión producida por el vacío parcial generado por medio de la geometría de la tubería de conexión, en las proximidades del punto de acoplamiento entre la tubería de conexión y el sistema de carga.

Esta forma de realización permite que la planta de la presente invención evite tener que recurrir a una extrusora para la introducción de los materiales poliméricos en la corriente de catalizador fundido y permite ahorrar el considerable consumo de energía requerido habitualmente por la aplicación de una extrusora y mejorar la calidad de la reacción de despolimerización, dado que los plásticos se introducen en el catalizador sin experimentar ninguna transformación quimicofísica preliminar.

En una forma de realización preferida, la geometría de la tubería de conexión en las proximidades del punto de acoplamiento entre la tubería de conexión y el sistema de carga consiste en una reducción en la sección transversal.

II.D. Sistema para condensación, recogida, almacenamiento y manejo de los hidrocarburos líquidos o de los otros productos químicos generados por el procedimiento de craqueo

Este componente de la planta está destinado a la condensación de los gases de craqueo producidos dentro del reactor/la sección de craqueo y a la gestión y el manejo de los hidrocarburos líquidos correspondientes o de los otros productos químicos generados por el procedimiento de craqueo.

La condensación de los gases de craqueo puede realizarse por medio de uno o más condensadores de diversos tipos adaptados para tratar hidrocarburos y productos químicos tales como, a modo de ejemplo no limitativo, columnas de platos e intercambiadores de calor en espiral, y cuyo tamaño se determina según la capacidad de tratamiento de toda la planta. El condensador está conectado directamente al reactor/a la sección de craqueo, para reducir tanto como sea posible el tiempo entre la formación y la condensación de los gases de craqueo.

Los hidrocarburos líquidos o los otros productos químicos generados por la condensación de los gases de craqueo se recogen en un tanque intermedio pequeño y desde allí, por medio de una o más bombas específicas para mover hidrocarburos, se transfieren al tanque de almacenamiento principal. El volumen útil del almacenamiento principal es variable en función de la capacidad de tratamiento de toda la planta y de los requisitos logísticos del sitio en el que se instala; si es necesario, el tanque de almacenamiento principal puede estar dotado además de un sistema para introducir y dosificar aditivos. La capacidad de tratamiento de toda la planta y los requisitos logísticos del sitio donde se instala también influyen en el método de manejo final de los hidrocarburos o de los otros productos químicos, que pueden envasarse en bidones o depósitos, mediante la utilización de un sistema de llenado de bidones, o cargarse directamente en camiones cisterna adaptados, mediante la utilización de muelles de carga del tipo utilizado normalmente en el sector petrolero y químico.

II.E. Sistema para limpiar, almacenar y manejar gases no condensables

La planta para craqueo de un material polimérico puede comprender además un sistema para limpiar, almacenar y manejar los gases no condensables producidos en el procedimiento de craqueo.

Aguas debajo de la condensación de los gases de craqueo, los componentes no condensables se envían a un sistema de purificación con el fin de eliminar cualquier componente ácido, tal como, a modo de ejemplo no limitativo, ácido clorhídrico (HCl), ácido fluorhídrico (HF) y sulfuro de hidrógeno (H₂S).

Esta purificación se realiza por medio de sistemas utilizados tradicionalmente en la industria de purificación de

gases y humos, tales como, a modo de ejemplo no limitativo, torres de lavado húmedo, torres de lavado semiseco o torres de reacción en seco; este sistema de purificación se conecta directamente al condensador. El gas purificado se conduce, por medio de conexiones similares a las utilizadas para la conducción de gas natural, hacia un almacenamiento temporal.

El tamaño y el tipo del sistema de almacenamiento se determina basándose en la capacidad de producción de la planta y basándose en los requisitos logísticos expresados por el sitio en el que se instala y puede comprender en cualquier caso todos los tipos de almacenamiento utilizados actualmente para la acumulación de gas natural tales como, a modo de ejemplo no limitativo, acumuladores controlados por presión, depósitos de gas, tanques rígidos presurizados.

