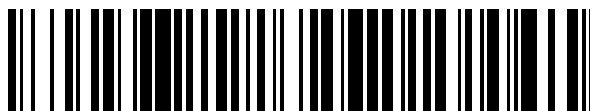


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 776 139**

51 Int. Cl.:

C07C 27/22 (2006.01)
B01J 8/08 (2006.01)
B01J 8/10 (2006.01)
B01J 23/46 (2006.01)
B01J 8/00 (2006.01)
C07C 4/22 (2006.01)
C08J 11/16 (2006.01)
B01J 23/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.12.2011 PCT/US2011/063947**
 87 Fecha y número de publicación internacional: **14.06.2012 WO12078871**
 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.12.2011 E 11847559 (9)**
 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.02.2020 EP 2649029**

54 Título: **Proceso de despolimerización**

30 Prioridad:

08.12.2010 US 420961 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
29.07.2020

73 Titular/es:

MOHANTY, PRAVANSU S. (50.0%)
23164 Commerce Drive
Farmington Hills, Michigan 48335, US y
RAMESH, SWAMINATHAN (50.0%)

72 Inventor/es:

MOHANTY, PRAVANSU S. y
RAMESH, SWAMINATHAN

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

Observaciones:

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

ES 2 776 139 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

Proceso de despolimerización

5 La presente descripción generalmente se refiere a procesos, aparatos y catalizadores personalizados diseñados para despolimerizar un polímero. En particular, la presente invención se refiere a un método de despolimerización para obtener monómeros útiles que incluyen productos de combustible mediante reacciones "in situ" usando inducción electromagnética acoplada.

10 Los polímeros de adición (en contraste con los polímeros de condensación) pueden despolimerizarse por calor a monómeros más simples y sus oligómeros. El uso de uno o más catalizadores puede dar como resultado temperaturas de reacción más bajas a las que se produce la reacción de despolimerización, así como proporcionar cierta cantidad de control sobre la mezcla del producto despolimerizado. Sin embargo, la mezcla del producto siempre contendrá grandes cantidades de compuestos insaturados que afectarán su estabilidad en la exposición al aire. Además, sin más etapas de purificación, tales como uno o más fraccionamientos, el producto de reacción despolimerizado no puede usarse directamente.

15 Varios plásticos son ejemplos de compuestos producidos por reacciones de polimerización por adición. Típicamente, estos plásticos se producen a partir de recursos petroleros no renovables y, a menudo, no son biodegradables. En los Estados Unidos, plásticos como el polietileno (PE), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC) y poliestireno (PS) se producen en cantidades que exceden los 52,16 millones de toneladas (115000 millones de libras) anuales. Los plásticos se utilizan en muchas industrias para formar productos para la venta en mercados industriales y residenciales. En los mercados industriales, estos polímeros se utilizan para formar envases, aislamientos, productos de construcción y similares. En los mercados residenciales, estos polímeros se utilizan para formar botellas, envases y similares.

25 La despolimerización catalítica de polietileno, polipropileno y poliestireno de alta y baja densidad en combustible diésel es bien conocida en la bibliografía, tanto publicada como patentada. La utilización de dicho combustible se ve obstaculizada por el hecho de que la presencia de grandes cantidades de productos insaturados reduce la estabilidad (formación de productos de polímero marrón) del combustible diésel producido de ese modo y, como tal, requiere la necesidad de una etapa de hidrogenación por separado para mejorar la estabilidad y valor calorífico del diésel así producido.

30 Por consiguiente, la despolimerización de polímeros requiere una cuidadosa selección de catalizadores, procesamiento y un esquema de separación para extraer valioso diésel como combustible. La figura 1 presenta un cromatograma de gases que ilustra la identidad y las cantidades relativas de varios monómeros formados a partir de la pirólisis de polietileno y polipropileno. Los monómeros incluyen alcanos, alquenos y alquinos o dienos que tienen de 2 a 40 átomos de carbono en los que los alcanos son de color verde, los alquenos son de color rojo, y los alquinos y dienos son de color azul.

35 Además de los polímeros de adición, hay polímeros de condensación, que incluyen poliésteres (PET), poliuretanos (PU), nilones o poliimidas y similares. También hay polímeros termoestables (por ejemplo, revestimientos para automóviles), que son redes de polímeros tridimensionales formadas por reacciones de reticulación de los polímeros lineales.

40 A diferencia del polietileno, polipropileno y otros polímeros, los polímeros de condensación y los termoestables no pueden "despolimerizarse" utilizando energía térmica. En cambio, uno debe confiar en reacciones químicas extensivas para convertir dichos productos nuevamente en sus materiales de partida y, como tal, esto es económicamente prohibitivo de realizar.

45 Dado lo anterior, solo una pequeña fracción de los polímeros producidos son reciclados y reutilizados. Los polímeros que no se reciclan y reutilizan presentan riesgos potenciales de contaminación ambiental cuando se desechan, no se utilizan para energía o materias primas, y contribuyen a una mayor dependencia de los recursos petroleros no renovables.

50 En este contexto, el documento GB 2 359 813 A describe un método para recuperar monómeros de estireno a partir de una resina de poliestireno basada en la descomposición térmica en presencia de un catalizador de sulfato. Adicionalmente, la patente de EE. UU. 5,430,174 describe un método para recuperar dimetil naftaleno-2,6-dicarboxilato (DMN) de una mezcla de dimetilnaftaleno-2,6-dicarboxilato (DMN) y dimetil tereftalato (DMT), que comprende la recristalización de dicha mezcla en un medio mixto de etilenglicol y metanol y separación de dimetil naftaleno-2,6-dicarboxilato precipitado (DMN).

La patente de EE. UU. 6,184,427 describe la despolimerización de poliestireno (PS) al someter los extruidos calentados en forma de "espagueti" o láminas delgadas a radiación electromagnética.

La presente invención se refiere a los siguientes artículos:

55 1. Un método para despolimerizar polímeros, comprendiendo el método las etapas de:

- (i) proporcionar uno o más materiales de partida poliméricos, en donde el material de partida polimérico es uno o más polietilenos (PE), uno o más polipropilenos (PP), uno o más cloruros de polivinilo (PVC), uno o más poliestirenos (PS), y/o combinaciones adecuadas de dos o más de los mismos;
- 5 (ii) proporcionar un reactor para despolimerizar el uno o más materiales de partida de polímero en uno o más monómeros;
- (iii) calentar uno o más materiales de partida poliméricos, o materiales de alimentación, a una velocidad de 10 °C/segundo a 1000 °C/segundo a una temperatura en el intervalo de 100 °C a 700 °C, preferiblemente en el intervalo de 200 °C a 400 °C; y
- 10 (iv) proporcionar un campo de inducción electromagnética para facilitar la despolimerización de uno o más materiales de partida de polímero en sus monómeros constituyentes, en donde el campo de inducción electromagnética se aplica directamente a un dispositivo de mezcla del reactor y dicho dispositivo de mezcla se acopla con dicho campo de inducción electromagnética ,
- en donde el método utiliza uno o más catalizadores que permiten reacciones *in situ* para producir uno o más monómeros funcionales.
- 15 2. El método según el artículo 1, en donde el método comprende además la etapa de:
- (v) recolectar selectivamente al menos uno de los monómeros producidos por el método o convertir al menos uno de los monómeros en uno o más productos de valor añadido estables.
3. El método según cualquiera de los artículos 1 o 2, en donde la reacción *in situ* implica al menos una composición catalítica soportada en al menos un sustrato sólido.
- 20 4. El método según cualquiera de los artículos 1 a 3, en donde el reactor está provisto de un dispositivo de plasma en combinación con una fuente electromagnética para acoplarse inductivamente con el dispositivo de mezcla y calentar uno o más materiales de partida de polímero a una temperatura deseada.
5. El método según cualquiera de los artículos 1 a 4, en donde uno o más sitios catalizadores son de naturaleza alcalina, de naturaleza ácida o una combinación de las mismas.
- 25 6. El método según cualquiera de los artículos 1 a 5, en donde el uno o más catalizadores se aplican sobre uno o más soportes sólidos mediante un proceso de deposición aditiva.
7. El método según cualquiera de los artículos 1 a 6, en donde el uno o más catalizadores se sintetizan en uno o más soportes sólidos mediante procesos termoquímicos.
- 30 8. El método según cualquiera de los artículos 1 a 7, en donde el uno o más catalizadores son catalizadores a nanoescala.
9. El método según el punto 8, en donde el uno o más catalizadores a nanoescala mejoran el proceso de despolimerización y realizan transformaciones químicas adicionales para producir y/u obtener productos químicos funcionales.
- 35 10. El método según cualquiera de los artículos 1 a 9, en donde el uno o más monómeros producidos por el método según cualquiera de los artículos 1 a 9 son los componentes básicos que se usaron para formar uno o más materiales de partida de polímero.
11. El método según cualquiera de los artículos 1 a 10, en donde el método comprende además la etapa de: hacer reaccionar uno o más de los monómeros para producir uno o más productos químicos funcionales.
- 40 12. El método según cualquiera de los artículos 1 a 11, en donde la velocidad de calentamiento en la etapa (iii) es de 50 °C/segundo a 500 °C/segundo.
13. El método según cualquiera de los artículos 1 a 12, en donde la velocidad de calentamiento en la etapa (iii) es de 100 °C/segundo a 200 °C/segundo.
14. El método según cualquiera de los artículos 1 a 13, en donde la velocidad de calentamiento en la etapa (iii) es de 200 °C/segundo.
- 45 La presente descripción generalmente se refiere a procesos, aparatos y catalizadores especialmente diseñados para despolimerizar un polímero. En una realización, se describe en la presente memoria un aparato de despolimerización, catalizadores y esquemas de reacción para obtener monómeros útiles que incluyen productos de combustible mediante reacciones *"in situ"* usando inducción electromagnética acoplada.
- 50 Esta presente descripción proporciona aparatos, esquemas de reacción y condiciones de reacción que comprenden el uso de inducción electromagnética acoplada y materiales catalíticos personalizados para despolimerizar todo tipo

de polímeros en monómeros útiles que incluyen mezclas de tipo combustible. El método ofrece ventajas únicas en términos de selectividad del producto y eficiencia del proceso.

Además, en una realización, los métodos descritos en la presente memoria forman, bajo ciertas condiciones, monómeros de alta pureza que pueden usarse como materiales de partida para monómeros funcionales de alto valor añadido. En una realización, estos monómeros funcionales pueden formarse *in situ* en el reactor, lo que hace que el proceso sea económico.

En otra realización, el método descrito en la presente memoria incluye la etapa de introducir un polímero en un reactor y despolimerizar el polímero en el recipiente mientras está en presencia de al menos un catalizador. Como se discutirá más adelante, los métodos de la presente invención pueden, en una realización, utilizar uno o más catalizadores personalizados diseñados para facilitar reacciones de despolimerización *in situ*.

En una realización, se describe en la presente memoria un método para despolimerizar polímeros, el método comprende las etapas de: (i) proporcionar uno o más materiales de partida de polímeros, o materiales de alimentación; (ii) proporcionar un reactor para despolimerizar el uno o más materiales de partida poliméricos, o materiales de alimentación, en uno o más monómeros; (iii) calentar uno o más materiales de partida poliméricos, o materiales de alimentación, a una velocidad de aproximadamente 10 °C/segundo a aproximadamente 1000 °C/segundo; y (iv) proporcionar un campo de inducción electromagnética para facilitar la despolimerización de uno o más materiales de partida poliméricos, o materiales de alimentación, en sus monómeros constituyentes, en donde el método utiliza uno o más catalizadores que permiten reacciones *in situ* para producir uno o más monómeros funcionales.

En otra realización, se describe en la presente memoria un método para despolimerizar polímeros, comprendiendo el método las etapas de: (a) proporcionar uno o más materiales de partida poliméricos, o materiales de alimentación; (b) proporcionar un reactor para despolimerizar el uno o más materiales de partida poliméricos, o materiales de alimentación, en uno o más monómeros; (c) calentar uno o más materiales de partida poliméricos, o materiales de alimentación, a una velocidad de aproximadamente 10 °C/segundo a aproximadamente 1000 °C/segundo; (d) proporcionar un campo de inducción electromagnética para facilitar la despolimerización del uno o más materiales de partida poliméricos, o materiales de alimentación, en sus monómeros constituyentes; y (e) recolectar selectivamente al menos uno de los monómeros producidos por el método o convertir al menos uno de los monómeros en uno o más productos de valor añadido estables, en donde el método utiliza uno o más catalizadores que permiten reacciones *in situ* para producir uno o más monómeros funcionales.

