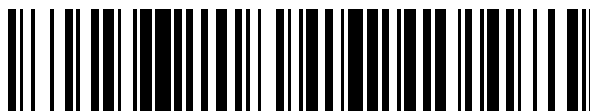


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 873 153**

51 Int. Cl.:

C07C 51/09 (2006.01)

C07C 63/26 (2006.01)

C07C 29/09 (2006.01)

C07C 31/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.07.2016 PCT/US2016/041392**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.01.2017 WO17007965**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.07.2016 E 16822000 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.03.2021 EP 3320033**

54 Título: **Despolimerización de tereftalato de polietileno**

30 Prioridad:

09.07.2015 US 201514795116

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

03.11.2021

73 Titular/es:

**LOOP INDUSTRIES, INC. (100.0%)
1999 Avenue of the Stars Suite 2520
Los Angeles, California 90067, US**

72 Inventor/es:

ESSADDAM, HATEM

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 873 153 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

Despolimerización de tereftalato de polietileno

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a la despolimerización de polímeros y a la recuperación de los materiales de partida utilizados para la producción de un nuevo polímero. La presente invención también se refiere a la despolimerización de tereftalato de polietileno (PET) y a la recuperación de ácido tereftálico y etilenglicol.

10 Antecedentes de la invención

Los métodos de reciclaje de PET se clasifican en cuatro grupos, en concreto reciclajes primario, secundario, terciario y cuaternario.

El documento EP 1710226 A1 (11 de octubre de 2006) describe un proceso químico para reciclar desechos de PET, comprendiendo el proceso las etapas de: a) una etapa de reacción de saponificación, en donde las partículas de desecho de PET reaccionan con cantidades estequiométricas o excesivas de un metal de base fuerte en un medio de reacción alcohólico, en donde la reacción se lleva a la temperatura de ebullición del medio de reacción alcohólico, obteniendo así como productos de reacción una sal de ácido tereftálico con metal de base y etilenglicol, incorporándose este último al medio de reacción alcohólico; b) una etapa de separación de dicha sal de ácido tereftálico del medio de reacción alcohólico; c) una etapa de formación de ácido tereftálico, en donde a partir de la sal de ácido tereftálico de la etapa (b) se obtiene ácido tereftálico, haciendo reaccionar dicha sal con un ácido más fuerte que el ácido tereftálico para formar y precipitar este último como cristales; d) una etapa de separación sólido-líquido, en donde el ácido tereftálico precipitado en la etapa (c) se separa del medio donde se cristalizó; y e) una etapa de recuperación de etilenglicol, en donde el etilenglicol y el medio de reacción alcohólico se separan y recuperan del medio de reacción separado en la etapa (b).

Sumario de la invención

La invención se define mediante las reivindicaciones. Cualquier materia objeto que esté fuera del alcance de las reivindicaciones se proporciona con fines de información únicamente. La invención es un proceso para despolimerizar un polímero que comprende una funcionalidad éster en los componentes de alcohol y ácido carboxílico correspondientes para su uso en la producción de nuevos polímeros, que comprende mezclar el polímero con una mezcla de (i) un disolvente apolar para hinchar el polímero, en donde el disolvente apolar es un disolvente halogenado; y (ii) un agente capaz de romper la funcionalidad éster que consiste en una mezcla de un alcohol y un hidróxido; en donde el mezclado continúa durante un tiempo suficiente para despolimerizar al menos una parte del polímero en los componentes de alcohol y ácido carboxílico correspondientes; y en donde el proceso se realiza sin aplicar calor externo.

En algunas realizaciones, la mezcla del alcohol y el hidróxido se añade al polímero simultáneamente con el disolvente apolar.

En algunas realizaciones, la relación entre el disolvente apolar y el alcohol es de aproximadamente 1:10 a aproximadamente 1:50 (v:v).

En algunas realizaciones, el polímero se mezcla con el disolvente apolar, el hidróxido y el alcohol durante de aproximadamente 0 h hasta aproximadamente 5 h.

En algunas realizaciones, el polímero se mezcla con el disolvente apolar, el hidróxido y el alcohol a presión atmosférica.

En algunas realizaciones, el alcohol es un alcohol C₁-C₄ lineal.

En algunas realizaciones, el hidróxido se selecciona de un grupo que consiste en un hidróxido de metal alcalino, un hidróxido de metal alcalinotérreo, un hidróxido de amonio y una combinación de los mismos.

En algunas realizaciones, el polímero está en forma de material de desecho.

En algunas realizaciones, el material de desecho comprende además residuos que no incluyen el polímero que comprende la funcionalidad éster.

En algunas realizaciones, los residuos comprenden al menos uno de tapas de botellas, pegamento, papel, líquido residual y suciedad.

En algunas realizaciones, el polímero que comprende la funcionalidad éster es tereftalato de polietileno y los componentes de alcohol y ácido carboxílico correspondientes para la producción del polímero son ácido tereftálico o

una sal del mismo y etilenglicol.

En algunas realizaciones, el ácido tereftálico o la sal del mismo obtenido del proceso de despolimerización contiene menos de aproximadamente 1 % de impurezas (p/p).

5 En algunas realizaciones, la impureza comprende al menos uno de ácido isoftálico, ácido ftálico, ácido 4-metilbenzoico, ácido 4-formilbenzoico y metales.

10 En otro aspecto, es un proceso para despolimerizar polímero que comprende una funcionalidad éster en los componentes de alcohol y ácido carboxílico correspondientes para su uso en la producción de nuevos polímeros, que comprende mezclar el polímero con una mezcla de (i) de aproximadamente 3 a aproximadamente 5 % (vol.) de un disolvente apolar para hinchar el polímero, en donde el disolvente apolar es un disolvente halogenado; (ii) de aproximadamente 95 a aproximadamente 97 % (vol.) de un alcohol C₁-C₄ lineal; y (iii) un hidróxido; en donde el mezclado continúa durante aproximadamente 1 h; y en donde el proceso se realiza sin aplicar calor externo.

