(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 790 377**

(51) Int. CI.:

C08J 11/10 (2006.01)
B01J 19/12 (2006.01)
C08L 67/00 (2006.01)
C08L 77/00 (2006.01)
C07C 51/09 (2006.01)
C07C 63/26 (2006.01)
B01J 19/20 (2006.01)
C25B 15/08 (2006.01)
C25B 1/34 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.07.2012 PCT/IB2012/053867**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **31.01.2013 WO13014650**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.07.2012 E 12759250 (9)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.03.2020 EP 2736968**

(54) Título: **Método y aparato para el reciclaje de materiales poliméricos a través del proceso de despolimerización**

(30) Prioridad:

27.07.2011 IT MI20111411

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.10.2020

(73) Titular/es:

GR3N SAGL (100.0%)
Via Probello 19
6963 Pregassona - Lugano, CH

(72) Inventor/es:

PARRAVICINI, MATTEO;
CRIPPA, MAURIZIO y
BERTELÈ, MATTEO VITTORIO

(74) Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

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

Método y aparato para el reciclaje de materiales poliméricos a través del proceso de despolimerización

Campo técnico

La presente invención se refiere a un método y a un aparato para el reciclaje de materiales poliméricos, específicamente, poliésteres y poliamidas, a través del proceso de despolimerización.

Antecedentes de la técnica

Tal como se sabe, diferentes materiales poliméricos, ampliamente usados para fabricar diversos productos, pueden recuperarse y reutilizarse al final de la vida laboral del producto, en lugar de enviarse al vertedero.

En particular, algunos materiales poliméricos, por ejemplo, poliésteres y poliamidas, se pueden despolimerizar, es decir, reducirse a la forma de monómeros (u oligómeros), y luego volverse a polimerizar para crear nuevos productos.

En general, estos materiales primero se muelen y se reducen a gránulos, tras lo que se someten a reacciones de despolimerización en condiciones de proceso apropiadas.

Aunque se conocen diferentes reacciones de despolimerización, en particular, de poliésteres y poliamidas, por el momento, no se parece disponer de procesos industriales que sean completamente satisfactorios, sobre todo en términos de simplicidad, rendimiento, eficacia y velocidad de proceso.

Una reacción descrita a nivel experimental o de laboratorio no siempre es adecuada para la explotación industrial en términos concretos; en determinados casos, una reacción dada solo puede explotarse recurriendo a plantas relativamente complicadas y/o costosas y/o mediante procesos que, en su conjunto, no son particularmente ventajosos o, en cualquier caso, que son susceptibles de mejora.

Por ejemplo, se describen reacciones de despolimerización para el PET (tereftalato de polietileno), en términos generales, pero sin detalles operativos que permitan implementarlas ventajosamente a escala industrial, en las siguientes publicaciones.

El artículo "Microwave-assisted depolimerization of Poly(ethylene-terephtalate) PET at atmospheric pressure", publicado en "Advances in Polymer Technology", Vol. 25, n.º 4, pág. 242-246 (2006), propone el uso de una reacción de despolimerización de PET en presencia de alcoholes (pentanol) que no pueden implementarse fácilmente en una planta industrial; la reacción es genéricamente asistida por microondas, pero no se proporcionan detalles sobre una posible planta industrial.

Otra reacción de despolimerización de PET se describe en "Alkali decomposition of Poly(ethylene-terephatalate) with sodium Hydroxide in nonaqueous ethylene glycol: A study on recycling of terephthalic acid and Ethylene glycol", *Journal of Applied Polymer Science*, 1997, Vol.63; n.º 5, 595-601; además, esta publicación no proporciona indicaciones sobre la posible explotación industrial de la reacción.

El documento EP1964877 ("Method of depolymerizing polyester and unsaturated polyester and method of recovering polyester monomer with the depolymerization method") describe una reacción de despolimerización para poliésteres basada en una hidrólisis básica, asistida por microondas; no se describen detalles de construcción de una planta industrial o parámetros operativos de un proceso industrial.

El documento EP2176327 ("Method for the chemical depolymerization of waste polyethylene terepthalate") describe un proceso en dos etapas (fusión con catalizadores que activan la reacción y posterior despolimerización) que requiere el uso de catalizadores.

El artículo "Rapid microwave induced depolymerization of polyamide-6", *Polymer* 41 (2000), 4361-4365 describe una reacción de despolimerización basada en una mezcla de agua/H_3PO_4 que implica una reacción incompleta, con la presencia de oligómeros.

Divulgación de la invención

Es un objeto de la presente invención proporcionar un aparato y un método para el reciclaje de poliésteres y poliamidas mediante la despolimerización que esté libre de los inconvenientes de la técnica conocida que se señalan en el presente documento; en particular, es un objeto de la invención proporcionar un aparato y un método que permitan la recuperación de dichos materiales a escala industrial de una manera simple, de manera eficaz y económica.