En otra realización más, se describe en la presente memoria un método para despolimerizar polímeros, comprendiendo el método las etapas de: (I) proporcionar un material de partida de polímero, o material de alimentación; (II) proporcionar un reactor para despolimerizar el material de partida de polímero, o material de alimentación, en un monómero constituyente; (III) calentar el uno o más materiales de partida poliméricos, o materiales de alimentación, a una velocidad de aproximadamente 10 °C/segundo a aproximadamente 1000 °C/segundo; y (IV) proporcionar un campo de inducción electromagnética para facilitar la despolimerización del material o material de alimentación en su monómero constituyente, en donde el método logra un rendimiento de monómero constituyente de al menos aproximadamente 80 por ciento en peso basado en el valor de porcentaje en peso extraíble contenido en el material de partida polimérico, o material de alimentación, sometido a despolimerización.

Otras áreas de aplicabilidad serán evidentes a partir de la descripción proporcionada en la presente memoria. La descripción y los ejemplos específicos en este compendio están destinados únicamente a fines ilustrativos y no están destinados a limitar el alcance de la presente descripción.

Las figuras muestran:

Los dibujos descritos en la presente memoria son solo para fines ilustrativos de realizaciones seleccionadas y no de todas las implementaciones posibles, y no pretenden limitar el alcance de la presente descripción. Para fines de claridad, no todos los componentes están etiquetados en cada figura, ni se muestran todos los componentes de cada realización de la descripción.

La figura 1 es un cromatógrafo de gases que ilustra la identidad y las cantidades relativas de monómeros formados a partir de la pirólisis de polietileno y polipropileno como el polímero a modo de ejemplo de la presente invención;

La figura 2 es un diagrama de bloques que ilustra una realización de la presente invención que comprende un alimentador, un reactor con campo de inducción electromagnética acoplado y catalizadores personalizados opcionales a través de los cuales fluyen gases H₂ y N₂ como agentes reductores, y columnas de destilación y el flujo de polímeros despolimerizados, mostrando el reciclaje de los polímeros y la formación de monómeros;

La figura 3 es una vista esquemática de una realización a modo de ejemplo de la presente descripción que comprende el esquema del aparato de procesamiento de la figura 2 con una bobina de inducción;

La figura 4 es una vista esquemática de una realización a modo de ejemplo del dispositivo de mezcla dentro del conjunto del aparato de procesamiento de la figura 3 que comprende palas de impulsor revestidas con catalizadores diseñados;

La figura 5 es un resultado a modo de ejemplo que demuestra la recolección selectiva de monómeros de partida, según los principios de las presentes enseñanzas;

La figura 6 es un resultado a modo de ejemplo que demuestra la recolección selectiva de monómeros de partida en ausencia de cualquier catalizador, según los principios de las presentes enseñanzas;

5 La figura 7 es un resultado a modo de ejemplo que demuestra la recolección de monómeros mixtos en presencia de catalizadores, según los principios de las presentes enseñanzas;

La figura 8 es un resultado a modo de ejemplo que demuestra la recolección de monómeros mixtos a partir de plásticos mixtos en presencia de catalizadores, según los principios de las presentes enseñanzas;

10 La figura 9A es una vista esquemática de una realización a modo de ejemplo del dispositivo de pulverización para aplicar catalizadores sobre las palas del impulsor de la figura 4;

La figura 9B es una vista esquemática de una realización a modo de ejemplo del dispositivo de pulverización de la figura 9A que comprende un sistema de llama de combustión;

La figura 9C es una vista esquemática de una realización a modo de ejemplo del dispositivo de alimentación de precursores de la figura 9A que comprende tres depósitos de precursores líquidos con un sistema de mezcla y bombeo;

15 La figura 9D es una vista esquemática de la película de material catalítico que se deposita empleando partículas sintetizadas por plasma a partir de precursores líquidos y/o gaseosos según los principios de las presentes enseñanzas;

La figura 10A es un diagrama de bloques que ilustra una realización de la presente invención que comprende tres zonas de catalizador personalizadas;

20 La figura 10B es una vista esquemática de una realización a modo de ejemplo de la presente descripción que comprende el esquema del aparato de procesamiento de la figura 10A con una bobina de inducción;

La figura 10C es una vista esquemática de un impulsor con catalizadores graduados según los principios de las presentes enseñanzas;

25 La figura 10D es una vista esquemática de un impulsor lleno de granulos de zeolita con catalizadores graduados de la figura 10C según los principios de las presentes enseñanzas;

La figura 11 es una vista en perspectiva de un sistema que ilustra un dispositivo de plasma que se utiliza para calentar el plástico.

Los números de referencia correspondientes indican partes correspondientes a lo largo de las diversas vistas de los dibujos.

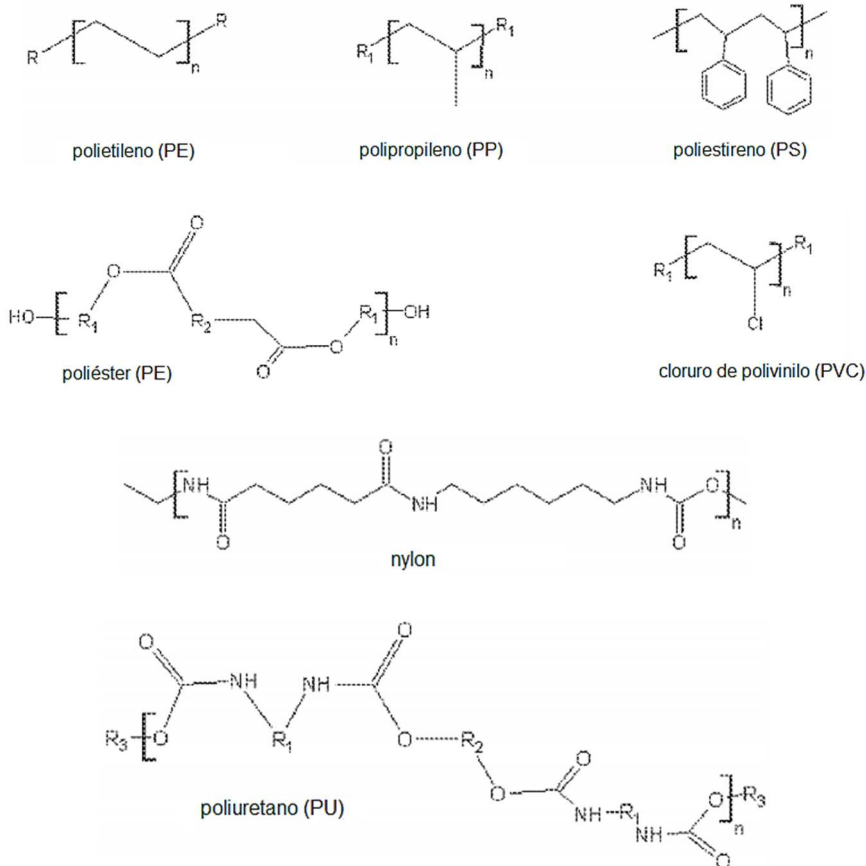
30 La presente descripción generalmente se refiere a procesos, aparatos y catalizadores especialmente diseñados para despolimerizar un polímero. En una realización, se describe en la presente memoria un aparato de despolimerización, catalizadores y esquemas de reacción para obtener monómeros útiles que incluyen productos de combustible mediante reacciones "in situ" usando inducción electromagnética acoplada.

35 Las realizaciones no limitativas de la presente descripción se describirán a modo de ejemplo con referencia a las figuras adjuntas, que son esquemáticas y no están destinadas a ser dibujadas a escala.

40 Con referencia inicialmente a la figura 2, el diagrama de bloques ilustra una realización de la presente descripción en la que los polímeros triturados son alimentados continuamente por un alimentador en un reactor junto con uno o más gases inertes seleccionados de N₂, helio u otro gas inerte para mantener la atmósfera inerte (la alimentación de gas también puede contener gas H₂ como agente reductor si es necesario). El material de partida de polímero, o material de alimentación, está sujeto a un campo de energía de inducción electromagnética acoplado que resulta en fusión y despolimerización. En un caso, esta realización puede realizarse en presencia de uno o más compuestos catalíticos que se describirán en detalle a continuación. En otra realización, el proceso anterior puede realizarse en ausencia de un catalizador. En ambos casos, las composiciones de polímero así tratadas se convierten en monómeros funcionales útiles. Con respecto a la fuerza del campo electromagnético utilizado para proporcionar el campo de energía de inducción electromagnética acoplado, dicho parámetro variará dependiendo de la cantidad de material de partida de polímero o material de alimentación presente, el tamaño del reactor, la velocidad del proceso, etc. En consecuencia, la presente invención no se limita a ninguna intensidad de campo electromagnético.

45 El material de alimentación de polímero que puede usarse junto con la presente descripción puede ser cualquier termoplástico o termoestable conocido en la técnica. En una realización, el material de alimentación de polímero es un producto de polimerización de monómeros que incluye, pero sin limitarse a, monómeros alifáticos, monómeros aromáticos y/o combinaciones adecuadas de cualesquiera dos o más de los mismos. En otra realización, el material de alimentación de polímero es el producto de polimerización de monómeros que incluye monómeros insaturados

tales como alquenos y dienos que tienen dobles enlaces carbono-carbono, alquinos que tienen triples enlaces carbono-carbono y monómeros de estireno, y/o combinaciones adecuadas de cualesquiera dos o más de los mismos. Como tal, el material de alimentación de polímero utilizado junto con la presente invención incluye uno o más polietilenos (PE), uno o más polipropilenos (PP), uno o más cloruros de polivinilo (PVC), uno o más poliestirenos (PS), y/o combinaciones adecuadas de cualesquiera dos o más de los mismos. En una realización, los materiales de alimentación de polímeros descritos en la presente memoria tienen códigos de reciclado de 2, 3, 4, 5 y 6. En otra realización más, el material de alimentación de polímeros descrito en la presente memoria es un polímero de condensación formado a partir de la reacción de uno o más polialcoholes con uno o más ácidos policarboxílicos en ausencia de agua. Como apreciarán los expertos en la técnica, estos son poliésteres y tienen un código de reciclaje de 1. El material de alimentación de polímero puede, en otra realización, ser uno o más poliuretanos, hechos haciendo reaccionar al menos un isocianato con al menos un alcohol. El material de alimentación de polímero también puede ser un nylon, que es una poliimida, formada a partir de la reacción de uno o más ácidos policarboxílicos con una o más poliaminas. Debe observarse que el material de alimentación de polímero descrito en la presente memoria no se limita solo a los ejemplos anteriores. Más bien, el material de alimentación de polímero también se puede seleccionar de una miríada de otros polímeros formados a partir de la reacción de dos grupos funcionales con la eliminación de moléculas simples (condensación), que corresponden al código de reciclaje 7. El material de alimentación de polímero puede, en una realización, ser atáctico, isotáctico o sindiotáctico. Solo para fines ilustrativos no limitantes, las estructuras químicas de varios polímeros se muestran a continuación:



20 en donde n puede ser cualquier número entero igual a dos o más.

El material de alimentación de polímero se suministra típicamente en diversas formas de productos comerciales. Tales formas incluyen, pero no se limitan a, recipientes, embalaje, aislamientos, productos de construcción y/o combinaciones de dos o más de los mismos. Sin embargo, se contempla que el material de alimentación de polímero puede estar en cualquier forma. Dichas formas incluyen, pero no se limitan a, cualquier forma de producto comercial, productos comerciales rechazados (es decir, productos defectuosos que de otro modo se eliminarían), y/o polímero sobrante de un proceso de fabricación (por ejemplo, un proceso de extrusión, proceso de moldeo por soplado, etc.). En una realización, si así se desea y/o es necesario antes de la introducción del material de alimentación de polímero en el reactor, el material de alimentación de polímero puede procesarse mediante uno o más tratamientos físicos y/o químicos para facilitar la introducción en el reactor. Si el material de alimentación del polímero se procesa con uno o más tratamientos físicos, el polímero se puede limpiar para eliminar la suciedad, aceite, grasa, detergentes, alimentos, contaminantes exógenos de plantas y animales, y/o combinaciones de dos o más de los mismos. El material de

alimentación de polímero se puede limpiar con cualquier método conocido por los expertos en la técnica. En una realización, el material de alimentación de polímero se limpia usando chorros de agua a presión, flotación, tensioactivos, depuradores y similares, y/o combinaciones de dos o más de los mismos. El material de alimentación de polímero también puede reducirse de tamaño mediante cualquier método conocido en la técnica, que incluye, pero sin limitarse a, trituración, molienda, calentamiento, fusión, combustión, aplastamiento, disolución, desgarro, trituración y/o combinaciones de dos o más de los mismos. Si se reduce su tamaño, el material de alimentación de polímero se puede reducir a cualquier tamaño que incluye, pero sin limitarse a, polvo, nanopolvo, gránulos, etc. Como se usa en la presente memoria, la palabra o prefijo "nano" se refiere a cualquier objeto que tenga un tamaño, o incluso una sola dimensión, de menos de aproximadamente 1000 nanómetros, menos de aproximadamente 750 nanómetros, menos de aproximadamente 500 nanómetros, menos de aproximadamente 250 nanómetros, menos de aproximadamente 100 nanómetros, menos de aproximadamente 50 nanómetros, menos de aproximadamente 25 nanómetros, menos de aproximadamente 10 nanómetros, menos de aproximadamente 5 nanómetros, o incluso menos de aproximadamente 1. Aquí, así como en cualquier otro lugar de la memoria descriptiva, puede reivindicar, los valores de intervalo individuales o límites, se pueden combinar para formar intervalos cerrados y abiertos adicionales y/o no descritos. El material de alimentación de polímero también puede tratarse físicamente mediante agitación, mezcla, sonicación, usando ondas de radio, energía magnética y energía luminosa, y/o combinaciones de dos o más de los mismos. Si el material de alimentación de polímero se procesa con tratamientos químicos, el material de alimentación de polímero se puede combinar con uno o más catalizadores, una o más enzimas, una o más cargas, uno o más ácidos, una o más bases, una o más sales, uno o más compuestos catiónicos y aniónicos, uno o más agentes de procesamiento y/o combinaciones de dos o más de los mismos. En una realización, el material de alimentación de polímero de la presente invención se limpia, se tritura y se funde.