15 En algunas realizaciones, el polímero que comprende la funcionalidad éster es tereftalato de polietileno y los materiales de partida para la producción del polímero son ácido tereftálico o una sal del mismo y etilenglicol.

20 En algunas realizaciones, el ácido tereftálico o la sal del mismo obtenido del proceso de despolimerización contiene menos de aproximadamente 1 % de impurezas (p/p).

En algunas realizaciones, la impureza comprende al menos uno de ácido isoftálico, ácido ftálico, ácido 4-metilbenzoico, ácido 4-formilbenzoico y metales.

25 En otro aspecto, es un proceso para despolimerizar tereftalato de polietileno a ácido tereftálico o una sal del mismo y etilenglicol que comprende mezclar tereftalato de polietileno con una mezcla de: (i) de aproximadamente 3 a aproximadamente 5 % (vol.) de un disolvente apolar para hinchar el polímero, en donde el disolvente apolar es un disolvente halogenado; (ii) de aproximadamente 95 a aproximadamente 97 % (vol.) de un alcohol C₁-C₄ lineal; y (iii) un hidróxido; en donde el mezclado continúa durante aproximadamente 1 h; y en donde el proceso se realiza sin aplicar calor externo.

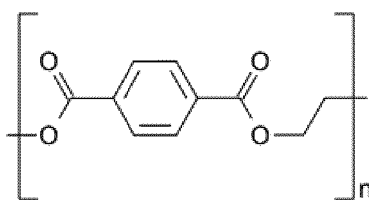
Descripción detallada de la invención

35 La conversión de muchos ésteres en ácidos y alcoholes se lleva a cabo hirviendo el éster en una mezcla de base y alcohol. Sin embargo, la conversión de algunos ésteres es muy difícil al igual que la conversión de poliésteres en sus correspondientes ácidos y glicoles. Los poliésteres normalmente no son solubles en los disolventes que se utilizan para la conversión de ésteres en alcohol y ácido. De igual manera, los poliésteres suelen estar muy cristalizados, limitando aún más su solubilidad y obstaculizando el ataque de los enlaces éster por una base.

40 El tereftalato de polietileno (a veces escrito poli(tereftalato de etileno)), comúnmente abreviado como PET, es la resina de polímero termoplástico más común de la familia del poliéster y se utiliza en fibras para ropa, recipientes para líquidos y alimentos, termoconformado para fabricación y, en combinación con fibra de vidrio, para resinas de ingeniería. También se le conoce con el nombre comercial Mylar®, Decron®, terylene® o Recron®.

45 La mayor parte de la producción mundial de PET es de fibras sintéticas (más del 60 %), y la producción de botellas representa aproximadamente el 30 % de la demanda mundial. El poliéster representa aproximadamente el 18 % de la producción mundial de polímeros y es el tercer polímero más producido; el polietileno (PE) y el polipropileno (PP) son el primero y segundo, respectivamente.

50 El PET consiste en unidades polimerizadas del monómero de tereftalato de etileno, con unidades de repetición (C₁₀H₈O₄) (Fórmula I):



Fórmula I

55 Dependiendo de su procesamiento e historial térmico, el tereftalato de polietileno existe tanto como un polímero amorfo (transparente) como semicristalino. El material semicristalino puede parecer transparente (tamaño de partícula <500 nm) u opaco y blanco (tamaño de partícula de hasta unos pocos micrómetros) dependiendo de su estructura cristalina y tamaño de partícula. Su monómero bis(2-hidroxietil)tereftalato se sintetiza opcionalmente mediante la reacción de esterificación entre ácido tereftálico y etilenglicol con agua como subproducto, o mediante la reacción de

transesterificación entre etilenglicol y tereftalato de dimetilo con metanol como subproducto. La polimerización se realiza mediante una reacción de policondensación de los monómeros (realizada inmediatamente después de la esterificación/transesterificación) con agua como subproducto.

5 Debido a que el PET es un excelente material de barrera contra el agua y la humedad, las botellas de plástico hechas de PET se utilizan ampliamente para refrescos. Para determinadas botellas especiales, tales como las diseñadas para la contención de cerveza, el PET empareda una capa adicional de alcohol polivinílico (PVOH) para reducir aún más su permeabilidad al oxígeno.

10 La película de PET orientada biaxialmente (a menudo conocida por uno de sus nombres comerciales, Mylar®) se puede aluminizar evaporando una fina película de metal sobre él para reducir su permeabilidad y hacerlo reflectante y opaco (MPET). Estas propiedades son útiles en muchas aplicaciones, incluido el envasado flexible de alimentos y el aislamiento térmico. Debido a su alta resistencia mecánica, la película de PET se utiliza a menudo en aplicaciones de cinta, tal como el soporte para cinta magnética o el soporte para cintas adhesivas sensibles a la presión. Se utiliza
15 para la confección del tejido polar.

La lámina de PET no orientada se pueden termoconformar para fabricar bandejas de embalaje y blísteres. Cuando se utiliza PET cristalizable, las bandejas se pueden utilizar para cenas congeladas, ya que soportan temperaturas tanto de congelación como de horneado. A diferencia del PET amorfo, que es transparente, el PET o CPET cristalizable
20 tiende a ser de color negro.

El PET también se utiliza como sustrato en películas finas y células solares.