El gas almacenado se utiliza entonces principalmente para satisfacer la demanda de energía de la planta. En más detalle, si el reactor o los reactores se mantiene(n) a temperatura por medio de uno o más quemadores de combustible duales de gas/líquido o alimentado por gas, el almacenamiento temporal de los gases no condensables se conecta a estos quemadores y los gases no condensables se utilizan directamente para satisfacer la demanda de energía térmica de la planta; el almacenamiento temporal de los gases no condensables puede conectarse además a un sistema de cogeneración alimentado por gas con el fin de dar un valor energético también a cualquier gas no condensable en exceso.

El aparato puede estar provisto de un sistema de cogeneración que está alimentado por gas, aunque los reactores o el reactor se mantenga(n) a temperatura por medio de un sistema eléctrico. Finalmente, el almacenamiento temporal de los gases no condensables también está conectado a una linterna de seguridad. El tamaño de todos los componentes del sistema para limpiar, almacenar y gestionar los gases no condensables se calcula basándose en la capacidad de producción de la planta, teniendo en cuenta que una fracción igual a aproximadamente el 5-10% del peso de los plásticos que entran en la planta normalmente se convierte en gases no condensables.

II.F. Componentes complementarios

Además de los componentes descritos anteriormente, la planta para craqueo catalítico de materiales poliméricos según la presente invención puede comprender además los siguientes componentes complementarios:

- Generador de nitrógeno: tal como se mencionó anteriormente, el procedimiento de craqueo catalítico de la presente invención se realiza en un entorno inerte, libre de oxígeno. Para garantizar este estado, el aparato puede comprender un generador de nitrógeno que permita la producción *in situ* del gas inerte necesario.
- Unidad de refrigeración: está dedicada a la producción de energía de refrigeración que se requiere para el condensador y para cualquier sistema de enfriamiento del sistema de carga.
- Conexiones y paneles eléctricos y sistema de control electrónico y sensores de monitorización: está constituido por el conjunto de conexiones eléctricas y electrónicas con las que está provista la planta para su alimentación y control; este último se estructura recurriendo a los métodos utilizados tradicionalmente en el sector industrial, tales como, a modo de ejemplo no limitativo, el sistema PLC. Entre los tipos de sensores utilizados en la planta, se mencionan, a modo de ejemplo no limitativo, sensores para monitorizar temperaturas, presiones, caudales, sensores para monitorizar la composición de gases no condensables.

II.G. Sistema de pretratamiento

El aparato según la presente invención puede comprender opcionalmente un sistema de pretratamiento. Los operadores en el campo del reciclaje de residuos conocen las máquinas y los procedimientos utilizados en el sistema de pretratamiento y, por tanto, el sistema de pretratamiento se menciona en la presente memoria con fines descriptivos.

Para maximizar la eficacia y eficiencia del procedimiento para craqueo catalítico de materiales poliméricos, es conveniente que los materiales poliméricos que entran presenten un tamaño uniforme, preferiblemente con un tamaño de partícula de no más de 10 mm, y libre de residuos o materiales metálicos. En cambio, cualquier presencia de objetos extraños no metálicos tales como, a modo de ejemplo no limitativo, vidrio, madera, papel, materiales inertes y otros materiales orgánicos, no supone un problema.

Si los materiales poliméricos que entran en la planta según la presente invención no presentan las características óptimas mencionadas anteriormente, es necesario proporcionar un sistema de pretratamiento. El sistema de pretratamiento está compuesto sustancialmente por una combinación de máquinas existentes, tales como, a modo de ejemplo no limitativo, trituradoras, molinos de martillos y/o cuchillas, clasificadoras magnéticas y aeráulicas.

Dependiendo de su origen, los residuos de plástico se caracterizan por diferentes grados de limpieza, así como por una composición diferente con referencia a los diversos tipos de plásticos; por tanto, el sistema de pretratamiento, si es necesario, debe modularse en cada aplicación, para que cumpla los requisitos de

funcionamiento específicos que requiere esta aplicación.

II.H. Catalizador utilizado en el aparato de craqueo

5 En una forma de realización, el catalizador utilizado en el aparato según la presente invención es un metal o una mezcla de metales, mezclados opcionalmente con un componente ácido.