De acuerdo con dichos objetos, la presente invención se refiere a un método y a un aparato para el reciclaje de materiales poliméricos, específicamente, poliésteres y poliamidas, mediante la despolimerización como se define en términos esenciales en las reivindicaciones 1 y 8 adjuntas, respectivamente, y para las características adicionales preferidas, en las reivindicaciones dependientes.

El método y el aparato de acuerdo con la invención permiten la recuperación eficaz de los monómeros que constituyen los polímeros tratados (poliésteres y poliamidas) y la reintroducción de los polímeros correspondientes en el ciclo de producción, también a escala industrial, de manera simple, eficaz y económica.

Se usa un reactor de despolimerización por microondas que funciona de manera continua, que tiene una determinada configuración que permite un rendimiento óptimo de las reacciones de despolimerización.

Otras ventajas de la invención son las siguientes:

- el reactor funciona de manera continua, eliminando consecuentemente el tiempo muerto típico de los procesos discontinuos;
- la división del aparato en dos unidades funcionales permite la creación de un sistema global versátil, pues la primera unidad permite la despolimerización de diferentes polímeros, con la misma configuración general; la segunda unidad puede modificarse de acuerdo con el material tratado;
- el método de la invención es esencialmente auto-consistente en términos de los reactivos usados, para que no haya residuos de reacción aparte de los contaminantes poliméricos;
- el método no requiere la fusión de los polímeros que se van a reciclar antes de la despolimerización;
- la reacción de despolimerización realizada mediante microondas, gracias a la eficacia de la reacción, permite la reducción de los costes energéticos con respecto al mismo proceso realizado a través de otros métodos, por ejemplo, mediante glucólisis, transesterificación básica/ácida o metanolisis, usando el calentamiento tradicional.

Breve descripción de los dibujos

Otras características y ventajas de la presente invención aparecerán claras a partir de la descripción de los siguientes ejemplos de implementación no limitantes, haciendo referencia a las figuras adjuntas, en las que:

- la Figura 1 es el diagrama de un aparato para el reciclaje de materiales poliméricos por medio de la despolimerización de acuerdo con la invención;
- la Figura 2 es una vista esquemática de una parte del aparato de la Figura 1, en particular, de un reactor de despolimerización con un sistema de movimiento de reactivos asociado;
- la Figura 3 muestra esquemáticamente una posible configuración de una pluralidad de reactores de despolimerización del tipo mostrado en la Figura 2;
- las Figuras 4-6 muestran esquemáticamente un detalle del reactor de la Figura 2, en particular, una válvula dosificadora, en diferentes posiciones operativas.

Mejor modo de llevar a cabo la invención

En la Figura 1, el número 1 indica, en su conjunto, un aparato industrial que funciona de manera continua para el reciclaje de materiales poliméricos, en particular, de poliésteres (y, específicamente, de tereftalato de polietileno y sus isómeros, PET) o poliamidas (nylon 6, nylon 6,6), mediante despolimerización.

El aparato 1 comprende dos unidades funcionales 2, 3: una unidad de despolimerización 2 y una unidad de tratamiento 3.

La unidad de despolimerización 2 comprende una unidad de molienda 4 para el tratamiento mecánico preliminar de los materiales que se van a reciclar, una unidad de mezcla 5, en la que se prepara una mezcla solvolítica, al menos un reactor de despolimerización por microondas 6 dotado de un sistema 7 para el movimiento de los reactivos que permite que el reactor 6 funcione de manera continua, y una unidad de filtración 8 que actúa sobre los productos de reacción que salen del reactor 6.

En la unidad de molienda 4, los materiales que se van a tratar, por ejemplo, materiales de desecho poliméricos, puros o junto con otros materiales que no pueden separarse de ellos por acción mecánica, se someten a un tratamiento de molienda mecánica que reduce el material en gránulos, para aumentar la superficie específica del material y, por lo tanto, la superficie de contacto con la mezcla solvolítica.

En general, los materiales tratados por el aparato 1 son PET u otros poliésteres, o poliamidas, o materiales compuestos que contienen dichos polímeros. En la siguiente descripción se hará particular referencia, a modo de ejemplo, al tratamiento del PET o de compuestos que contienen PET.

La mezcla solvolítica se prepara en la unidad de mezcla 5; si el material que se va a reciclar es PET u otro poliéster, o también poliamida, la mezcla solvolítica consiste, por ejemplo, en un hidróxido alcalino, tal como NaOH, KOH, LiOH, en etilenglicol (EG).

El material molido procedente de la unidad de molienda 4, que constituye una fase sólida, y la mezcla solvolítica preparada en la unidad de mezcla 5, que constituye una fase líquida, se suministran, a través de las respectivas líneas de alimentación 9, 10, al reactor 6, donde se mezclan para formar una mezcla de reacción heterogénea, y se dejan reaccionar.

Tal y como se ilustra en la Figura 2, el reactor 6 comprende una carcasa tubular 14, que define internamente una cámara de reacción 15 y se encuentra alojada dentro de una cámara de microondas 16 dotada de un dispositivo generador de microondas.