Reciclaje primario:

25 El reciclaje primario, también conocido como reextrusión, es la forma más antigua de reciclar PET. Se refiere al reciclaje "en planta" de los materiales de chatarra que tienen características similares a los productos originales. Este proceso asegura simplicidad y bajo coste, pero requiere chatarra no contaminada y solo se ocupa de desechos de un solo tipo, convirtiéndolo en una opción impopular para los recicladores.

Reciclaje secundario:

El reciclaje secundario, también conocido como reciclaje mecánico, se comercializó en la década de 1970. Implica la separación del polímero de sus contaminantes y su reprocesamiento en gránulos por medios mecánicos. Las etapas
35 de reciclaje mecánico incluyen la clasificación y separación de desechos, la eliminación de contaminantes, la reducción del tamaño por trituración y molienda, la extrusión por calor y el reformado. Cuanto más complejos y contaminados sean los residuos, más difícil es reciclar mecánicamente. Entre los principales problemas del reciclaje secundario se encuentran la heterogeneidad de los desechos sólidos y la degradación de las propiedades del producto cada vez que se recicla. Dado que las reacciones en la polimerización son todas reversibles en teoría, el empleo de calor da como
40 resultado la fotooxidación y las tensiones mecánicas, provocando el deterioro de las propiedades del producto. Otro problema es el color gris no deseable que es el resultado de los desechos que tienen el mismo tipo de resina, pero de diferente color.

Reciclaje terciario:

45 El reciclaje terciario, más comúnmente conocido como reciclaje químico, implica la transformación de la cadena del polímero PET. Por lo general, por medio de la escisión de la cadena solvolítica, este proceso puede ser una despolimerización total de nuevo a sus monómeros o una despolimerización parcial a sus oligómeros y otros productos químicos industriales. Dado que el PET es un poliéster con grupos éster funcionales, puede ser escindido por algunos reactivos, tales como agua, alcoholes, ácidos, glicoles y aminas. De igual manera, el PET se forma mediante una
50 reacción de policondensación reversible, por lo que puede transformarse de nuevo en sus unidades de monómero u oligómero empujando la reacción en la dirección opuesta mediante la adición de un producto de condensación. Estos productos de bajo peso molecular pueden luego purificarse y reutilizarse como materias primas para producir productos químicos de alta calidad (Carta *et al.*, 2003, Environmental Science And Pollution Research, Vol. 10, N.º 6, págs. 390-394). Entre los métodos de reciclaje, el reciclaje químico es el más establecido y el único aceptable de acuerdo con los principios de "desarrollo sostenible", definido como un desarrollo que satisface las necesidades de la generación actual sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades, porque conduce a la formación de las materias primas (monómeros) a partir de las cuales se fabrica originalmente el polímero. De esta manera, el medio ambiente no se sobrecarga y no hay necesidad de recursos adicionales para la producción
60 de PET. Hay tres métodos principales en el reciclaje químico de PET según la molécula portadora de hidroxilo añadida: glicol para glicólisis, metanol para metanólisis y agua para hidrólisis. Otros métodos incluyen aminólisis y amonólisis.

Hidrólisis:

65 La hidrólisis implica la despolimerización de PET a ácido tereftálico (TPA) y etilenglicol mediante la adición de agua en ambiente ácido, alcalino o neutro. Los productos de hidrólisis se utilizan opcionalmente para producir PET virgen o

se convierten opcionalmente en productos químicos más costosos, como ácido oxálico (Yoshioka *et al.*, 2003, Ind. Eng. Chem. Res., Vol. 42, N.º 4, pág. 675-679). El ácido sulfúrico concentrado se usa generalmente para la hidrólisis ácida (documentos US3952053; US4355175), sosa cáustica para hidrólisis alcalina (Alter, 1986, Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, pág. 103-128, Herman Mark, Wiley Interscience) y agua o vapor para la hidrólisis neutra (Campanelli *et al.*, J. Appl. Polym. Sci., Vol. 48, N.º 3, (Abril de 1993), pág. 443-451 y Campanelli *et al.*, J. Appl. Polym. Sci., Vol. 53, N.º 8, (Agosto de 1994), pág. 985-991). La hidrólisis es lenta en comparación con la metanólisis y la glucólisis, porque entre los tres agentes despolimerizantes (es decir, agua, metanol, etilenglicol), el agua es el nucleófilo más débil. También siempre utiliza altas temperaturas o altas presiones o una combinación de las mismas. Otra desventaja de la hidrólisis es la dificultad de recuperación del monómero TPA, que requiere numerosas etapas para alcanzar la pureza requerida.

Metanólisis:

La metanólisis es la despolimerización de PET a tereftalato de dimetilo (DMT) y etilenglicol (EG) mediante metanol.

Glucólisis:

La glucólisis se lleva a cabo utilizando etilenglicol para producir tereftalato de bis(2-hidroxietilo) (BHET) y otros glicolizados de PET, que se puede utilizar para fabricar resinas insaturadas, espumas de poliuretano, copoliésteres, revestimientos acrílicos y colorantes hidrofóbicos. El BHET producido a través de la glucólisis se puede añadir con BHET fresco y la mezcla se puede usar en cualquiera de las dos líneas de producción de PET (basadas en DMT o basadas en TPA). Además de su flexibilidad, la glucólisis es el proceso más simple, más antiguo y menos intensivo en cuanto a capital. Por estas razones, se ha prestado mucha atención a la glucólisis del PET. Se han publicado numerosos trabajos sobre la glucólisis de PET, en donde la reacción se ha realizado en un amplio intervalo de temperatura y tiempo.