10 En una forma de realización preferida, el catalizador utilizado en la planta según la presente invención se selecciona del grupo que consiste en plomo, estaño, cinc, antimonio, cadmio y magnesio y mezclas de los mismos, mezclados opcionalmente con otros metales y/o un componente ácido.

15 En una forma de realización más preferida, el catalizador utilizado en la planta según la presente invención se selecciona del grupo que consiste en plomo, una mezcla de plomo-cinc, una mezcla de plomo-estaño, una mezcla de plomo-cinc-estaño, una mezcla de cinc-antimonio, una mezcla de plomo-cobre, una mezcla de plomo-antimonio, una mezcla de plomo-cadmio y una mezcla de plomo-magnesio, mezclados opcionalmente con un componente ácido.

20 En una forma de realización particularmente preferida, el catalizador utilizado en la planta según la presente invención es plomo.

En otra forma de realización particularmente preferida, el catalizador utilizado en el aparato según la presente invención es una mezcla seleccionada de entre el grupo que consiste en:

- 25 - una mezcla de plomo-estaño, en la que el estaño está presente en una cantidad comprendida entre el 5% y el 35% en peso del peso total de la mezcla;
- una mezcla de plomo-antimonio, en la que el antimonio está presente en una cantidad comprendida entre el 2% y el 20% en peso del peso total de la mezcla;
- 30 - una mezcla de plomo-estaño-cinc, en la que el estaño está presente en una cantidad comprendida entre el 25% y el 40% y el cinc está presente en una cantidad comprendida entre el 1% y el 5% en peso del peso total de la mezcla;
- 35 - una mezcla de plomo-cadmio, en la que el cadmio está presente en una cantidad comprendida entre el 10% y el 40% en peso del peso total de la mezcla; y
- una mezcla de plomo-magnesio, en la que el magnesio está presente en una cantidad comprendida entre el 1% y el 5% en peso del peso total de la mezcla.

40 En las formas de realización, en las que el catalizador se mezcla con un componente ácido, el componente ácido puede seleccionarse de silicatos metálicos, carbonatos metálicos, y mezclas de los mismos.

45 En una forma de realización, el componente ácido mezclado con el catalizador utilizado en la planta según la presente invención es un silicato de aluminio o un carbonato de plomo.

El procedimiento y la planta según la presente invención presentan ventajas considerables con respecto a las tecnologías conocidas para reciclar residuos y materiales de plástico, superando los inconvenientes de estas tecnologías conocidas y logrando por tanto la finalidad y los objetivos deseados.

50 La presente invención obvia, de hecho, las limitaciones de reciclaje mecánico, puesto que permite reciclar todos los tipos principales de residuos de plástico, convirtiéndolos, dependiendo del tipo de residuo tratado, en productos energéticos de alto valor añadido, que pueden utilizarse en el sector energético y en el sector del transporte, o para dar productos químicos que pueden utilizarse en industria. Esta capacidad permite maximizar el nivel de reciclaje de residuos de plástico, reduciendo los costes asociados con la gestión de la fracción que no es adecuada para reciclar y eliminar los impactos medioambientales generados por las prácticas de conversión de residuos en energía o de vertido en vertedero utilizadas para su gestión.

60 Además, con respecto a las prácticas de conversión de residuos en energía y vertido en vertederos, el procedimiento y la planta según la presente invención permiten realizar una gestión económicamente ventajosa, incluso sin recurrir a ninguna tasa de vertido, ya que la venta de los productos generados por la transformación de los residuos de plástico permite producir un retorno económico y financiero significativo. Desde el punto de vista medioambiental, la presente invención no presenta los problemas asociados con los procedimientos de conversión de residuos en energía y con la práctica de vertido en vertederos. A diferencia de la conversión de residuos en energía, la presente invención no prevé de hecho la combustión de residuos de plástico y en cambio proporciona un ciclo de producción que se caracteriza por impactos medioambientales negativos mínimos. Además, con respecto al vertido en vertederos, la presente invención no requiere recurrir a grandes espacios y no prevé la

producción de cantidades significativas de aguas residuales que puedan plantear una amenaza para el suelo circundante o las capas freáticas.