La carcasa 14 se extiende esencialmente a lo largo y alrededor de un eje rectilíneo A (por ejemplo, pero no necesariamente, esencialmente horizontal) entre dos extremos axiales opuestos 18, 19 y tiene una pared lateral 20, por ejemplo, esencialmente cilíndrica con sección transversal circular, transparente a la radiación de microondas y que delimita la cámara de reacción 15.

Por ejemplo, la pared lateral 20 está hecha de PTFE o cerámica transparente a la radiación de microondas, o vidrio cubierto internamente por un recubrimiento anticorrosivo transparente a la radiación de microondas. Dicho recubrimiento anticorrosivo se puede producir, por ejemplo, con óxidos, nitruros, carburos o siliciuros de metales, metales de transición, lantánidos, actínidos, además de compuestos mixtos; meramente a modo de ejemplo, se pueden usar lo siguiente: $TiSi_2$, TiO_2, ZrC, ZrO_2, ZrSi2, ZrN, Y_2O_3, SiC, BN.

La cámara de microondas 16 está dispuesta coaxial y radialmente exterior a y alrededor de la carcasa 14, para rodear la cámara de reacción 15.

Las microondas con frecuencia de entre 300 MHz y 300 GHz y densidad de potencia de entre 1 W/l y 1.000 W/l se envían a la cámara de microondas 16 a través del dispositivo 17.

El sistema de movimiento 7 es un sistema de tornillo de Arquímedes que mueve la mezcla de reacción (formada por material que se va a despolimerizar y mezcla solvolítica) esencialmente a lo largo del eje A (y en espiral alrededor del eje A) a través del reactor 6 en una dirección predeterminada de movimiento hacia adelante (en el ejemplo, del extremo 18 al extremo 19).

En particular, el sistema 7 comprende un conducto de alimentación tubular 21, coaxial y esencialmente alineado con la carcasa 14 a lo largo del eje A, y un tornillo sin fin 22 alojado dentro del conducto 21 y de la carcasa 14.

El conducto 21, delimitado por una pared lateral esencialmente cilíndrica 23 con sección circular, está dispuesto aguas arriba de la carcasa 14 en la dirección del movimiento hacia delante de la mezcla de reacción y se extiende a lo largo del eje A entre dos extremos longitudinales opuestos 24, 25.

El extremo 24 está dotado de dos entradas separadas 26, 27 para la fase sólida (material polimérico en gránulos) y la fase líquida (mezcla solvolítica), fluyendo ambas hacia el conducto 21 y mezclándose entre sí para formar la mezcla de reacción; estando el extremo opuesto 25 conectado al extremo 18 de la carcasa 14 y comunicado con la cámara de reacción 15. En la Figura 2, la entrada 26 para la fase sólida se sitúa aguas arriba (antes) de la entrada 27 para la fase líquida a lo largo del conducto 21, pero la posición de las entradas 26, 27 y, por lo tanto, el orden de suministro de las dos fases dentro del conducto 21 puede invertirse con respecto al ejemplo ilustrativo.

Preferentemente, las paredes laterales 20, 23 del conducto 21 y la carcasa 14 están alineadas y tienen las respectivas superficies laterales interiores que son continuas y están al ras entre sí.

El sistema de movimiento 7 también comprende un conducto de descarga tubular 28, coaxial y esencialmente alineado con la carcasa 14 a lo largo del eje A y dispuesto aguas abajo de la carcasa 14 en la dirección del movimiento hacia adelante.

También el conducto 28 se extiende a lo largo del eje A entre dos extremos longitudinales opuestos 29, 30: el extremo 29 está conectado al extremo 19 de la carcasa 14 y se comunica con la cámara de reacción 15, mientras que el extremo opuesto 30 está dotado de una salida 31, a través de la que se descargan los productos de reacción y los materiales no reaccionados desde el reactor 6.

Ventajosamente, también el conducto de descarga 28 está delimitado por una pared lateral esencialmente cilíndrica 32 con sección circular, alineada con la pared lateral 20 de la carcasa 14 y que tiene una superficie lateral interior al ras de la superficie lateral interior de la carcasa 14.

El conducto de alimentación 21, la carcasa 14 y el conducto de descarga 28 constituyen un canal continuo 33 del que la cámara de reacción 15 constituye una parte intermedia.

El tornillo sin fin 22 se extiende a lo largo del eje A y gira alrededor del eje A, accionado por un motor (conocido y no ilustrado). El tornillo sin fin 22 se extiende esencialmente a lo largo de todo el canal 33 y, por lo tanto, a través del conducto de alimentación 21, la carcasa 14 y el conducto de descarga 28.

El tornillo sin fin 22 está hecho preferentemente de un material metálico y puede estar recubierto de un material con baja permitividad dieléctrica, por ejemplo, PTFE o un material cerámico.