Los estudios sobre la cinética de la glucólisis de PET han demostrado que la glucólisis sin un catalizador (tales como las sales metálicas, zeolitas o líquidos iónicos) es muy lenta y no se puede lograr la despolimerización completa de PET a BHET. También da un producto final que contiene una cantidad significativa de otros oligómeros además del monómero de BHET. Esto da como resultado dificultades en la recuperación del monómero e BHET cuando es el producto deseado. Por tanto, se han dirigido esfuerzos de investigación hacia el incremento de la velocidad y el rendimiento del monómero e BHET a través del desarrollo de catalizadores altamente eficientes y otras técnicas y la optimización de las condiciones de reacción (por ejemplo, temperatura, tiempo, relación PET/EG, relación PET/catalizador).

Reciclaje cuaternario:

El reciclaje cuaternario representa la recuperación del contenido de energía de los residuos plásticos mediante incineración. Cuando la recolección, la clasificación y la separación de los residuos plásticos son difíciles o económicamente inviables, o los residuos son tóxicos y peligrosos de manipular, la mejor opción de gestión de residuos es la incineración para recuperar la energía química almacenada en los residuos plásticos en forma de energía térmica. Sin embargo, se piensa que es ecológicamente inaceptable debido a los potenciales riesgos para la salud por las sustancias tóxicas transmitidas por aire.

Una mejora en el reciclaje de PET

Debido al creciente uso de tereftalato de polietileno en las industrias de embalaje y fibras (alfombras y otros textiles), existe la necesidad de un forma eficiente, de energía baja, de alto rendimiento y rentable para despolimerizar el tereftalato de polietileno para generar ácido tereftálico y etilenglicol con el fin de regenerar tereftalato de polietileno.

En un aspecto, es un proceso para despolimerizar un polímero que comprende una funcionalidad éster en materiales de partida para su uso en la producción de nuevos polímeros, que comprende mezclar el polímero con una mezcla de (i) un disolvente apolar capaz de hinchar el polímero, en donde el disolvente apolar es un disolvente halogenado; y (ii) un agente capaz de romper la funcionalidad éster; en donde el mezclado continúa durante un tiempo suficiente para despolimerizar al menos una parte del polímero en los materiales de partida; y en donde el proceso se realiza sin aplicar calor externo.

En algunas realizaciones, el agente capaz de romper la funcionalidad éster es una mezcla de un alcohol y un hidróxido.

En algunas realizaciones, la mezcla del alcohol y el hidróxido se añade al polímero simultáneamente con el disolvente apolar.

En algunas realizaciones, la relación entre el disolvente apolar y el alcohol es de aproximadamente 1:10 a aproximadamente 1:50 (v:v).

En algunas realizaciones, el polímero se mezcla con el disolvente apolar, el hidróxido y el alcohol durante de

aproximadamente 0 h hasta aproximadamente 5 h.

En algunas realizaciones, el polímero se mezcla con el disolvente apolar, el hidróxido y el alcohol a presión atmosférica.

5 En algunas realizaciones, el alcohol es un alcohol C₁-C₄ lineal.

En algunas realizaciones, el hidróxido se selecciona de un grupo que consiste en un hidróxido de metal alcalino, un hidróxido de metal alcalinotérreo, un hidróxido de amonio y una combinación de los mismos.

10 En algunas realizaciones, el polímero está en forma de material de desecho.

En algunas realizaciones, el material de desecho comprende además residuos que no incluyen el polímero que comprende la funcionalidad éster.

15 En algunas realizaciones, los residuos comprenden al menos uno de tapas de botellas, pegamento, papel, líquido residual y suciedad.

20 En algunas realizaciones, el polímero que comprende la funcionalidad éster es tereftalato de polietileno y los materiales de partida para la producción del polímero son ácido tereftálico o una sal del mismo y etilenglicol.

En algunas realizaciones, el ácido tereftálico o una sal del mismo contiene menos de aproximadamente un 1 % de impureza (p/p).

25 En algunas realizaciones, la impureza comprende al menos uno de ácido isoftálico, ácido ftálico, ácido 4-metilbenzoico, ácido 4-formilbenzoico y metales.

En otro aspecto, es un proceso para despolimerizar polímeros que comprende una funcionalidad éster en materiales de partida para su uso en la producción de nuevos polímeros, que comprende mezclar el polímero con una mezcla de (i) de aproximadamente 3 a aproximadamente 5 % (vol.) de un disolvente apolar capaz de hinchar el polímero, en donde el disolvente apolar es un disolvente halogenado; (ii) de aproximadamente 95 a aproximadamente 97 % (vol.) de un alcohol C₁-C₄ lineal; y (iii) un hidróxido; en donde el mezclado continúa durante aproximadamente 1 h; y en donde el proceso se realiza sin aplicar calor externo.

30 En algunas realizaciones, el polímero que comprende la funcionalidad éster es tereftalato de polietileno y los materiales de partida para la producción del polímero son ácido tereftálico o una sal del mismo y etilenglicol.

En algunas realizaciones, el ácido tereftálico o una sal del mismo contiene menos de aproximadamente un 1 % de impureza (p/p).

40 En algunas realizaciones, la impureza comprende al menos uno de ácido isoftálico, ácido ftálico, ácido 4-metilbenzoico, ácido 4-formilbenzoico y metales.

En otro aspecto, es un proceso para despolimerizar tereftalato de polietileno a ácido tereftálico o una sal del mismo y etilenglicol que comprende mezclar tereftalato de polietileno con una mezcla de: (i) de aproximadamente 3 a aproximadamente 5 % (vol.) de un disolvente apolar capaz de hinchar el polímero, en donde el disolvente apolar es un disolvente halogenado; (ii) de aproximadamente 95 a aproximadamente 97 % (vol.) de un alcohol C₁-C₄ lineal; y (iii) un hidróxido; en donde el mezclado continúa durante aproximadamente 1 h; y en donde el proceso se realiza sin aplicar calor externo.