Además, con respecto a las tecnologías de PTF basadas en pirólisis simple, la presente invención muestra en primer lugar rendimientos de conversión claramente más altos de los residuos/materiales de plástico en hidrocarburos líquidos. De hecho, la presente invención permite convertir entre el 85% y el 90% del peso de los plásticos que entran en hidrocarburos líquidos, mientras que las tecnologías de PTF alternativas basadas en pirólisis simple presentan rendimientos de conversión que varían generalmente entre el 50% y el 70%. En segundo lugar, la presente invención genera hidrocarburos u otros productos químicos de alta calidad (queroseno o monómeros) que generalmente pueden utilizarse directamente como combustibles en el sector energético y en el sector del transporte o como materias primas en el sector industrial. En cambio, los productos generados por tecnologías de PTF basadas en pirólisis simple se encuentran normalmente en el campo de los fuelóleos pesados o en el campo genérico de los aceites de pirólisis, que presentan un valor añadido más bajo. Finalmente, la utilización de un catalizador permite reducir el tiempo de transformación de los residuos/materiales de plástico en hidrocarburos, con respecto al requerido con la utilización única de energía térmica, tal como se proporciona por las tecnologías de PTF basadas en pirólisis simple. Como consecuencia directa, las plantas basadas en la presente invención son más compactas, más sencillas y económicamente menos onerosas tanto de producir como de manejar con respecto a las basadas en pirólisis simple.

Además, con respecto a las tecnologías de PTF basadas en pirólisis catalítica, la presente invención prevé que la actividad para la ruptura de los enlaces moleculares de los polímeros y su transformación del estado sólido al estado gaseoso se realice por medio de una sola etapa, en la que los residuos/materiales de plástico en estado sólido y en forma de gránulos y/o escamas se sumergen directamente dentro de un catalizador metálico que se mantiene en estado líquido mediante la utilización de energía térmica. La reacción de ruptura molecular se produce cuando los residuos/materiales de plástico se colocan en contacto con el catalizador y no hay transición dual entre la acción de la energía térmica y la del catalizador. Pueden encontrarse además diferencias de procedimiento adicionales:

- i. en el tipo de catalizador utilizado, dado que las tecnologías de PTF alternativas utilizan principalmente catalizadores en estado sólido, mientras que la presente invención utiliza sólo catalizadores en estado líquido;
- ii. en la manera de utilización del catalizador, dado que las tecnologías de PTF alternativas utilizan principalmente catalizadores desechables, que deben introducirse de manera constante en el procedimiento como verdaderas materias primas consumibles o deben reemplazarse periódicamente; la presente invención no proporciona la introducción continua de catalizador ni el reemplazo periódico del mismo, ya que el procedimiento descrito en la presente memoria presenta un sistema autónomo para la limpieza y regeneración del catalizador;
- iii. en el modo de pretratamiento y en el estado de los residuos de plástico que entran en el procedimiento de conversión, dado que la mayoría de las tecnologías de PTF alternativas basadas en pirólisis catalítica recurren a la utilización de extrusoras u otras plantas similares para pretratar los plásticos que entran, de manera que pueden introducirse en los reactores de conversión en estado líquido. La presente invención no proporciona ningún pretratamiento térmico de los residuos de plástico que entran, para los que, si es necesario, sólo hay un pretratamiento mecánico, que tiene como finalidad hacer uniforme el tamaño de las escamas y/o gránulos antes de entrar en el reactor.