La velocidad de rotación del tornillo sin fin 22 se establece de acuerdo con la cantidad y las dimensiones del material que se vaya a despolimerizar, la longitud de la cámara de reacción 15 y la cámara de microondas 16, la concentración y naturaleza de la mezcla solvolítica, el tiempo de contacto requerido entre los reactivos y las microondas, y el diámetro del reactor 6.

La reacción de despolimerización tiene lugar en la cámara de reacción 15 por medio de la mezcla solvolítica ya descrita y potenciada/asistida por las microondas.

En el caso del PET, por ejemplo, la reacción con la mezcla solvolítica de NaOH (o KOH u otro hidróxido alcalino) en etilenglicol produce una solución de ácido tereftálico (TA) y/o sus sales (por ejemplo, sal sódica o potásica) en etilenglicol.

Ventajosamente, la temperatura de reacción está entre aproximadamente 150 y aproximadamente 350 ºC y la presión entre aproximadamente 101,325 kPa (1 atm) y aproximadamente 2026,5 kPa (20 atm).

También se puede usar la misma mezcla solvolítica descrita para el PET para la despolimerización de la poliamida, realizada en condiciones análogas; como alternativa, para la poliamida, la reacción se lleva a cabo en condiciones ácidas, usando una mezcla solvolítica ácida formada, por ejemplo, a partir de ácidos minerales tales como H_3PO_4, HCl, H_2SO_4, en agua, mono y/o polihidroxialcoholes, etilenglicol.

De acuerdo con una realización preferida de la invención (pero no necesariamente), el aparato 1 comprende una pluralidad de reactores 6 del tipo que se acaba de describir, funcionando en paralelo. Por ejemplo, como se ilustra esquemáticamente en la Figura 3, los reactores 6 están dispuestos radialmente alrededor de un cabezal común 36; en particular, los reactores 6 se extienden a lo largo de los respectivos ejes A que se alejan radialmente del cabezal 36, espaciados en un ángulo entre sí.

El cabezal 36 recoge los materiales no reaccionados y los productos de reacción procedentes de los distintos reactores 6 para transportarlos a la unidad de filtración 8 y luego a la unidad de tratamiento posterior 3.

Haciendo de nuevo referencia a la Figura 1, la salida 31 del reactor 6 está conectada, a través de una línea de salida 37, a la unidad de filtración 8, configurada para separar los productos de reacción (en general, monómeros y cualquier oligómero) que se vayan a recuperar, que se envían a la unidad de tratamiento 3, de los materiales no reaccionados.

La unidad de tratamiento 3 se sitúa aguas arriba del reactor 6 y la unidad de filtración 8, y sirve para realizar operaciones de recuperación y purificación, y cualquier reconversión de los productos y subproductos de reacción, como, por ejemplo, filtración, precipitación, neutralización, centrifugación, diálisis, destilación, electrolisis y reacciones fotoquímicas.

Por ejemplo, en la realización de la Figura 1, la unidad de tratamiento 3 comprende: una unidad de destilación 38, una unidad de precipitación 39, una unidad de filtración y/o centrifugación 40, una unidad de lavado 41, una unidad de secado 42, una unidad de neutralización 43 y una unidad de electrolisis 44.

La unidad de destilación 38 recibe los productos de reacción procedentes de la unidad de filtración 8 (que comprende principalmente una solución de ácido tereftálico y/o sus sales en etilenglicol) y produce etilenglicol, una solución de ácido tereftálico y/o sales relativas, y productos de desecho; la unidad de filtración 8 está conectada por medio de una línea de recirculación 45 a la unidad de mezcla 5, para reutilizar, al menos parcialmente, el etilenglicol como disolvente en la mezcla solvolítica.

La unidad de precipitación 39 recibe una solución que contiene ácido tereftálico que se va a recuperar, obtenido de la unidad de destilación 38, a la que se añade agua. La solución se trata en la unidad de precipitación 39 con ácidos minerales (por ejemplo, HCl) hasta alcanzar un pH de aproximadamente 2-3, obteniéndose así la precipitación del ácido tereftálico; se elimina el ácido tereftálico, en la unidad de filtración y/o centrifugación 40, de la solución acuosa ácida, y luego se envía a la unidad de lavado 41 y a la unidad de secado 42. El ácido tereftálico se obtiene con un nivel de pureza suficiente para experimentar una nueva reacción de polimerización.

La solución acuosa de ácido resultante de la eliminación del ácido tereftálico se neutraliza en la unidad de neutralización 43, por ejemplo, con bases alcalinas tales como NaOH o KOH, hasta un pH neutro; las sales resultantes, NaCl o KCl, se usan en la unidad de electrolisis 44 para un proceso cloroalcalino electrolítico.

En la salida de la unidad de electrolisis 44, se obtienen NaOH o KOH y, por separado, cloro e hidrógeno; se envían NaOH o KOH, a través de las respectivas líneas de recirculación 46, 47, en parte a la unidad de mezcla 5, para su reutilización para la preparación de la mezcla solvolítica, y en parte, para la unidad de neutralización 43; el cloro y el hidrógeno se recogen en una cámara de reacción 48 donde forman HCl que se recircula, por medio de una línea de recirculación 49, a la unidad de precipitación 39 para su reutilización en la reacción de precipitación del ácido tereftálico a partir de la sal correspondiente.