50 En algunas realizaciones, el proceso de la presente invención es útil para la despolimerización de polímeros que comprenden una funcionalidad éster en cualquier forma, tal como material de desecho a granel, ya que la conversión es rápida y no requiere una etapa de trituración. En algunas realizaciones, se utilizan escamas de polímero. En algunas realizaciones, los polímeros se mezclan con los residuos, tales como, pero sin limitación, tapas de botella, pegamento, papel, líquido residual, suciedad o una combinación de los mismos.

En algunas realizaciones, el polímero que comprende una funcionalidad éster se selecciona de tereftalato de polietileno (PET), poliglicólido o ácido poliglicólico (PGA), ácido poliláctico (PLA), policaprolactona (PCL), polihidroxialcanoato (PHA), polihidroxibutirato (PHB), adipato de polietileno (PEA), succinato de polibutileno (PBS), poli(3-hidroxibutirato-co-3-hidroxivalerato) (PHBV), tereftalato de polibutileno (PBT), tereftalato de politrimetileno (PTT), polietilennaftalato (PEN), vectran y una combinación de los mismos.

En algunas realizaciones, el polímero que comprende una funcionalidad éster es tereftalato de polietileno (PET).

65 En algunas realizaciones, el polímero que comprende una funcionalidad éster es un oligómero de ácido tereftálico/etilenglicol.

En algunas realizaciones, el polímero que comprende una funcionalidad éster es un oligómero de ácido dicarboxílico/dialcohol, en donde el ácido dicarboxílico se selecciona de entre el grupo que consiste en ácido naftaleno dicarboxílico, ácido difenildicarboxílico, ácido difeniléter dicarboxílico, ácido difenilsulfonadicarboxílico, ácido difenoxietanodicarboxílico, ácido succínico, ácido adípico, ácido sebácico, ácido azelaico, ácido decanodicarboxílico, ácido ciclohexanodicarboxílico, ácido trimelítico, ácido piromelítico y una combinación de los mismos, y el dialcohol se selecciona del grupo que consiste en trimetilenglicol, 1,2-propanodiol, tetrametilenglicol, neopentilglicol, hexametilenglicol, decanometilenglicol, dodecametilenglicol, 1,4-ciclohexanodimetanol, dietilenglicol, trietilenglicol, tetraetilenglicol, polietilenglicol, dipropilenglicol, tripropilenglicol, tetrapropilenglicol, polipropilenglicol, di(tetrametilen)glicol, tri(tetrametilen)glicol, politetrametilenglicol, pentaeritritol, 2,2-bis (4-(β -hidroxietoxifenil)propano y una combinación de los mismos.

En algunas realizaciones, el proceso de la presente invención es útil para la despolimerización de tereftalato de polietileno en cualquier forma, tal como material de desecho a granel, ya que la conversión es rápida y no requiere una etapa de trituración. En algunas realizaciones, el material de residuos se lava antes de la despolimerización. En algunas realizaciones, el material de residuos no se lava antes de la despolimerización. En algunas realizaciones, se utilizan escamas de polímero. En algunas realizaciones, el tereftalato de polietileno se mezcla con los residuos, tales como, pero sin limitación, tapas de botella, pegamento, papel, líquido residual, suciedad o una combinación de los mismos.

En algunas realizaciones, el proceso de la presente invención es útil para la despolimerización selectiva de polímeros que comprenden una funcionalidad éster en donde el polímero que comprende una funcionalidad éster se mezcla con otros polímeros, tales como, por ejemplo, pero sin limitación, polietileno, polietileno de alta densidad, polietileno de baja densidad, polipropileno o una combinación de los mismos.

En algunas realizaciones, el proceso de la presente invención es útil para la despolimerización selectiva de tereftalato de polietileno en donde el tereftalato de polietileno se mezcla con otros polímeros, tales como, por ejemplo, pero sin limitación, polietileno, polietileno de alta densidad, polietileno de baja densidad, polipropileno o una combinación de los mismos.

En algunas realizaciones, el proceso de la presente invención es útil para despolimerizar un polímero que comprende una funcionalidad éster en materiales de partida para su uso en la producción de nuevos polímeros, que comprende mezclar el polímero con una mezcla de (i) un disolvente apolar capaz de hinchar el polímero, en donde el disolvente apolar es un disolvente halogenado; y (ii) un agente capaz de romper la funcionalidad éster; en donde el mezclado continúa durante un tiempo suficiente para despolimerizar al menos una parte del polímero en los materiales de partida; y en donde el proceso se realiza sin aplicar calor externo.

Los métodos anteriores de despolimerización de un polímero que comprende una funcionalidad éster enseñaron que el disolvente utilizado en el método necesitaba ser un disolvente capaz de mejorar la nucleofilicidad del ion utilizado para romper la funcionalidad éster, tal como un hidróxido. Por tanto, la enseñanza en la técnica era que se lograban velocidades óptimas de despolimerización con sistemas disolventes con altas constantes dieléctricas, tales como mezclas de alcohol y agua o mezclas de DMSO y agua. Además, se requerían fuertes interacciones disolvente-disolvente en tales sistemas disolventes para mejorar la nucleofilicidad del ion, tal como un ion hidróxido. El uso de estos disolventes requirió altas temperaturas para despolimerizar eficazmente el polímero.