Con referencia ahora al etapa de introducir el material de alimentación de polímero (o material de polímero para reciclar) en el reactor, el material de alimentación de polímero se puede introducir en el reactor en cualquier entorno y en cualquier cantidad. El material de alimentación de polímero se puede introducir en el reactor en laboratorios que utilizan pequeñas cantidades en un gramo y una escala más pequeña y en instalaciones de reciclaje industrial que utilizan grandes cantidades en un kilogramo a kilotón, o incluso a mayor escala. El reactor puede ser cualquier recipiente conocido en la técnica y puede incluir uno o más recipientes y reactores de tamaño industrial y/o de laboratorio. En una realización, el método se utiliza en una escala de kilogramo a kilotón (o incluso a mayor escala) en cualquier instalación (o instalaciones) de reciclaje industrial de tamaño adecuado que utiliza un reactor o reactores de tamaño industrial diseñados adecuadamente.

El reactor puede ser cualquier reactor conocido en la técnica que incluye, pero sin limitarse a, reactores de tornillo, reactores de tapón y combinaciones de cualesquiera dos o más de los mismos. El reactor también puede funcionar en cualquier tipo de modo, incluyendo, pero sin limitarse a, lotes y modos continuos. En una realización, el reactor funciona en modo continuo para reducir el consumo de energía, los costes operativos, el tamaño del reactor, el tiempo de funcionamiento, el tiempo de inactividad, etc. El reactor puede funcionar además a cualquier temperatura.

Después de que el material de alimentación de polímero (o el material de polímero a reciclar y/o despolimerizar) se introduce en el reactor, el método comprende la etapa de despolimerizar el polímero, como se discutió anteriormente. El material de alimentación de polímero puede fragmentarse mediante cualquier método conocido en la técnica. Se contempla que el material de alimentación de polímero se puede descomponer mediante calentamiento, radiación actínica y de microondas, o combinaciones de dos o más de los mismos. En una realización, el material de alimentación de polímero se descompone calentando con métodos convencionales, con radiación de microondas, con calentamiento resistivo, utilizando combustibles fósiles, con calentadores de inducción, con plasma, con energía solar, con energía radiactiva, o cualesquiera combinaciones de dos o más de los mismos. En otra realización más, la despolimerización se logra con al menos un campo de inducción electromagnética acoplado directamente aplicado al dispositivo de mezcla/polímeros usando la configuración que se describe a continuación. Cuando el material de alimentación de polímero se descompone, el material de alimentación de polímero se polimeriza preferiblemente al menos parcialmente (es decir, se desglosa) en monómeros.

Con referencia a la figura 3, en una realización de la presente invención, un aparato 10 para llevar a cabo uno o más métodos según la descripción contenida en la presente memoria comprende un alimentador 12, un motor 13, un reactor 14 con dispositivo de mezcla interno y condensadores 16. El material de alimentación de polímero (o el material de polímero a reciclar y/o despolimerizar) desde el alimentador 12 se alimenta continuamente al reactor 14, cuyo dispositivo de mezcla interno se acopla con el campo de inducción electromagnética aplicado a través de la bobina de inducción 15. Con referencia a la figura 4, el dispositivo de mezcla consta de un conjunto impulsor 20 que está diseñado para funcionar y/o facilitar el uso del acoplamiento de inducción electromagnética y, por lo tanto, se activa con la aplicación de corriente de inducción a través de la bobina 15. El impulsor 20 mezcla y calienta el polímero entrante simultáneamente asegurando una temperatura uniforme en el material de alimentación.

En una realización, el material de alimentación de polímero se calienta. Si se calienta así, el material de alimentación de polímero se puede calentar a cualquier temperatura deseada. En una realización, el material de alimentación de polímero se calienta a una temperatura de aproximadamente 25 °C a aproximadamente 1000 °C, o de aproximadamente 100 °C a aproximadamente 700 °C, o incluso de aproximadamente 200 °C a aproximadamente 400 °C. Aquí, así como en cualquier otro lugar de la memoria descriptiva puede reivindicar, los valores de intervalo individuales o límites, se pueden combinar para formar intervalos cerrados y abiertos adicionales y/o no descritos. En

otra realización, el material de alimentación de polímero se puede calentar a cualquier velocidad. En una realización, el material de alimentación de polímero se calienta a una velocidad de aproximadamente 10 °C/segundo a aproximadamente 1000 °C/segundo, o de aproximadamente 50 °C/segundo a aproximadamente 500 °C/segundo, o incluso de aproximadamente 100 °C/segundo a aproximadamente 200 °C/segundo. Con la configuración descrita anteriormente, se puede, por ejemplo, lograr una velocidad de calentamiento de aproximadamente 10 °C/segundo a aproximadamente 1000 °C/segundo, o incluso aproximadamente 200 °C por segundo.

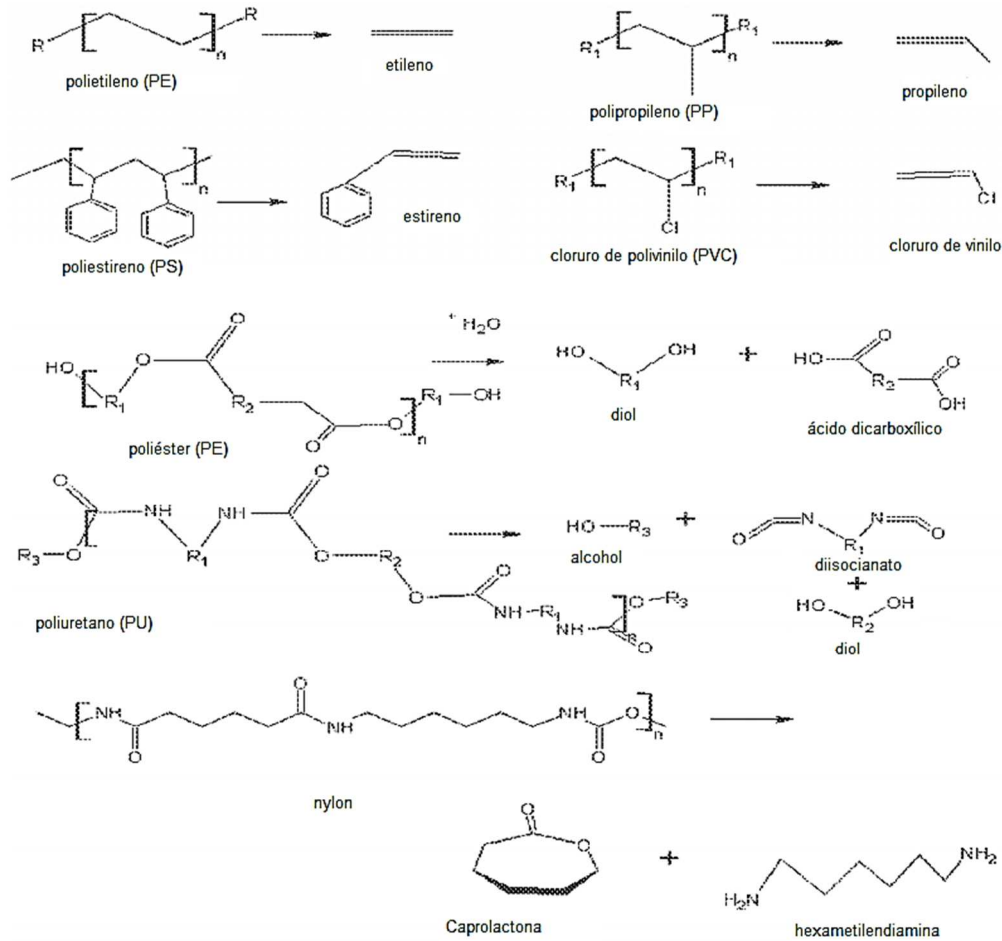
Si el material de alimentación de polímero se calienta a una velocidad de aproximadamente 100 °C a aproximadamente 1000 °C/segundo, especialmente en ausencia de aire, el polímero está sujeto a pirólisis. Si el material de alimentación del polímero se calienta a una velocidad de aproximadamente 25 °C/segundo a 100 °C/segundo, el polímero está sujeto a termólisis. Como se sabe en la técnica, la pirólisis incluye un calentamiento rápido de un material polimérico para polimerizar al menos parcialmente el polímero y formar/producir monómeros. De manera similar, como también se sabe en la técnica, la termólisis incluye el calentamiento más lento de un material polimérico para polimerizar al menos parcialmente el polímero y formar monómeros. Como se muestra en la figura 1, si el material de alimentación de polímero incluye polietileno y/o polipropileno pirolizado, se producen alcanos, alquenos y alquinos o dienos que tienen entre 2 y 40 átomos de carbono, en donde los alcanos son de color verde, los alquenos son de color rojo, y los alquinos y dienos son de color azul. Después de la formación, los monómeros pueden eliminarse hirviendo o con una corriente de gas inerte que incluye, pero sin limitarse a, helio, neón, argón, criptón, xenón, nitrógeno, hidrógeno o cualesquiera combinaciones de dos o más de los mismos.

Cuando se procesa un material de alimentación de polímero utilizando la configuración de inducción electromagnética acoplada como se describe en la presente memoria, se observa un resultado diferente como se ilustra en las figuras 5 y 6. En lugar de una distribución variable de varios alquenos, alcanos y dienos diferentes, el producto principal producido en estas circunstancias es monómeros alquenos. Esto da como resultado que más del 80 por ciento a aproximadamente el 85 por ciento de los productos que se producen son como gas. También se encuentran algunos porcentajes de productos líquidos y sólidos.

El procesamiento de calor de inducción electromagnética acoplada usando la configuración discutida en la presente memoria permite convertir un polímero en su monómero base individual mientras consigue un alto rendimiento y especificidad para el monómero particular que dio lugar al material polimérico que se despolimeriza. Por ejemplo, el polietileno producirá monómero de etileno a una tasa de rendimiento de aproximadamente 80 por ciento o más. Un polipropileno producirá monómero de propileno a una tasa de rendimiento de aproximadamente 80 por ciento o más. Una combinación de polietileno y polipropileno producirá una mezcla de monómeros de etileno y propileno en la proporción de tales materiales en el material de alimentación de polímero con una tasa de rendimiento de aproximadamente 80 por ciento o más. Un poliestireno producirá monómero de estireno a una tasa de rendimiento de aproximadamente 80 por ciento o más. De manera similar, un PVC producirá monómero de cloruro de vinilo a una tasa de rendimiento de aproximadamente 80 por ciento o más.

Cuando el calentamiento por inducción electromagnética acoplada se emplea para despolimerizar un polímero en presencia de un catalizador, se observa un comportamiento algo diferente. Todavía se obtienen la mayoría de los productos de reacción como monómeros individuales (véase la figura 7), pero también se ven más productos sólidos cerosos (véase la figura 8). Si bien no desea limitarse a ninguna teoría, se postula que hay dos vías de reacción diferentes, la reacción catalizada tiende a producir (o ser más favorable hacia) productos similares al combustible. Como se puede ver a partir de ahí, la distribución del producto de la figura 8 es similar a la de la figura 1 que se obtiene mediante la termólisis de varios polímeros que, en el caso de la figura 8, se utilizan como material de partida o de alimentación para la presente invención.