Las mismas operaciones se realizan esencialmente también en el caso del tratamiento de poliamidas.

De acuerdo con un aspecto de la invención, el reactor 6 está dotado de dos válvulas de medición 51 (solo indicadas esquemáticamente en la Figura 2), ubicadas aguas arriba y aguas abajo respectivamente de la cámara de reacción 15, en la entrada 26 y en la salida 31. Las válvulas 51 permiten el paso de material desde el exterior hacia el interior del reactor 6 (válvula de entrada 51, situada en la entrada 26) y viceversa desde el interior hacia el exterior del reactor 6 (válvula de salida 51, ubicada en la salida 31). Las válvulas 51 están configuradas para transferir material desde el exterior al reactor 6 o desde el reactor 6 al exterior sin que los dos medios (interior y exterior) estén nunca en comunicación directa y, por lo tanto, garantizando que la cámara de reacción 15 permanezca a una presión controlada.

En particular, como se muestra en detalle en las Figuras 4-6, cada válvula 51 comprende un cuerpo de válvula giratorio 52, que tiene, por ejemplo, una forma esencialmente cilíndrica o esférica y que gira alrededor de un eje de rotación dentro de un asiento 53, formado en una carcasa fija 54 y delimitado por una pared 55.

El cuerpo de válvula 52 presenta dos cavidades 56 opuestas, divididas por una partición 57 y que tienen respectivas aberturas de acceso 58 diametralmente opuestas formadas en la pared 55, y un pistón móvil 60, por ejemplo, dispuesto a través de la partición 57 y que se desliza a lo largo de un eje perpendicular al eje de rotación y se controla desde el exterior conforme a la posición; el pistón 60 tiene dos cabezales 61 axialmente opuestos, alojados en las respectivas cavidades 56; cada cabezal 61 está conformado para cerrar una respectiva abertura 58 y, por lo tanto, una cavidad 56, y se mueve entre una posición retraída, en la que el cabezas 61 se sitúa en el fondo de la cavidad 56, y una posición extendida, en la que el cabezal 61 ocupa la cavidad 56 y cierra la abertura 58; cuando un cabezal 61 está en la posición extendida, el cabezal opuesto 61 está en la posición retraída y viceversa. Cada cavidad 56 se llena alternativamente del material que se va a transferir (dentro o fuera del reactor 6), cuando el respectivo cabezal 61 del pistón móvil 60 está en la posición retraída, y con el mismo cabezal 60 que se lleva a la posición extendida. Durante la rotación del cuerpo de válvula 52 en el asiento 53, el cuerpo de válvula 52 y el cabezal 60 que está en la posición extendida están esencialmente en contacto con la pared 55 y se deslizan contra la pared 55.

REIVINDICACIONES

1. Un método para el reciclaje de poliésteres y/o poliamidas a través del proceso de despolimerización, que comprende una reacción de despolimerización del material que se va a tratar con una mezcla solvolítica; estando el método **caracterizado por que** la reacción de despolimerización comprende las etapas de: proporcionar un reactor de despolimerización por microondas (6) que se extiende esencialmente a lo largo de un eje (A); suministrar el material que se va a tratar y la mezcla solvolítica, definiendo los reactivos de la reacción de despolimerización, y constituyendo una fase sólida y una fase líquida respectivamente, al reactor (6) a través de las respectivas líneas de alimentación (9, 10); mover los reactivos de la reacción de despolimerización por el reactor (6) a través de un sistema de movimiento de tornillo de Arquímedes (7) que mueve los reactivos esencialmente a lo largo del eje (A) y mezcla los reactivos entre sí para formar una mezcla de reacción heterogénea; irradiar los reactivos, mientras pasan a través de una cámara de reacción (15) del reactor (6), con radiación de microondas para llevar a cabo la reacción de despolimerización; estando definida la cámara de reacción (15) dentro de una carcasa tubular (14) del reactor (6) que tiene una pared lateral (20) transparente a la radiación de microondas y que está alojada dentro de una cámara de microondas (16), que está dispuesta coaxial y radialmente exterior a y alrededor de la carcasa (14) para rodear la cámara de reacción (15); siendo los reactivos movidos por medio de un tornillo sin fin (22) que se extiende a lo largo del eje (A) a través de la cámara de reacción (15) y que gira alrededor del eje (A).

2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el tornillo sin fin (22) está hecho de material metálico y está recubierto con un material de baja permitividad dieléctrica, o PTFE o material cerámico.

3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde la pared lateral (20) de la carcasa (14) está hecha de PTFE, o material cerámico transparente a la radiación de microondas, o vidrio recubierto internamente por un recubrimiento anticorrosivo transparente a la radiación de microondas.