Por el contrario, el disolvente descrito en el presente documento, es un disolvente apolar, en donde el disolvente apolar es un disolvente halogenado y las temperaturas requeridas para despolimerizar el polímero son la temperatura ambiente o cercana a la ambiente. La mayor eficiencia de los métodos descritos en el presente documento proporciona un ahorro significativo de energía y costes, haciendo así que el reciclaje de dichos polímeros sea un proceso competitivo y económicamente viable.

El disolvente apolar es un disolvente halogenado. En algunas realizaciones, el disolvente apolar es un disolvente clorado. En algunas realizaciones, el disolvente apolar es diclorometano, dicloroetano, tetracloroetano, cloroformo, tetraclorometano, tricloroetano o combinaciones de los mismos.

En algunas realizaciones, el agente capaz de romper la funcionalidad éster es una mezcla de un alcohol y una base. En algunas realizaciones, el agente capaz de romper la funcionalidad éster es una mezcla de un alcohol y un ácido.

En algunas realizaciones, el alcohol usado en el agente capaz de romper la funcionalidad éster es un alcohol que es capaz de disolver la base. En algunas realizaciones, el alcohol es un alcohol cíclico, ramificado, lineal o una combinación de los mismos. En algunas realizaciones, el alcohol es un alcohol C₁-C₄ lineal. En algunas realizaciones, el alcohol es metanol, etanol, propanol, butanol o una combinación de los mismos. En algunas realizaciones, el alcohol es metanol, etanol, propanol o una combinación de los mismos. En algunas realizaciones, el alcohol es metanol. En algunas realizaciones, el alcohol es etanol. En algunas realizaciones, el alcohol es un alcohol C₃-C₄ ramificado. En algunas realizaciones, el alcohol es t-butanol, s-butanol, i-butanol, i-propanol, s-propanol o una combinación de los mismos. En algunas realizaciones, el alcohol es un alcohol C₃-C₈ cíclico. En algunas realizaciones, el alcohol es

ciclopropanol, ciclobutanol, ciclopentanol, ciclohexanol, cicloheptanol o una combinación de los mismos.

En algunas realizaciones, la base utilizada en el agente capaz de romper la funcionalidad éster es una base que es sustancialmente soluble en la solución final.

5 En algunas realizaciones, la base capaz de romper la funcionalidad éster es un alcóxido. En algunas realizaciones, el alcóxido es un alcóxido C₁-C₄. En algunas realizaciones, el alcóxido se selecciona de un grupo que consiste en metóxido, etóxido, n-propóxido, n-butóxido, t-butóxido, s-butóxido, i-butóxido, i-propóxido, s-propóxido y una combinación de los mismos. En algunas realizaciones, el alcóxido es metóxido, etóxido o una combinación de los

10 mismos.

En algunas realizaciones, la base capaz de romper la funcionalidad éster es un hidróxido. En algunas realizaciones, el hidróxido se selecciona del grupo que consiste en hidróxido de metal alcalino, hidróxido de metales alcalinotérreos e hidróxido de amonio y una combinación de los mismos. En algunas realizaciones, el hidróxido se selecciona de entre

15 un grupo que consiste en hidróxido sódico, hidróxido potásico, hidróxido de calcio, hidróxido de litio, hidróxido de magnesio, hidróxido de amonio, hidróxido de tetra-alkilamonio y una combinación de los mismos. En algunas realizaciones, el hidróxido es hidróxido sódico, hidróxido potásico o una combinación de los mismos. En algunas realizaciones, el hidróxido es hidróxido sódico. En algunas realizaciones, el hidróxido es hidróxido potásico. En algunas realizaciones, el hidróxido es una mezcla de hidróxido sódico e hidróxido potásico.

20 En algunas realizaciones, el ácido usado en el agente capaz de romper la funcionalidad éster es un ácido orgánico. En algunas realizaciones, el ácido usado en el agente capaz de romper la funcionalidad éster es un ácido inorgánico. En algunas realizaciones, el ácido es ácido sulfúrico, ácido clorhídrico o una combinación de los mismos.

25 En algunas realizaciones, la relación molar entre la base o ácido y los enlaces éster presentes en el polímero es superior a 1:1. En algunas realizaciones, la relación molar entre la base y los enlaces éster presentes en el polímero es superior a 1:1. En algunas realizaciones, la relación molar entre el hidróxido y los enlaces éster presentes en el polímero es superior a 1:1. En algunas realizaciones, la relación molar entre el alcóxido y los enlaces éster presentes

30 en el polímero es superior a 1:1. En algunas realizaciones, la relación molar entre la base o el ácido y los enlaces éster presentes en el polímero es inferior a 1:1. En algunas realizaciones, la relación molar entre la base y los enlaces éster presentes en el polímero es inferior a 1:1. En algunas realizaciones, la relación molar entre el hidróxido y los enlaces éster presentes en el polímero es inferior a 1:1. En algunas realizaciones, la relación molar entre el alcóxido y los enlaces éster presentes en el polímero es inferior a 1:1. En algunas realizaciones, la relación molar entre la base o el ácido y los enlaces éster presentes en el polímero es de aproximadamente 1:1. En algunas realizaciones, la relación

35 molar entre la base y los enlaces éster presentes en el polímero es de aproximadamente 1:1. En algunas realizaciones, la relación molar entre el hidróxido y los enlaces éster presentes en el polímero es de aproximadamente 1:1. En algunas realizaciones, la relación molar entre el alcóxido y los enlaces éster presentes en el polímero es de aproximadamente 1:1. En algunas realizaciones, la relación molar entre la base o el ácido y los enlaces éster presentes en el polímero es de aproximadamente 1:1.