El principio de inducción electromagnética acoplada discutido aquí permite despolimerizar un uretano en un isocianato (y/o poliisocianato) y un monómero funcional de alcohol o un poliol. Mediante la destilación efectiva de uno de los productos, cada uno de los compuestos reactivos se puede obtener con altos rendimientos. De manera similar, un poliéster producirá un anhídrido de un ácido dicarboxílico y un poliol si durante el proceso se introduce suficiente agua catalíticamente y los productos se destilan. Se puede prever una despolimerización similar de los termoestables y, aunque no se desea limitar a ninguna teoría o mecanismo químico, a continuación se muestran las posibles químicas:



5 A medida que el material de alimentación de polímero, o material de partida, se despolimeriza, el método de la presente invención también puede incluir la etapa de monitorizar la formación de monómeros. Los monómeros se pueden monitorizar en línea, fuera de línea o mediante una combinación de monitorización en línea y fuera de línea. Además, la etapa monitorización puede incluir la utilización de cualquier técnica de monitorización conocida por los expertos en la técnica. La técnica de monitorización puede incluir, pero sin limitarse a, espectroscopía y/o cromatografía. Si la técnica de monitorización incluye espectroscopía, la espectroscopía puede incluir espectroscopías de masa, infrarrojo, emisión atómica, absorción atómica, resonancia magnética nuclear, Raman, fluorescencia, rayos X, fluorescencia atómica, emisión de plasma, plasma de corriente continua, plasma acoplado inductivamente, láser descomposición inducida, plasma inducido por láser, plasma inducido por microondas, destello y/o arco, UV, fotoemisión, fuerza, dieléctrico, dicroísmo circular, rotativo, vibratorio, rotor rígido, EPR, distribución de potencia espectral, metamerismo, reflectancia espectral, acústica, dinámica mecánica, pérdida de energía de electrones y electrones Auger, y combinaciones de cualesquiera dos o más de las mismas. Si la técnica de monitorización incluye cromatografía, la cromatografía puede incluir cromatografías de gas, líquido, intercambio iónico, afinidad, capa delgada, fluido supercrítico y columna, y combinaciones de cualesquiera dos o más de las mismas.

10 El método descrito en la presente memoria también puede incluir la etapa de introducir un catalizador en el reactor. En una realización, el catalizador se puede introducir en el reactor en cualquier punto del método. En un caso, si se introducen uno o más catalizadores, el uno o más catalizadores se introducen después de que el material de alimentación de polímero (o material de partida de polímero) se introduce en el reactor y cuando el material de alimentación de polímero (o material de partida de polímero) se descompone. En otra realización, el uno o más catalizadores están unidos a uno o más sustratos o soportes de fase dentro del reactor y el material de alimentación de polímero (o material de partida de polímero) se introduce sobre el uno o más catalizadores en forma fundida y/o gaseosa. Con referencia particular a la figura 4, el catalizador 23 se aplica sobre la pala del impulsor 22 del conjunto 20.

25 Como se sabe en la técnica, los catalizadores pueden usarse de dos maneras diferentes. En general, los catalizadores pueden efectuar la polimerización de olefinas a polímeros que tienen altos pesos moleculares y estructuras altamente ordenadas. Por el contrario, el uno o más catalizadores pueden efectuar la polimerización inversa (es decir, la descomposición o descompresión de polímeros) catalizando así la descomposición de los polímeros en el material de

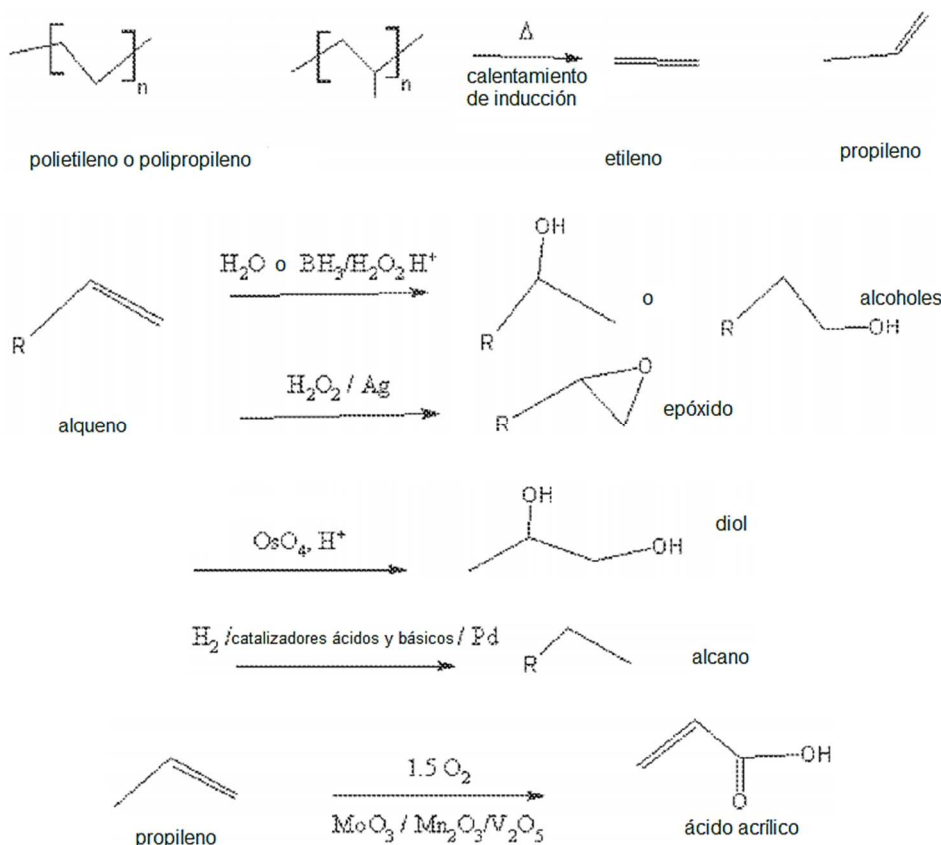
alimentación de polímero (o material de partida de polímero) en uno o más monómeros y separando las estructuras altamente ordenadas. En el proceso y sistema/aparato descrito en la presente memoria, se usa uno o más catalizadores para la polimerización inversa.

5 Bajo los efectos del campo de inducción electromagnética acoplado, se muestra que uno o más polímeros en el material de alimentación de polímero (o material de partida de polímero) se despolimerizan completamente a sus monómeros de partida. Los catalizadores añadidos están presentes, en una realización, para hacer reaccionar/catalizar monómeros *in situ* para generar valor añadido de monómeros funcionales.

10 En una realización, es posible y/o deseable añadir agua al proceso/método descrito en la presente memoria para facilitar la conversión de diversos compuestos de un alqueno que contienen doble enlace para generar un alcohol, oxígeno para generar un epóxido y adicionalmente hacer reaccionar/catalizar un compuesto a un diol o reaccionar con oxígeno parcialmente y alcohol para generar un monómero acrílico, todos los cuales son comercialmente más valiosos que los alquenos mismos.

15 En otra realización, la presencia de uno o más catalizadores puede influir en la ruta de reacción y la presente invención produce productos con una distribución más amplia (véase la figura 8). En estas realizaciones, la presencia de uno o más catalizadores de hidrogenación conducirá a combustibles con mayores densidades de energía.

A continuación se ilustran ejemplos no limitantes de tales reacciones catalíticas post-transformacionales:



20 El uno o más catalizadores pueden ser cualquier catalizador conocido en la técnica. Por ejemplo, en una realización, el uno o más catalizadores pueden ser quirales o aquirales, pueden ser simétricos o asimétricos, y/o pueden ser homogéneos o heterogéneos. El uno o más catalizadores también pueden incluir cualquier resto orgánico o inorgánico conocido en la técnica. En una realización, el uno o más catalizadores facilitarán, o catalizarán, preferentemente la reacción de uno o más monómeros formados inicialmente por la reacción de despolimerización para obtener otros compuestos de valor añadido. En una realización, el uno o más catalizadores están presentes en una cantidad inferior o igual a aproximadamente 500 partes por 100 partes en peso del uno o más materiales de alimentación de polímeros, o materiales de partida. En otra realización, el uno o más catalizadores están presentes en una cantidad de aproximadamente 0,1 partes por millón de partes en peso del material de alimentación de polímero, o material de partida, a aproximadamente 100 partes del catalizador por 100 partes en peso de la alimentación de polímero material o material de partida. En otra realización más, el uno o más catalizadores están presentes en una cantidad de aproximadamente 0,1 partes por un millón de partes en peso del material de alimentación de polímero, o material de partida, a aproximadamente 20 partes del uno o más catalizadores por 100 partes en peso del material de alimentación

25

30

de polímero, o material de partida. Aquí, así como en cualquier otro lugar de la memoria descriptiva puede reivindicar, los valores de intervalo individuales o límites, se pueden combinar para formar intervalos cerrados y abiertos adicionales y/o no descritos.

5 Por ejemplo, un alqueno puede convertirse en un alcohol (primario o secundario) mediante la adición de agua a través de los dobles enlaces, catalizados por ácidos o con hidrobioración y reacción con peróxido de hidrógeno.

10 Si uno o más alquenos reaccionan con peróxido de hidrógeno catalizado por plata nanoestructurada, se convertirán en epóxidos con rendimientos muy altos. Estos epóxidos pueden hacerse reaccionar además con uno o más ácidos para formar ésteres valiosos, o reaccionar con agua para formar dioles, o reaccionar bajo presión con un catalizador ácido o base, para formar polioles. Estas transformaciones son muy valiosas en productos básicos como espumas, cosméticos, etc.

En otra realización, la presente descripción hace reaccionar uno o más alquenos con tetróxido de osmio o permanganato de potasio para producir uno o más dioles directamente. Nuevamente, los dioles son productos químicos valiosos que se usan mucho en productos automotrices y de consumo.

15 En otra realización más, la presente descripción hace reaccionar propileno parcialmente con 1,5 moléculas de oxígeno en presencia de al menos un catalizador de óxido de molibdeno para producir un monómero de ácido acrílico. Como es conocido en la técnica, tales compuestos son intermedios muy valiosos en el negocio de revestimientos y en la industria de pañales altamente absorbentes.

20 En otra realización más, la presente descripción reduce uno o más dobles enlaces con hidrógeno a medida que se forman usando catalizadores como paladio, o uno o más catalizadores con sitios alcalinos y/o ácidos personalizables en la misma molécula, para producir uno o más alcanos saturados. Por lo tanto, en esta realización es posible producir propano o butano a partir de polímeros de polipropileno o polibutileno de desecho.

Específicamente, los diversos catalizadores que incluyen los óxidos de aluminio y titanio con relaciones variables de acidez y alcalinidad se forman y dispersan en escala nanodimensional en el acoplador de inducción electromagnética.

25 Con referencia particular a la figura 9A, una realización descrita en la presente memoria es aplicar el uno o más catalizadores usando un precursor de fluido apropiado que se inyecta en una corriente gaseosa caliente para tratamiento químico/térmico y consolidación en la capa de catalizador deseada sobre soporte sólido. Los precursores fluidos tras la inyección en el gas caliente se pirolizan en la corriente dando como resultado finas gotas fundidas/semi-fundidas/sólidas de los materiales deseados que se consolidan en forma de película o partículas.

30 Los esquemas de síntesis de la presente descripción proporcionan películas que poseen las características morfológicas, fase y composiciones deseadas directamente de los precursores químicos y, por lo tanto, eliminan las etapas de procesamiento que se practican actualmente en la industria. Además, las técnicas de deposición por pulverización descritas en la presente memoria permiten la creación de acopladores geoméricamente complejos. En algunas realizaciones, el uso de precursores fluidos donde los ingredientes componentes están en un estado completamente disuelto asegura la homogeneidad de los elementos componentes y mejora las velocidades de reacción en comparación con las reacciones en estado sólido comúnmente practicadas en procesos convencionales, y por lo tanto puede reducir el tiempo de procesamiento.

35 Como se muestra en la figura 9A, un conjunto de aparato de fabricación 30 comprende un sistema de movimiento 32 que conmuta mecánicamente un dispositivo de pulverización 34 para construir una película uniforme sobre un objetivo 38, utilizando los precursores de fluido del depósito 35 en cantidades medidas a través de un sistema de bombeo 33. El conjunto de aparatos 30 se puede instalar en cualquier entorno.

40 En algunas realizaciones del dispositivo de pulverización 40, se emplea una llama de combustión como se ilustra en la figura 9B. El aparato de combustión puede emplear un combustible tal como hidrocarburo o hidrógeno 42, así como oxígeno o aire 43 para generar una llama suficientemente caliente 47. El material precursor 44 puede inyectarse a la llama axialmente a través del elemento inyector 41 y/o radialmente a través del elemento inyector 45 para sintetizar el material deseado y consolidarlo en un depósito en el objetivo 38 según los principios de las enseñanzas actuales establecidas en la presente memoria. El entorno químico de la llama se puede ajustar a rico en oxígeno o pobre en oxígeno ajustando la relación de combustible a aire. Tales ajustes pueden controlar la química del material objetivo.