4. Un método de acuerdo con la reivindicación 3, en donde el recubrimiento anticorrosivo está hecho de óxidos, nitruros, carburos o siliciuros de metales, metales de transición, lantánidos, actínidos o compuestos mixtos de los mismos.

5. Un método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en donde la mezcla solvolítica comprende etilenglicol y al menos un hidróxido alcalino, por ejemplo, NaOH, KOH, LiOH.

6. Un método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, que comprende un proceso cloroalcalino electrolítico para recuperar sosa cáustica o potasa cáustica.

7. Un método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, que comprende las etapas de suministrar al reactor (6) el material polimérico que se va a tratar y retirar del reactor (6) los productos de reacción y los materiales no reaccionados, por medio de las respectivas válvulas dosificadoras (5) para transferir material desde el exterior al reactor (6) y desde el reactor (6) al exterior sin que el interior y el exterior del reactor (6) estén en comunicación directa.

8. Un aparato (1) para el reciclaje de poliésteres y/o poliamidas a través del proceso de despolimerización, que comprende una unidad de despolimerización (2) que tiene al menos un reactor de despolimerización (6), en el que se produce una reacción de despolimerización del material que se va a tratar con una mezcla solvolítica, y una unidad de tratamiento (3) para tratar productos que salen de la unidad de despolimerización (2); comprendiendo el aparato las respectivas líneas de alimentación (9, 10) conectadas al reactor (6) para suministrar al reactor (6) el material que se va a tratar y la mezcla solvolítica, definir los reactivos de la reacción de despolimerización, y constituir una fase sólida y una fase líquida respectivamente; estando el aparato (1) **caracterizado por que** el reactor (6) es un reactor de despolimerización por microondas que se extiende esencialmente a lo largo de un eje (A) y que está dotado de un sistema móvil (7) de los reactivos que permite que el reactor (6) funcione de manera continua; siendo el sistema móvil (7) un sistema de tornillo de Arquímedes que mueve los reactivos esencialmente a lo largo del eje (A) a través del reactor (6) y que mezcla los reactivos para formar una mezcla de reacción heterogénea; comprendiendo el reactor (6) una carcasa tubular (14), que se extiende a lo largo y alrededor del eje (A) y que tiene una pared lateral (20) transparente a la radiación de microondas y que define internamente una cámara de reacción (15); estando la carcasa (14) alojada dentro de una cámara de microondas (16) que está dispuesta coaxial y radialmente exterior a y alrededor de la carcasa (14), para rodear la cámara de reacción (15), y que está dotada de un dispositivo generador de microondas (17); comprendiendo el sistema móvil (7) un conducto de suministro tubular (21), coaxial y esencialmente alineado con la carcasa (14) a lo largo del eje (A), y un tornillo sin fin (22) que se extiende a lo largo del eje (A) dentro del conducto de suministro (21) y la carcasa (14), y que gira alrededor del eje (A).

9. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 8, en donde el tornillo sin fin (22) está hecho de material metálico y está recubierto con un material de baja permitividad dieléctrica, o PTFE o material cerámico.

10. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 8 o 9, en donde la pared lateral (20) de la carcasa (14) está hecha de PTFE, o material cerámico transparente a la radiación de microondas, o vidrio recubierto internamente por un

recubrimiento anticorrosivo transparente a la radiación de microondas.

11. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 10, en donde el recubrimiento anticorrosivo está hecho de óxidos, nitruros, carburos o siliciuros de metales, metales de transición, lantánidos, actínidos o compuestos mixtos de los mismos.

12. Un aparato de acuerdo con una de las reivindicaciones 8 a 11, en donde la mezcla solvolítica comprende etilenglicol y al menos un hidróxido alcalino, por ejemplo, NaOH, KOH, LiOH.

13. Un aparato de acuerdo con una de las reivindicaciones 8 a 12, y que comprende una pluralidad de reactores (6) que funcionan en paralelo y que están dispuestos radialmente alrededor de un cabezal común (36).

14. Un aparato de acuerdo con una de las reivindicaciones 8 a 13, en donde la unidad de tratamiento (3) comprende una unidad de electrolisis (44) para realizar un proceso cloroalcalino electrolítico para recuperar sosa cáustica o potasa cáustica.

15. Aparato de acuerdo con una de las reivindicaciones 8 a 14, que comprende dos válvulas dosificadoras (51), situadas aguas arriba y aguas abajo de la cámara de reacción (15) y configuradas para transferir material desde el exterior al reactor (6) o desde el reactor (6) al exterior, sin que el interior y el exterior del reactor (6) estén en comunicación directa.