40 En algunas realizaciones, la mezcla del alcohol y la base o el ácido se añade al polímero antes de la adición del disolvente apolar. En algunas realizaciones, la mezcla del alcohol y la base o el ácido se añade al polímero después de la adición del disolvente apolar. En algunas realizaciones, la mezcla del alcohol y la base o el ácido se añade al polímero simultáneamente con el disolvente apolar. En algunas realizaciones, la mezcla del alcohol y la base se añade al polímero simultáneamente con el disolvente apolar. En algunas realizaciones, la mezcla del alcohol y el hidróxido

45 se añade al polímero simultáneamente con el disolvente apolar. En algunas realizaciones, la mezcla del alcohol y el alcóxido se añade al polímero simultáneamente con el disolvente apolar. En algunas realizaciones, la base se disuelve en el alcohol antes de la adición al disolvente apolar.

En algunas realizaciones, la relación entre el disolvente apolar y el alcohol es de aproximadamente 1:1 (v:v) a aproximadamente 1:100 (v:v). En algunas realizaciones, la relación entre el disolvente apolar y el alcohol es de aproximadamente 1:1 (v:v) a aproximadamente 1:10 (v:v). En algunas realizaciones, la relación entre el disolvente apolar y el alcohol es de aproximadamente 1:10 (v:v) a aproximadamente 1:20 (v:v). En algunas realizaciones, la relación entre el disolvente apolar y el alcohol es de aproximadamente 1:20 (v:v) a aproximadamente 1:30 (v:v). En algunas realizaciones, la relación entre el disolvente apolar y el alcohol es de aproximadamente 1:30 (v:v) a

50 aproximadamente 1:40 (v:v). En algunas realizaciones, la relación entre el disolvente apolar y el alcohol es de aproximadamente 1:40 (v:v) a aproximadamente 1:50 (v:v). En algunas realizaciones, la relación entre el disolvente apolar al alcohol es de aproximadamente 1:50 (v:v) a aproximadamente 1:60 (v:v). En algunas realizaciones, la relación entre el disolvente apolar y el alcohol es de aproximadamente 1:60 (v:v) a aproximadamente 1:70 (v:v). En algunas realizaciones, la relación entre el disolvente apolar y el alcohol es de aproximadamente 1:70 (v:v) a aproximadamente

55 1:80 (v:v). En algunas realizaciones, la relación entre el disolvente apolar y el alcohol es de aproximadamente 1:80 (v:v) a aproximadamente 1:90 (v:v). En algunas realizaciones, la relación entre el disolvente apolar y el alcohol es de aproximadamente 1:90 (v:v) a aproximadamente 1:100 (v:v). En algunas realizaciones, la relación entre el disolvente apolar y el alcohol es de aproximadamente 1:1 (v:v) a aproximadamente 1:50 (v:v). En algunas realizaciones, la relación entre el disolvente apolar y el alcohol es de aproximadamente 1:2 (v:v) a aproximadamente 1:50 (v:v). En algunas realizaciones, la relación entre el disolvente apolar y el alcohol es de aproximadamente 1:3 (v:v) a

60 aproximadamente 1:50 (v:v). En algunas realizaciones, la relación entre el disolvente apolar y el alcohol es de

aproximadamente 1:4 (v:v) a aproximadamente 1:50 (v:v). En algunas realizaciones, la relación entre el disolvente apolar y el alcohol es de aproximadamente 1:5 (v:v) a aproximadamente 1:50 (v:v). En algunas realizaciones, la relación entre el disolvente apolar y el alcohol es de aproximadamente 1:6 (v:v) a aproximadamente 1:50 (v:v). En algunas realizaciones, la relación entre el disolvente apolar y el alcohol es de aproximadamente 1:7 (v:v) a aproximadamente 1:50 (v:v). En algunas realizaciones, la relación entre el disolvente apolar y el alcohol es de aproximadamente 1:8 (v:v) a aproximadamente 1:50 (v:v). En algunas realizaciones, la relación entre el disolvente apolar y el alcohol es de aproximadamente 1:9 (v:v) a aproximadamente 1:50 (v:v). En algunas realizaciones, la relación entre el disolvente apolar y el alcohol es de aproximadamente 1:10 (v:v) a aproximadamente 1:50 (v:v). En algunas realizaciones, la relación entre el disolvente apolar y el alcohol es de aproximadamente 1:10 (v:v), aproximadamente 1:11 (v:v), aproximadamente 1:12 (v:v), aproximadamente 1:13 (v:v), aproximadamente 1:14 (v:v), aproximadamente 1:15 (v:v), aproximadamente 1:16 (v:v), aproximadamente 1:17 (v:v), aproximadamente 1:18 (v:v), aproximadamente 1:19 (v:v), aproximadamente 1:20 (v:v), aproximadamente 1:21 (v:v), aproximadamente 1:22 (v:v), aproximadamente 1:23 (v:v), aproximadamente 1:24 (v:v), aproximadamente 1:25 (v:v), aproximadamente 1:26 (v:v), aproximadamente 1:27 (v:v), aproximadamente 1:28 (v:v), aproximadamente 1:29 (v:v), aproximadamente 1:30 (v:v), aproximadamente 1:31 (v:v), aproximadamente 1:32 (v:v), aproximadamente 1:33 (v:v), aproximadamente 1:34 (v:v), aproximadamente 1:35 (v:v), aproximadamente 1:36 (v:v), aproximadamente 1:37 (v:v), aproximadamente 1:38 (v:v), aproximadamente 1:39 (v:v), aproximadamente 1:40 (v:v), aproximadamente 1:41 (v:v), aproximadamente 1:42 (v:v), aproximadamente 1:43 (v:v), aproximadamente 1:44 (v:v), aproximadamente 1:45 (v:v), aproximadamente 1:46 (v:v), aproximadamente 1:47 (v:v), aproximadamente 1:48 (v:v), aproximadamente 1:49 (v:v) o aproximadamente 1:50 (v:v).