45 Con referencia a la figura 9C, un conjunto de alimentación precursora 50 puede comprender depósitos precursores no limitantes 53, 53' y 53" que se introducen en una cámara de mezcla 52 que se bombea al aparato de pulverización 34 a través de una bomba mecánica 51.

La figura 9D ilustra esquemáticamente una realización no limitante del esquema de deposición para un material sintetizado por pulverización 61 desde un dispositivo de pulverización 60 sobre un objetivo 63 que forma una película 63. El dispositivo de pulverización 64 puede comprender un dispositivo de plasma.

55 El logro directo de películas con la química, fase y morfología deseadas a partir de precursores en disolución usando un aparato de pulverización como se describe aquí tiene atributos únicos. El enfoque de síntesis directa brinda la

capacidad de ajustar la química del catalizador en vuelo e *in situ*. Estas enseñanzas no se limitan a los sistemas de materiales a modo de ejemplos discutidos en la presente memoria y pueden emplearse para muchos otros sistemas de materiales.

5 Un precursor a modo de ejemplo para el catalizador particulado de Al_2O_3 a nanoescala es nitrato de aluminio ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) mezclado 1:1 en peso en alcohol isopropílico. Debe tenerse en cuenta que para lograr una disolución con pH ajustado, se puede usar la adición de un ácido o una base (dependiendo de la acidez o basicidad inicial). En algunas realizaciones, la disolución puede ajustarse al pH para lograr una disolución homogénea en donde los componentes contenidos allí están completamente disueltos en la disolución.

10 Un precursor a modo de ejemplo para titania se produce mezclando isopropóxido de titanio con etanol. El ácido acético glacial y el peróxido de hidrógeno se usan como dispersantes.

Específicamente, los óxidos de aluminio y titanio con proporciones variables de acidez y alcalinidad se forman alimentando los precursores respectivos en proporciones variables empleando un sistema de alimentación ilustrado en la figura 9C.

15 Con referencia a las figuras 10A y 10B, el uno o más catalizadores pueden personalizarse y aplicarse sobre el conjunto del reactor, variando progresivamente de naturaleza ácida a naturaleza mixta a básica a través del dispositivo 70 de la figura 10A. Según una realización de la presente invención, dicha personalización proporciona selectividad de subproductos así como eficiencia de despolimerización.

20 Más específicamente, el uno o más catalizadores descritos en la presente memoria pueden adaptarse a medida y aplicarse sobre el acoplador de inducción electromagnética del conjunto del reactor 80, por ejemplo, nanoestructuras de plata o nanopartículas, que en presencia de oxígeno pueden funcionar como el tetróxido de osmio hecho *in situ*. En una realización, dicho catalizador podría ser molibdeno nanoestructurado diseñado para catalizar la oxidación parcial de alquenos.

25 Además, se ha observado que una reacción de despolimerización según una realización descrita en la presente memoria puede efectuarse mediante superficies a escala nanométrica - el área enormemente aumentada disponible para que se unan los reactivos y productos, así como la química única en la nanoescala abren una nueva vista en la despolimerización catalítica. Como se ilustra en la figura 10C, dichos catalizadores de nanoescala 91, 92 y/o 93 pueden depositarse en una realización en el acoplador de inducción electromagnética, que podría ser una estructura metálica o no metálica o similar a zeolita 80. El material en sí puede ser seleccionado de elementos como Si, Zr, Cu, Mg, Mn, etc., u óxidos SiO_2 , Al_2O_3 , ZnO, MgO, BaO, MnO_2 , Fe_2O_3 etc. Estos pueden depositarse por plasma precursor o proceso de combustión según las enseñanzas actuales.

30 Se pueden emplear catalizadores soportados sólidos adicionales como se ilustra en la figura 10D. En el conjunto 100, el espacio entre las palas del acoplador/impulsor de inducción electromagnética se llena con tamices moleculares 101 y se mantiene en el espacio mediante una pantalla de cubierta 102.

35 Como se ilustra en la figura 11, en algunas realizaciones descritas en la presente memoria, el dispositivo 110 puede emplear un dispositivo de plasma 111 para proporcionar calor además del campo de inducción electromagnética para despolimerizar el material de alimentación de polímero, o material de partida, presente en la cámara 112. El uno o más catalizadores se puede añadir al dispositivo de plasma junto con el material de alimentación de polímero, o material de partida, o se puede suministrar al conjunto del reactor según diversas realizaciones descritas anteriormente, o se puede emplear un enfoque combinado.

40 En una realización, se describe en la presente memoria un método para despolimerizar polímeros, el método comprende las etapas de: (i) proporcionar uno o más materiales de partida de polímeros, o materiales de alimentación; (ii) proporcionar un reactor para despolimerizar el uno o más materiales de partida poliméricos, o materiales de alimentación, en uno o más monómeros; (iii) calentar uno o más materiales de partida poliméricos, o materiales de alimentación, a una velocidad de aproximadamente $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{segundo}$ a aproximadamente $1000\text{ }^\circ\text{C}/\text{segundo}$; y (iv) proporcionar un campo de inducción electromagnética para facilitar la despolimerización de uno o más materiales de partida poliméricos, o materiales de alimentación, en sus monómeros constituyentes, en donde el método utiliza uno o más catalizadores que permiten reacciones *in situ* para producir uno o más monómeros funcionales.

45 En otra realización, se describe en la presente memoria un método para despolimerizar polímeros, comprendiendo el método las etapas de: (a) proporcionar uno o más materiales de partida poliméricos, o materiales de alimentación; (b) proporcionar un reactor para despolimerizar el uno o más materiales de partida poliméricos, o materiales de alimentación, en uno o más monómeros; (c) calentar uno o más materiales de partida poliméricos, o materiales de alimentación, a una velocidad de aproximadamente $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{segundo}$ a aproximadamente $1000\text{ }^\circ\text{C}/\text{segundo}$; (d) proporcionar un campo de inducción electromagnética acoplado para facilitar la despolimerización del uno o más materiales de partida de polímero, o materiales de alimentación, en sus monómeros constituyentes; y (e) recolectar selectivamente al menos uno de los monómeros producidos por el método o convertir al menos uno de los monómeros en uno o más productos de valor añadido estables, en donde el método utiliza uno o más catalizadores que permiten reacciones *in situ* para producir uno o más monómeros funcionales.

En otra realización más, se describe en la presente memoria un método para despolimerizar polímeros, comprendiendo el método las etapas de: (I) proporcionar un material de partida de polímero, o material de alimentación; (II) proporcionar un reactor para despolimerizar el material de partida de polímero, o material de alimentación, en un monómero constituyente; (III) calentar el uno o más materiales de partida poliméricos, o materiales de alimentación, a una velocidad de aproximadamente 10 °C/segundo a aproximadamente 1000 °C/segundo; y (IV) proporcionar un campo de inducción electromagnética acoplado para facilitar la despolimerización del material o material de alimentación en su monómero constituyente, en el que el método logra un rendimiento de monómero constituyente de al menos aproximadamente 80 por ciento en peso basado en el valor de porcentaje en peso extraíble contenido en el material de partida polimérico, o material de alimentación, sometido a despolimerización. En otra realización, este método proporciona un rendimiento de monómero constituyente de al menos aproximadamente 82,5 por ciento en peso, al menos aproximadamente 85 por ciento en peso, al menos aproximadamente 87,5 por ciento en peso, o incluso al menos aproximadamente 90 por ciento en peso o más en base al porcentaje en peso extraíble valor contenido en el material de partida de polímero. Aquí, así como en cualquier otro lugar de la especificación, puede reivindicar, los valores de intervalo individuales o límites, se pueden combinar para formar intervalos cerrados y abiertos adicionales y/o no descritos.

Todavía en otra realización más, se describe en la presente memoria un método de despolimerización que utiliza uno o más catalizadores personalizados para permitir y/o facilitar el rendimiento de fracciones altas de monómeros deseables de valor agregado a partir de plásticos cuyos monómeros base son diferentes. Un ejemplo no limitativo de dicho método de la presente invención es obtener un monómero AB a partir de una mezcla de dos plásticos (poli-A y poli-B) cuyos monómeros base son A y B, respectivamente, o bajo ciertas condiciones obtener fracciones altas del monómero Y de un plástico (poli-X) cuyo monómero base es X.

La terminología utilizada en la presente memoria tiene el propósito de describir realizaciones de ejemplo particulares solamente y no pretende ser limitante. Como se usa en la presente memoria, las formas singulares "un", "una" y "el" también pueden incluir las formas plurales, a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Los términos "comprende", "que comprende", "que incluye" y "que tiene" son inclusivos y, por lo tanto, especifican la presencia de características, números enteros, etapas, operaciones, elementos y/o componentes establecidos, pero no excluyen la presencia o adición de una o más características, números enteros, etapas, operaciones, elementos, componentes y/o grupos de los mismos.

REIVINDICACIONES

1. Un método para despolimerizar polímeros, comprendiendo el método las etapas de:
- 5 (i) proporcionar uno o más materiales de partida poliméricos, en donde el material de partida polimérico es uno o más polietilenos (PE), uno o más polipropilenos (PP), uno o más cloruros de polivinilo (PVC), uno o más poliestirenos (PS), y/o cualesquiera combinaciones adecuadas de dos o más de los mismos;
- (ii) proporcionar un reactor para despolimerizar el uno o más materiales de partida de polímero en uno o más monómeros;
- (iii) calentar el uno o más materiales de partida de polímeros a una velocidad de 10 °C/segundo a 1000 °C/segundo a una temperatura en el intervalo de 100 °C a 700 °C, preferiblemente en el intervalo de 200 °C a 400 °C; y
- 10 (iv) proporcionar un campo de inducción electromagnética para facilitar la despolimerización de uno o más materiales de partida de polímero en sus monómeros constituyentes, en donde el campo de inducción electromagnética se aplica directamente a un dispositivo de mezcla del reactor y dicho dispositivo de mezcla se acopla con dicho campo de inducción electromagnética ,
- 15 en donde el método utiliza uno o más catalizadores que permiten reacciones *in situ* para producir uno o más monómeros funcionales.
2. El método según la reivindicación 1, en donde el método comprende además la etapa de:
- (v) recolectar selectivamente al menos uno de los monómeros producidos por el método o convertir al menos uno de los monómeros en uno o más productos de valor añadido estables.
- 20 3. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en donde la reacción *in situ* implica al menos una composición catalítica soportada en al menos un sustrato sólido.
4. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el reactor está provisto de un dispositivo de plasma en combinación con una fuente electromagnética para acoplarse inductivamente con el dispositivo de mezcla y calentar uno o más materiales de partida de polímero a una temperatura deseada.
- 25 5. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde el uno o más sitios catalíticos son de naturaleza alcalina, de naturaleza ácida, o una combinación de las mismas.
6. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde el uno o más catalizadores se aplican sobre uno o más soportes sólidos mediante un proceso de deposición aditiva.
7. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde el uno o más catalizadores se sintetizan en uno o más soportes sólidos mediante procesos termoquímicos.
- 30 8. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde el uno o más catalizadores son catalizadores a nanoescala.
9. El método según la reivindicación 8, en donde el uno o más catalizadores a nanoescala mejoran el proceso de despolimerización y realizan transformaciones químicas adicionales para producir y/u obtener productos químicos funcionales.
- 35 10. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en donde el uno o más monómeros producidos por el método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 son los componentes básicos que se usaron para formar uno o más materiales de partida de polímeros.
11. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en donde el método comprende además la etapa de: hacer reaccionar uno o más de los monómeros para producir uno o más productos químicos funcionales.
- 40 12. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en donde la velocidad de calentamiento en la etapa (iii) es de 50 °C/segundo a 500 °C/segundo.
13. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en donde la velocidad de calentamiento en la etapa (iii) es de 100°C/segundo a 200°C/segundo.
- 45 14. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en donde la velocidad de calentamiento en la etapa (iii) es 200°C/segundo.