Estas diferencias básicas permiten que la presente invención obtenga resultados de funcionamiento y económicos sustancialmente mejores que los de las tecnologías de PTF alternativas basadas en pirólisis catalítica. En primer lugar, la presente invención muestra rendimientos de conversión claramente superiores de los residuos/materiales de plástico en hidrocarburos líquidos; de hecho, la presente invención permite convertir entre el 85% y el 90% del peso de los plásticos que entran en hidrocarburos líquidos, mientras que las tecnologías de PTF alternativas basadas en pirólisis catalítica presentan un rendimiento de conversión que varía generalmente entre el 75% y el 85%. En segundo lugar, en lo que respecta a la calidad de los productos, las tecnologías alternativas basadas en pirólisis catalítica logran resultados extremadamente diferentes, pudiendo producir algunas tecnologías combustibles de alta calidad (se hace referencia, a modo de ejemplo no limitativo, a la tecnología de Cynar Plc), mientras que otras obtienen productos menos refinados tales como aceites pesados y/o aceites mixtos y petróleos sintéticos que han de refinarse (se hace referencia, a modo de ejemplo no limitativo, a las tecnologías de Agylx Inc., Demont Spa y Blest Inc.). Por el contrario, la presente invención genera productos de alta calidad, tales como hidrocarburos con características que son completamente similares a las del queroseno, tal como se demuestra mediante análisis realizados por laboratorios de terceros sobre muestras de hidrocarburos producidos durante las pruebas de las tecnologías con una planta piloto. Finalmente, se ha encontrado, por medio de una comparación realizada entre tecnologías de PTF alternativas basadas en pirólisis catalítica que están industrializándose actualmente y la presente invención, que esta última presenta costes de inversión y gestión esperados significativamente menores que las primeras. Dicho esto, se prevé que la presente invención pueda producir resultados económicos significativamente superiores a los que pueden obtenerse mediante las tecnologías de PTF alternativas basadas en pirólisis catalítica.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento continuo para el craqueo de un material polimérico, que comprende la introducción continua de dicho material polimérico en una corriente de catalizador fundido, en el que dicha corriente de catalizador fundido fluye de manera continua al interior de una tubería y dicha corriente de catalizador fundido conduce dicho material polimérico a través de dicha tubería a un reactor.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que comprende asimismo la limpieza continua del catalizador fundido, eliminando del catalizador fundido productos sólidos que son el resultado del craqueo de dicho material polimérico, y cualquier contaminante no polimérico que esté presente junto con dicho material polimérico.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que dicho catalizador se mantiene a una temperatura de 300-550°C, preferentemente de 350-500°C.
4. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que dicho catalizador se funde a una temperatura de 330°C o menos.
5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que dicho catalizador es un metal o una mezcla de metales, mezclados opcionalmente con un componente ácido.
6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que dicho catalizador se selecciona de entre el grupo que consiste en plomo, estaño, cinc, antimonio, cadmio y magnesio y mezclas de los mismos, mezclados opcionalmente con otros metales y/o un componente ácido.
7. Procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado por que dicho catalizador se selecciona de entre el grupo que consiste en plomo, una mezcla de plomo-cinc, una mezcla de plomo-estaño, una mezcla de plomo-cinc-estaño, una mezcla de cinc-antimonio, una mezcla de plomo-cobre, una mezcla de plomo-antimonio, una mezcla de plomo-cadmio y una mezcla de plomo-magnesio, mezclados opcionalmente con un componente ácido.
8. Procedimiento según la reivindicación 6 o 7, caracterizado por que dicho catalizador es plomo.
9. Procedimiento según la reivindicación 7, caracterizado por que dicho catalizador es una mezcla de metales seleccionados de entre el grupo que consiste en:
 - una mezcla de plomo-estaño, en la que el estaño está presente en una cantidad comprendida entre el 5% y el 35% en peso sobre el peso total de la mezcla;
 - una mezcla de plomo-antimonio, en la que el antimonio está presente en una cantidad comprendida entre el 2% y el 20% en peso sobre el peso total de la mezcla;
 - una mezcla de plomo-estaño-cinc, en la que el estaño está presente en una cantidad comprendida entre el 25% y el 40% y el cinc está presente en una cantidad comprendida entre el 1% y el 5% en peso sobre el peso total de la mezcla;
 - una mezcla de plomo-cadmio, en la que el cadmio está presente en una cantidad comprendida entre el 10% y el 40% en peso sobre el peso total de la mezcla; y
 - una mezcla de plomo-magnesio, en la que el magnesio está presente en una cantidad comprendida entre el 1% y el 5% en peso sobre el peso total de la mezcla.
10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, caracterizado por que dicho catalizador se mezcla con un componente ácido seleccionado de entre silicatos metálicos, carbonatos metálicos y mezclas de los mismos.
11. Procedimiento según la reivindicación 10, caracterizado por que dicho catalizador se mezcla con un componente ácido seleccionado de un silicato de aluminio y un carbonato de plomo.
12. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizado por que dicho material polimérico se selecciona de entre el grupo que consiste en:
 - un plástico de cadena lineal o una mezcla de plásticos de cadena lineal;
 - un plástico halogenado, por ejemplo, PVC, o una mezcla de plásticos halogenados;
 - un plástico de cadena ramificada o una mezcla de plásticos de cadena ramificada;