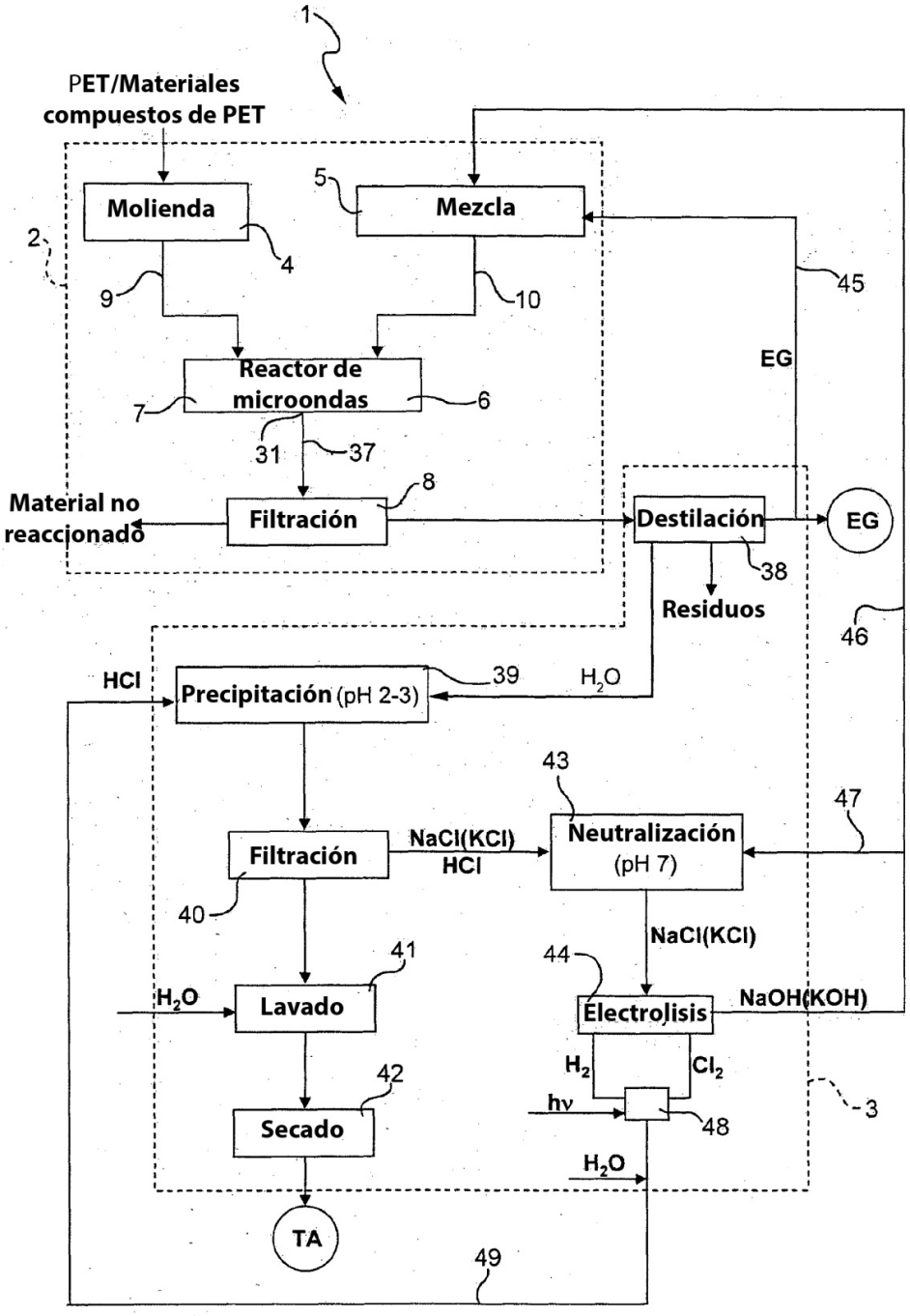
1
PET/Materiales compuestos de PET
Molienda
4
2
5
Mezcla
45
9
10
EG
Reactor de microondas
7
6
31
37
8
Material no reaccionado
Filtración
Destilación
EG
38
Residuos
46
HCl
Precipitación (pH 2-3)
39
H_2O
43
47
Filtración
NaCl(KCl)
HCl
Neutralización (pH 7)
40
NaCl(KCl)
41
44
H_2O
Lavado
Electrolisis
NaOH(KOH)
H_2
Cl_2
42
hν
48
3
Secado
H_2O
TA
49

FIG. 1

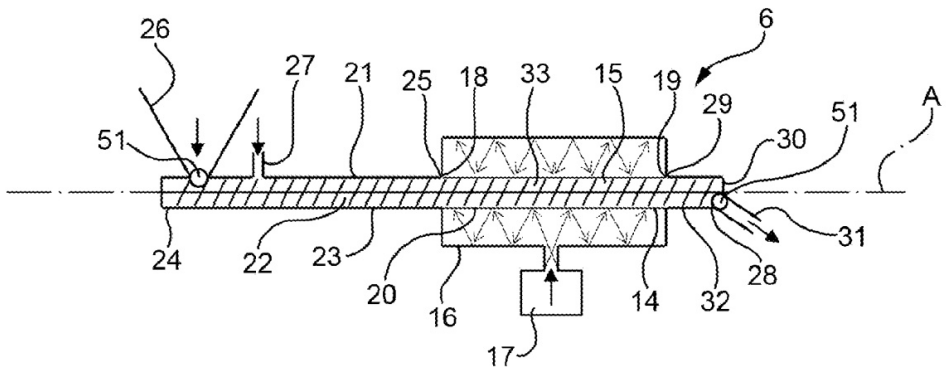
26
27
21
25
18
33
15
19
6
29
51
A
51
30
31
24
22
23
20
16
14
32
28
17