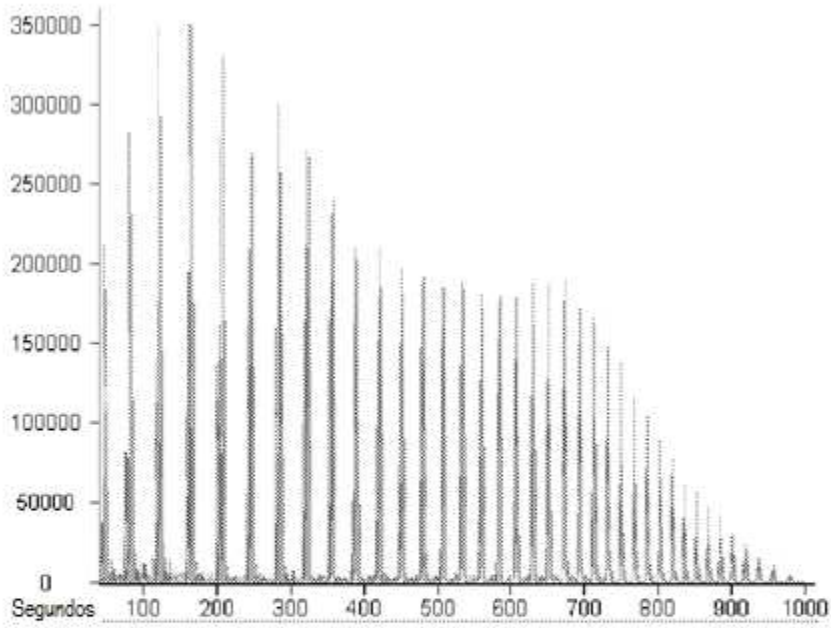


Fig-1

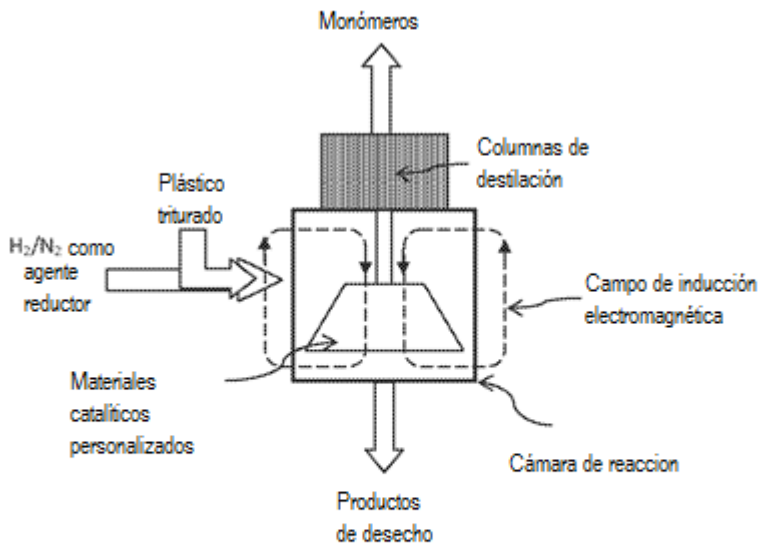


Fig-2

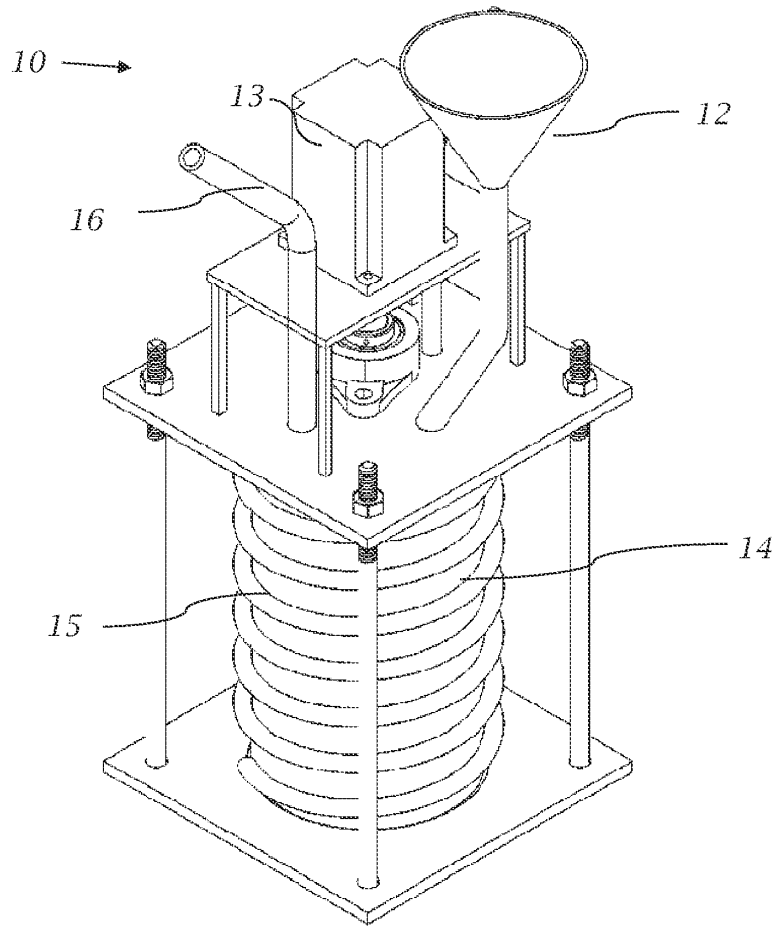


Fig-3

20 →

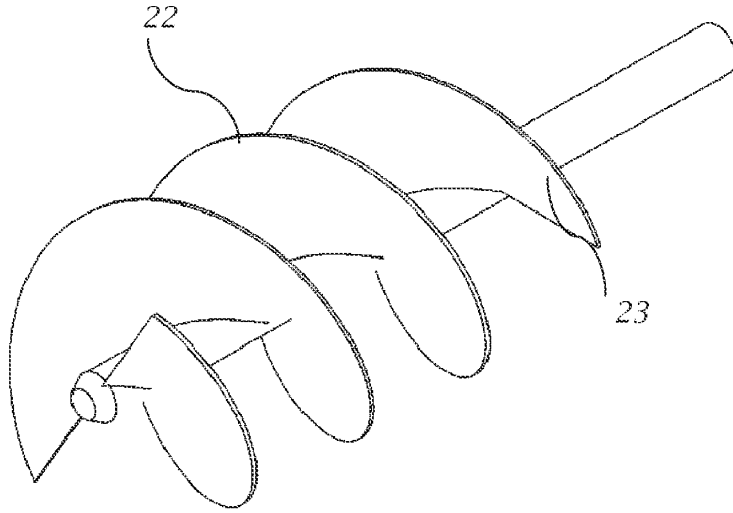


Fig-4

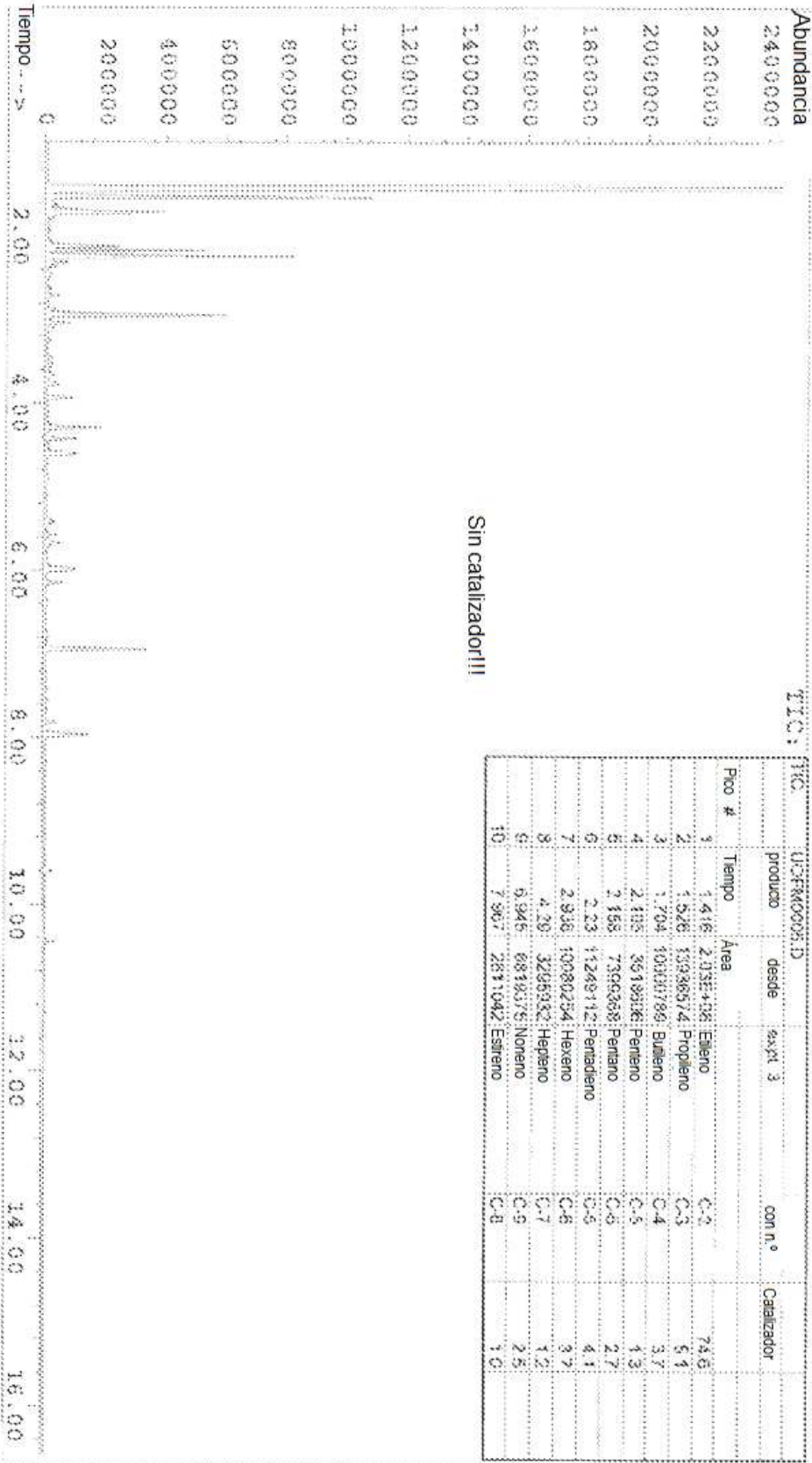


Fig-5

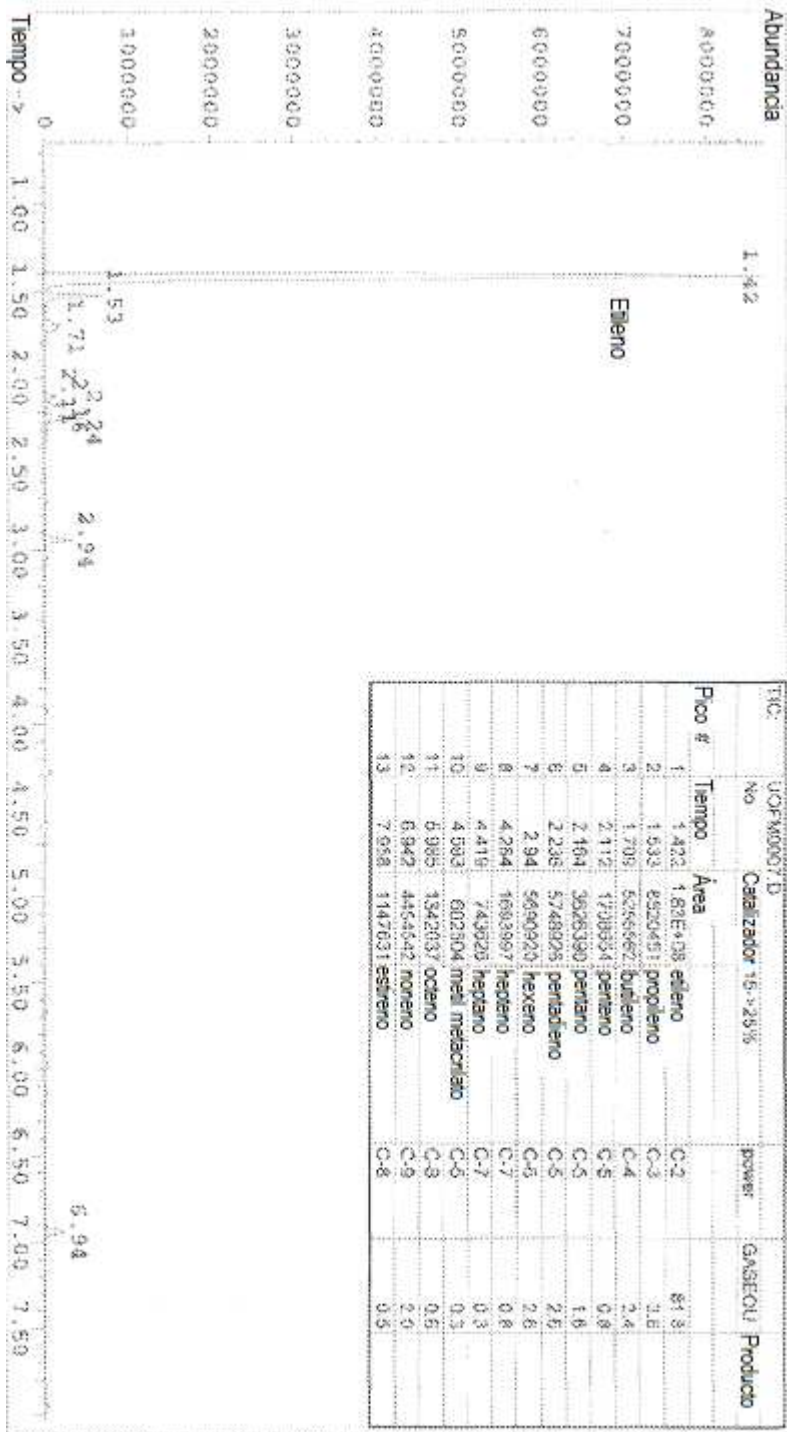