- una mezcla de plásticos de cadena lineal y plásticos de cadena ramificada;
 - una mezcla de plásticos de cadena lineal y plásticos halogenados;
 - 5 - una mezcla de plásticos halogenados y plásticos de cadena ramificada; y
 - una mezcla de plásticos halogenados, plásticos de cadena ramificada y plásticos de cadena lineal.
- 10 13. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, caracterizado por que dicho material polimérico está contaminado por otros materiales no poliméricos.
- 15 14. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, caracterizado por que dicho material polimérico es una mezcla de materiales poliméricos que se originan a partir de la gestión de residuos seleccionados de entre el grupo que consiste en residuos sólidos municipales y residuos especiales.
- 15 15. Planta para craqueo de un material polimérico, que comprende un circuito cerrado que contiene un catalizador fundido, y unos medios adaptados para mantener dicho catalizador fundido en movimiento continuo que genera un flujo continuo de catalizador fundido dentro del circuito cerrado, y que comprende asimismo:
- 20 - uno o más reactores, de los cuales por lo menos un reactor de craqueo, adaptado para realizar la reacción, y por lo menos un reactor de limpieza, adaptado para limpiar el catalizador, o un reactor individual dividido en por lo menos dos secciones, de las cuales por lo menos una sección de craqueo, adaptada para realizar la reacción de craqueo, y por lo menos una sección de limpieza, adaptada para limpiar el catalizador;
- 25 - uno o más sistemas de carga adaptados para introducir dicho material polimérico en el circuito cerrado.
- 30 - uno o más sistemas para la conexión entre dichos reactores/secciones, consistiendo dicha conexión en unas tuberías adaptadas para alojar en su interior una corriente continua de catalizador, fabricadas con materiales adaptados para soportar altas temperaturas y aisladas térmicamente, estando dicha conexión conectada al sistema para cargar el material polimérico.
- 35 16. Planta según la reivindicación 15, caracterizada por que dichos medios adaptados para mantener dicho catalizador fundido en movimiento continuo comprenden una o más bombas.
- 35 17. Planta según la reivindicación 15 o 16, caracterizada por que dicho uno o más sistemas de carga permiten introducir de manera continua y ajustable dicho material polimérico en la corriente de catalizador.
- 40 18. Planta según la reivindicación 15 o 17, caracterizada por que dicho uno o más sistemas de carga están provistos de uno o más sistemas para enfriar el material polimérico y/o de uno o más sistemas para moler el material polimérico.
- 45 19. Planta según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 18, caracterizada por que dicho uno o más sistemas de carga funcionan por medio de la utilización combinada del empuje de un último alimentador sin fin de carga y de la succión producida por el vacío parcial generado por medio de la geometría de la tubería de conexión, en las proximidades del punto de acoplamiento entre la tubería de conexión y el sistema de carga.
- 50 20. Planta según la reivindicación 19, caracterizada por que la geometría de la tubería de conexión en las proximidades del punto de conexión entre la tubería de conexión y el sistema de carga consiste en una reducción de la sección transversal.
- 55 21. Planta según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 20, caracterizada por que el reactor de limpieza/sección está provisto de un sistema para la separación y expulsión de los productos sólidos que son el resultado del craqueo de dicho material polimérico y de cualquier contaminante no polimérico que esté presente junto con dicho material polimérico.
- 60 22. Planta según la reivindicación 21, caracterizada por que dicho sistema para la separación y expulsión de dichos productos sólidos consiste en un rascador de superficie y una ranura por medio de la cual dichos productos sólidos son conducidos hacia una cámara de expulsión adaptada, desde la cual posteriormente son expulsados de la planta por gravedad.
- 60 23. Planta según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 22, caracterizada por que dicho catalizador es un catalizador según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 11.