FIG. 2

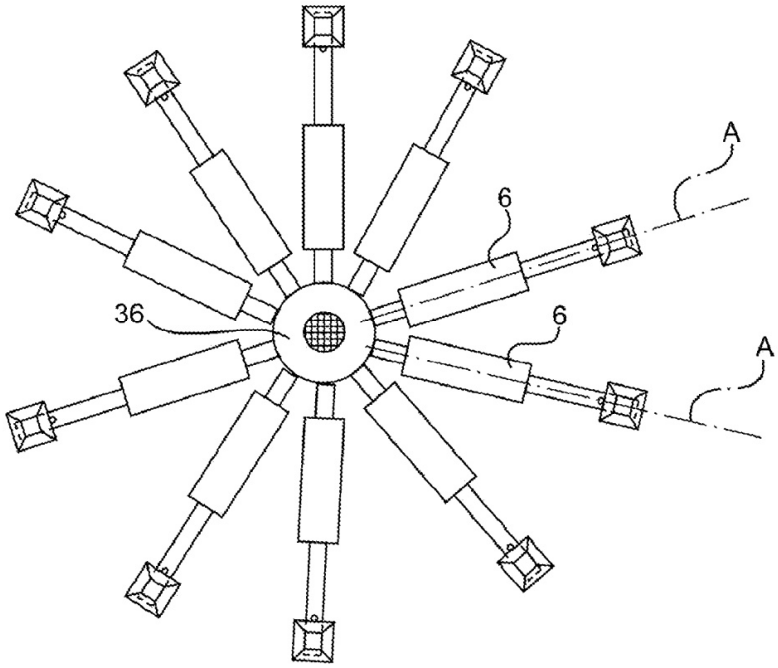
A
6
36
6
A

FIG. 3

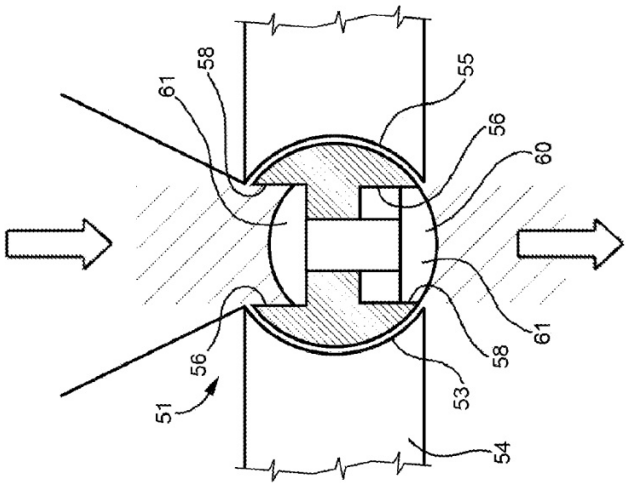

FIG. 6

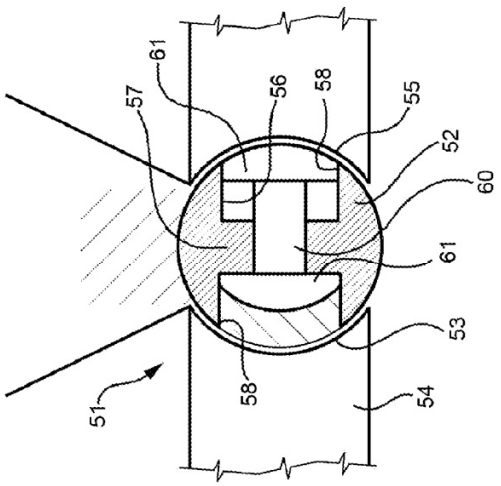

FIG. 5

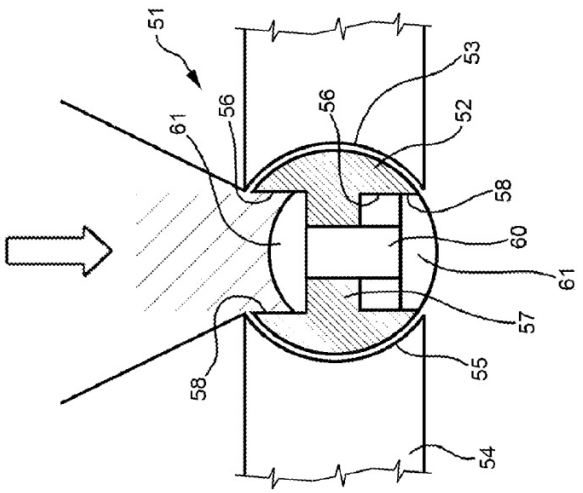

FIG. 4