Fig-6

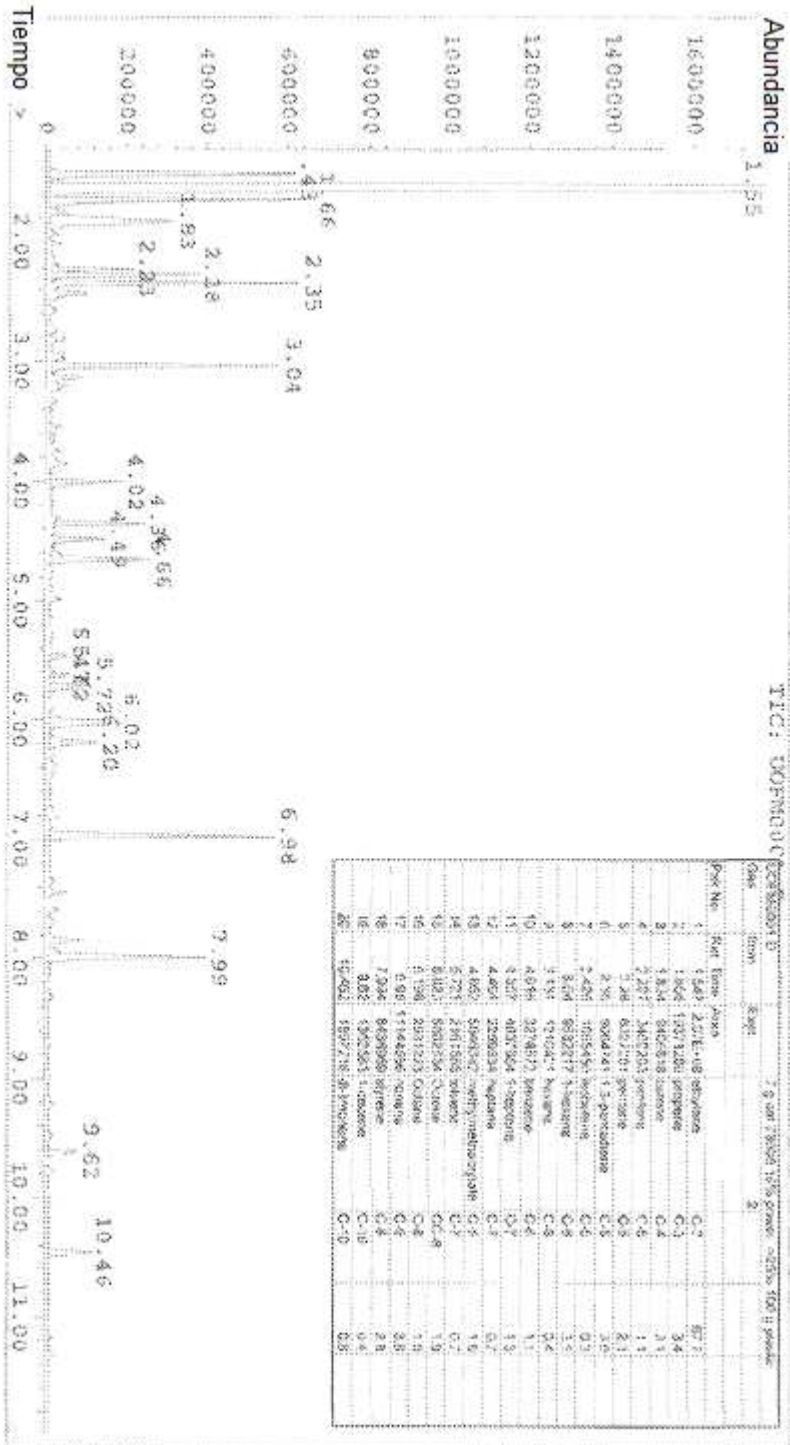


Fig-7

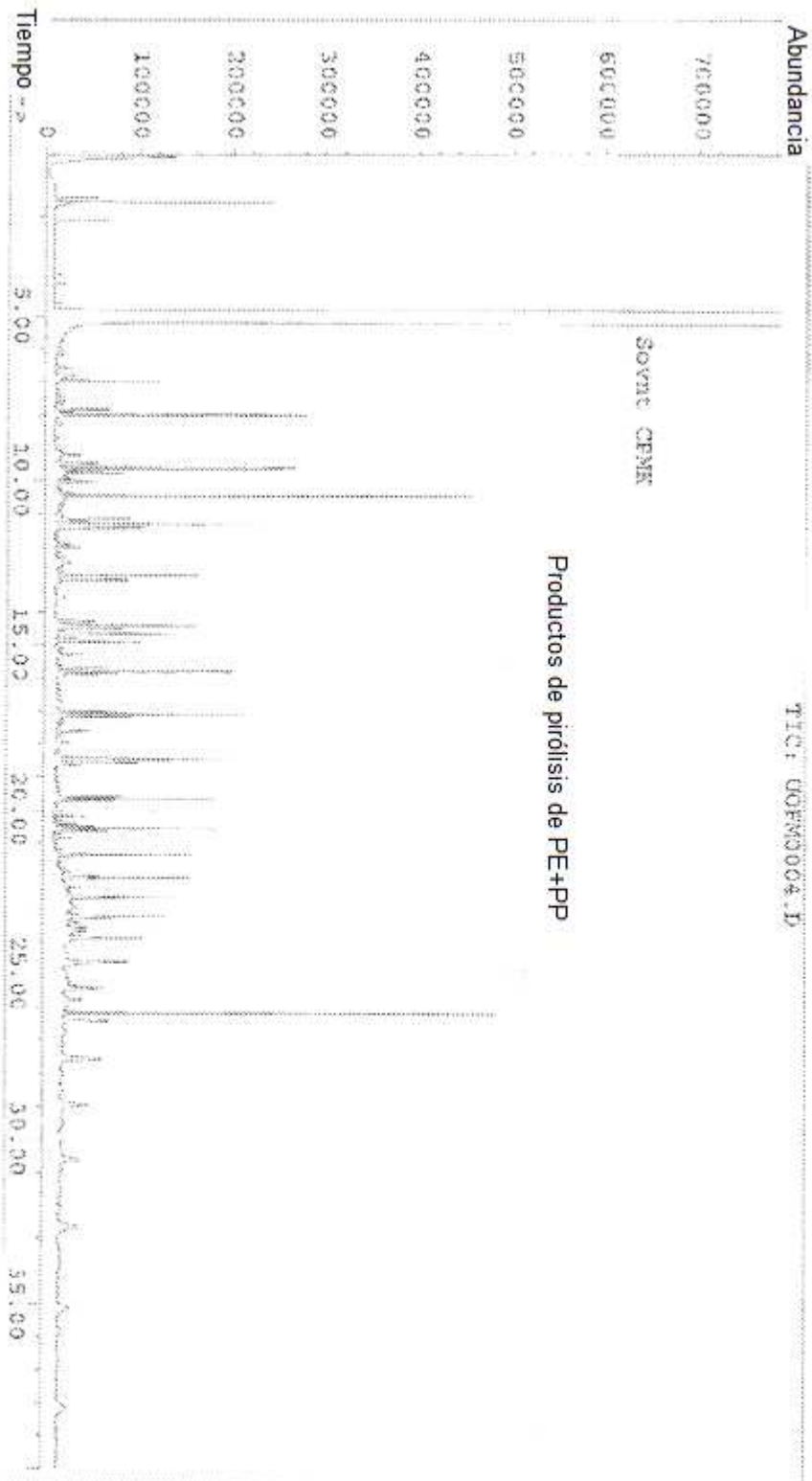


Fig-8

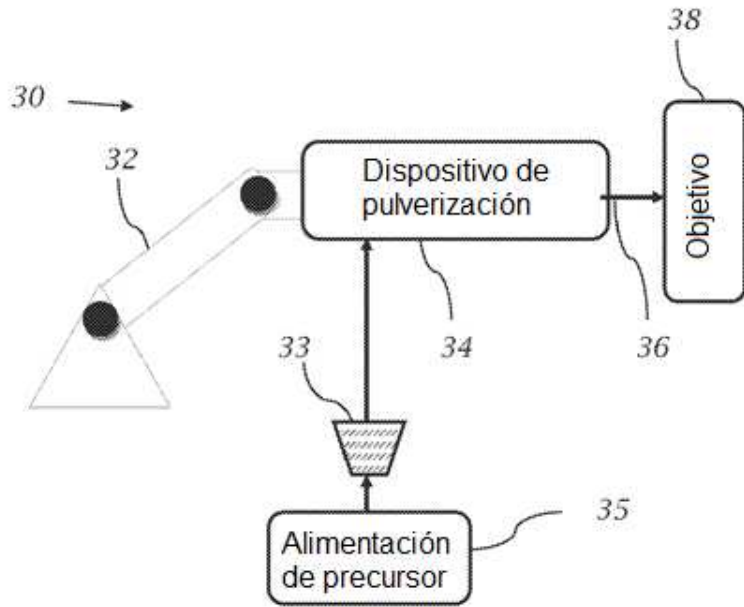


Fig-9A

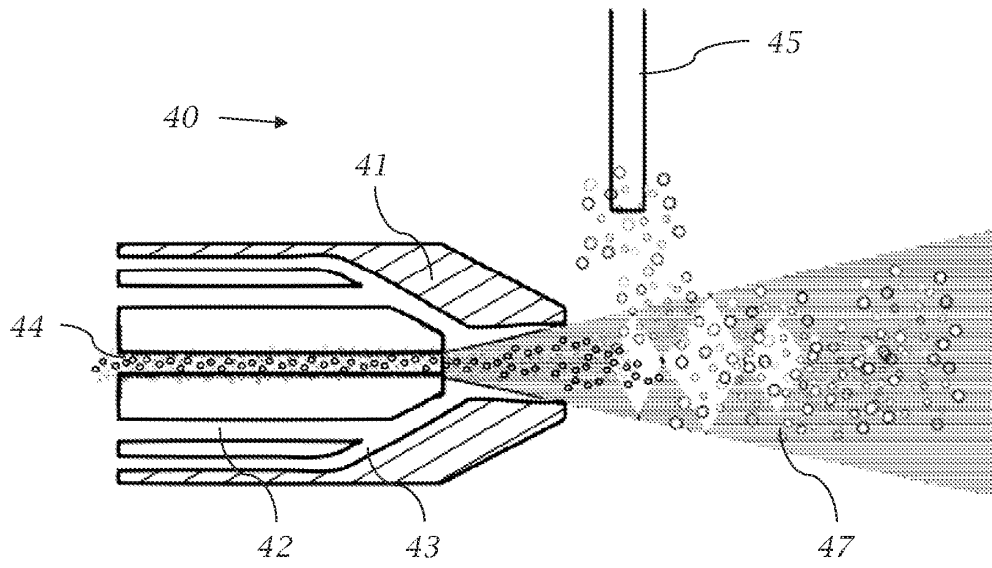


Fig-9B

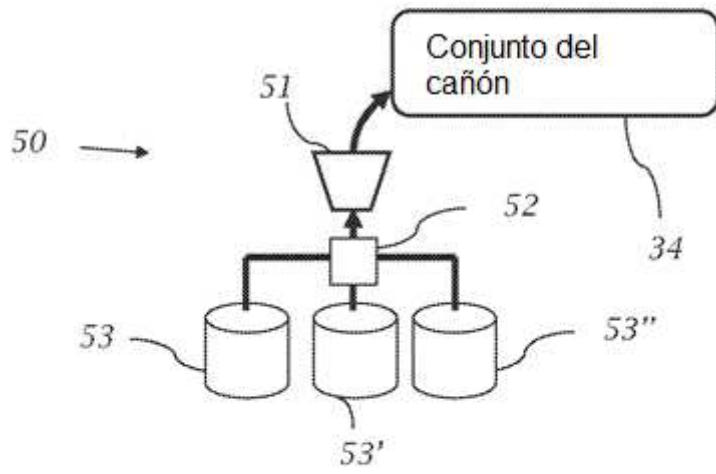


Fig-9C

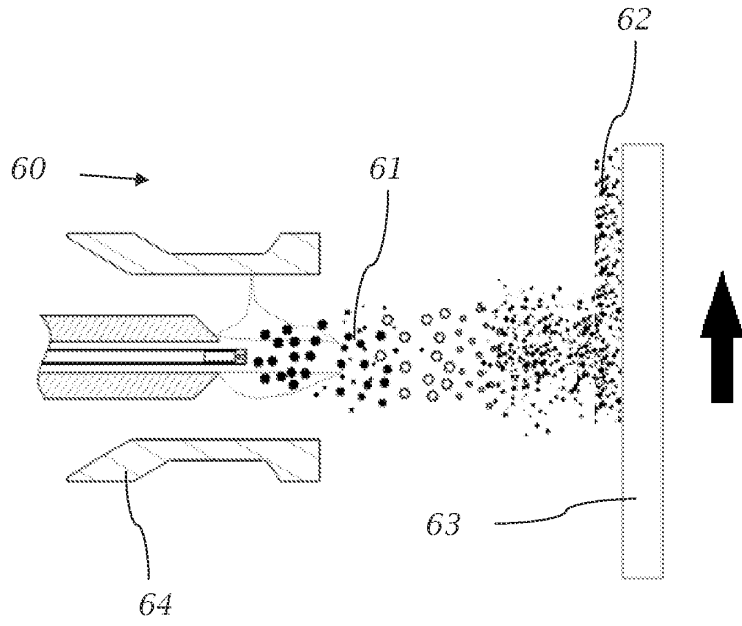


Fig-9D

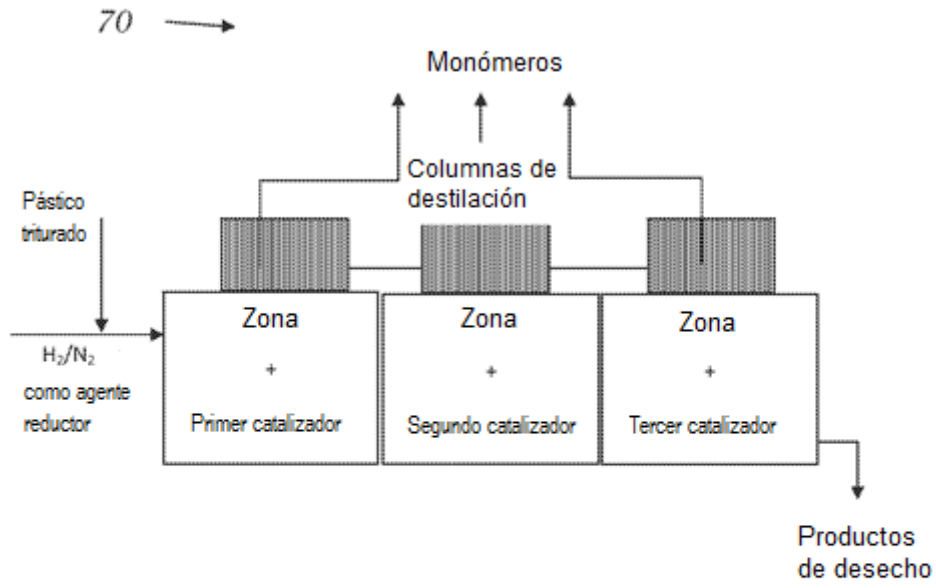


Fig-10A

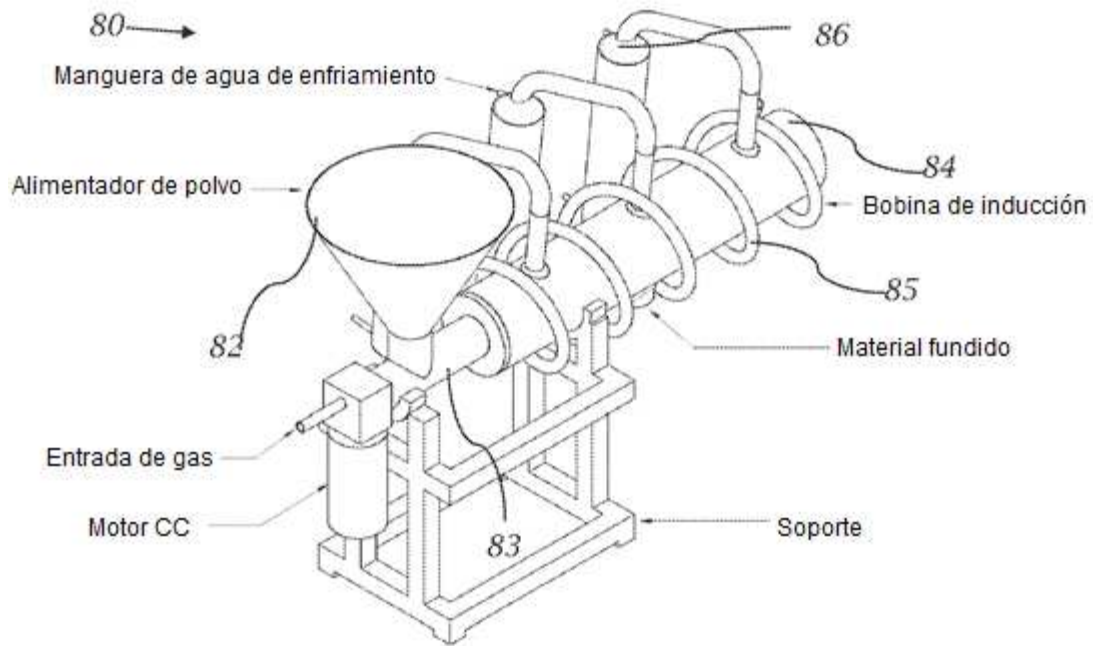


Fig-10B

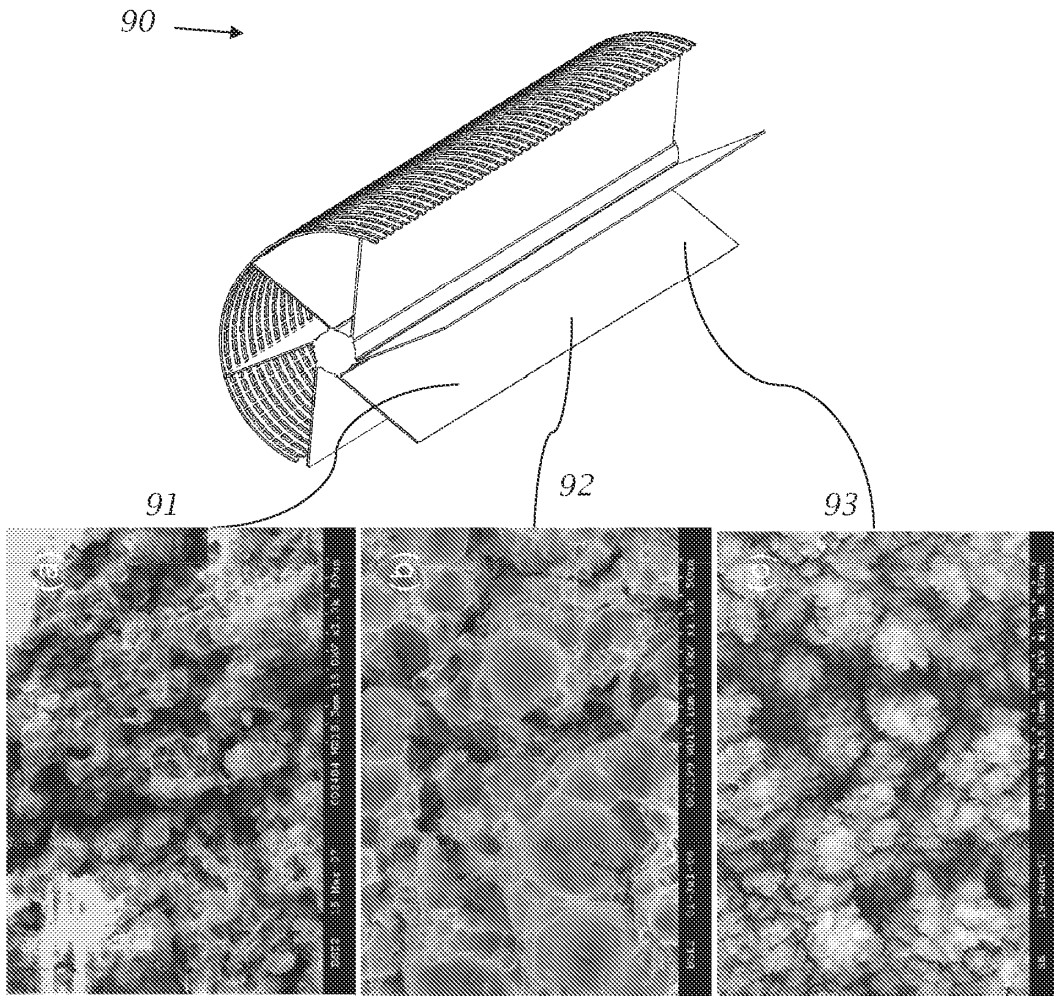


Fig-10C

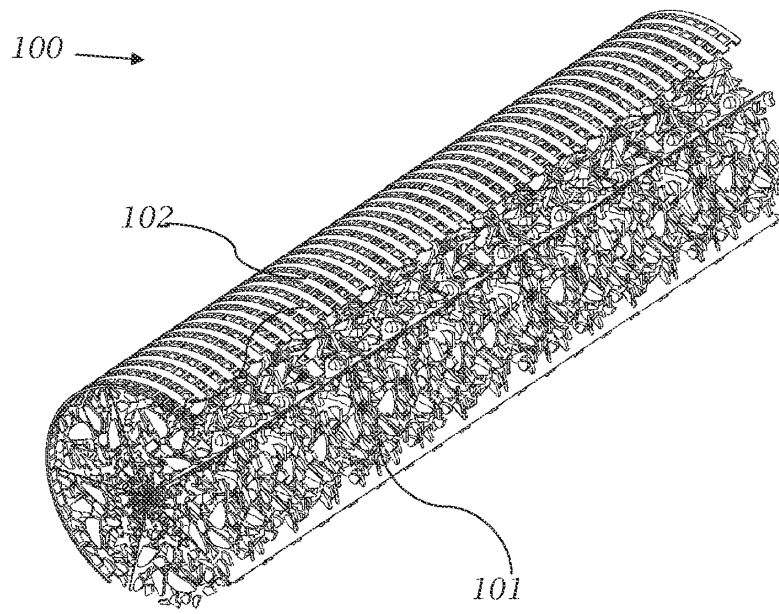


Fig-10D

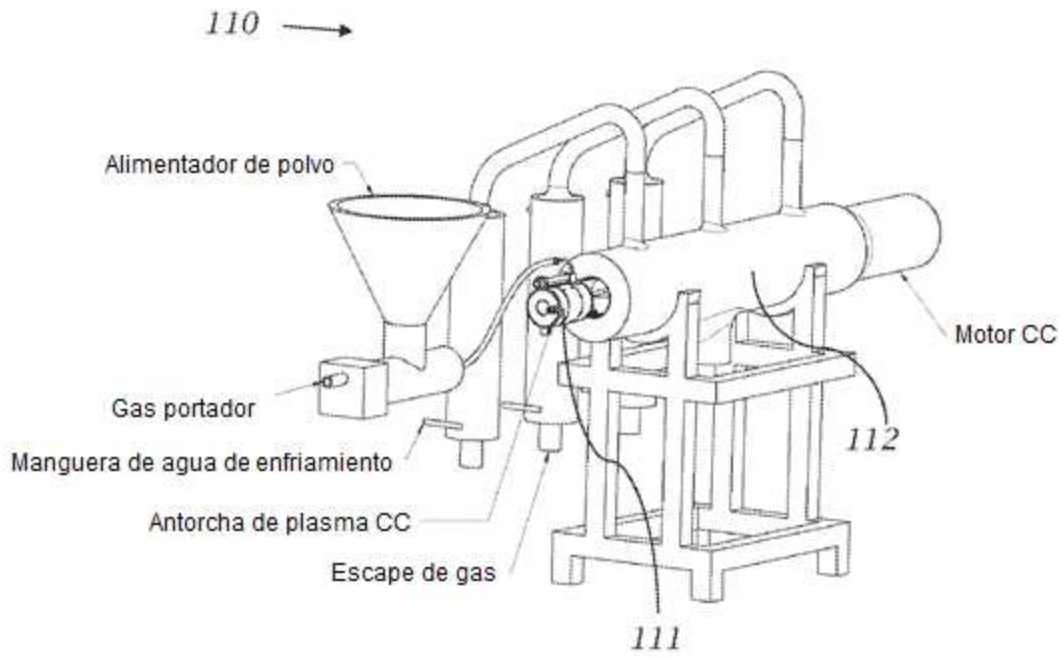


Fig-11