En algunas realizaciones, la cantidad de alcohol es de aproximadamente 70 % a aproximadamente 99 % (vol.) del volumen total de la mezcla. En algunas realizaciones, la cantidad de alcohol es de aproximadamente 95 % a aproximadamente 97 % (vol.) del volumen total de la mezcla. En algunas realizaciones, la cantidad de alcohol es de aproximadamente 70 % (vol.), aproximadamente 71 % (vol.), aproximadamente 72 % (vol.), aproximadamente 73 % (vol.), aproximadamente 74 % (vol.), aproximadamente 75 % (vol.), aproximadamente 76 % (vol.), aproximadamente 77 % (vol.), aproximadamente 78 % (vol.), aproximadamente 79 % (vol.), aproximadamente 80 % (vol.), aproximadamente 81 % (vol.), aproximadamente 82 % (vol.), aproximadamente 83 % (vol.), aproximadamente 84 % (vol.), aproximadamente 85 % (vol.), aproximadamente 86 % (vol.), aproximadamente 87 % (vol.), aproximadamente 88 % (vol.), aproximadamente 89 % (vol.), aproximadamente 90 % (vol.), aproximadamente 91 % (vol.), aproximadamente 92 % (vol.), aproximadamente 93 % (vol.), aproximadamente 94 % (vol.), aproximadamente 95 % (vol.), aproximadamente 96 % (vol.), aproximadamente 97 % (vol.), aproximadamente 98 % (vol.) o aproximadamente 99 % (vol.) del volumen total de la mezcla.

En algunas realizaciones, la cantidad de disolvente apolar es de aproximadamente 1 % a aproximadamente 30 % (vol.) del volumen total de la mezcla. En algunas realizaciones, la cantidad de apolar es de aproximadamente 3 % a aproximadamente 5 % (vol.) del volumen total de la mezcla. En algunas realizaciones, la cantidad de apolar es de aproximadamente 1 % (vol.), aproximadamente 2 % (vol.), aproximadamente 3 % (vol.), aproximadamente 4 % (vol.), aproximadamente 5 % (vol.), aproximadamente 6 % (vol.), aproximadamente 7 % (vol.), aproximadamente 8 % (vol.), aproximadamente 9 % (vol.), aproximadamente 10 % (vol.), 11 % (vol.), aproximadamente 12 % (vol.), aproximadamente 13 % (vol.), aproximadamente 14 % (vol.), aproximadamente 15 % (vol.), aproximadamente 16 % (vol.), aproximadamente 17 % (vol.), aproximadamente 18 % (vol.), aproximadamente 19 % (vol.), aproximadamente 20 % (vol.), 21 % (vol.), aproximadamente 22 % (vol.), aproximadamente 23 % (vol.), aproximadamente 24 % (vol.), aproximadamente 25 % (vol.), aproximadamente 26 % (vol.), aproximadamente 27 % (vol.), aproximadamente 28 % (vol.), aproximadamente 29 % (vol.) o aproximadamente 30 % (vol.) del volumen total de la mezcla.

En algunas realizaciones, el polímero se mezcla con el disolvente apolar y el agente capaz de romper la funcionalidad éster durante un tiempo suficiente para despolimerizar al menos una parte del polímero en los materiales de partida para la producción del polímero.

En algunas realizaciones, la despolimerización es instantánea. En algunas realizaciones, el tiempo suficiente para despolimerizar al menos una parte del polímero en los materiales de partida para la producción de un nuevo polímero es de aproximadamente 0 h a aproximadamente 24 h. En algunas realizaciones, el tiempo suficiente para despolimerizar al menos una parte del polímero en los materiales de partida para su uso en la producción de nuevos polímeros es de aproximadamente 0 h a aproximadamente 20 h, de aproximadamente 0 h a aproximadamente 15 h, de aproximadamente 0 h a aproximadamente 10 h, 0 h a aproximadamente 5 h, de aproximadamente 0 h a aproximadamente 4 h, de aproximadamente 0 h a aproximadamente 3 h, de aproximadamente 0 h a aproximadamente 2 h o de aproximadamente 0 h a aproximadamente 1 h. En algunas realizaciones, el tiempo suficiente para despolimerizar al menos una parte del polímero en los materiales de partida para la producción del polímero es de aproximadamente 0 h, 0,1 h, 0,2 h, 0,3 h, aproximadamente 0,4 h, aproximadamente 0,5 h, aproximadamente 0,6 h, aproximadamente 0,7 h, aproximadamente 0,8 h, aproximadamente 0,9 h o aproximadamente 1 h.

A diferencia de los métodos anteriores para despolimerizar un polímero que comprende una funcionalidad éster (por ejemplo, PET), y que requiere el uso de altas temperaturas, tales como temperaturas entre aproximadamente 80 °C y aproximadamente 150 °C, para completar el proceso de despolimerización, los métodos descritos en el presente documento proporcionan métodos rápidos para despolimerizar un polímero que comprende una funcionalidad éster

(por ejemplo, PET) a temperatura ambiente o cercana a la temperatura ambiente. Como resultado, los métodos proporcionados en el presente documento para despolimerizar un polímero que comprende una funcionalidad éster (por ejemplo, PET) son más eficientes energéticamente y proporcionan materiales de partida para producir nuevos materiales con un ahorro de costes que hace que el método de reciclaje sea competitivo con el uso de materiales de partida que no se han producido a partir de materiales reciclados. En algunas realizaciones, el proceso de la presente invención se realiza a una temperatura ambiente. En algunas realizaciones, la temperatura ambiente es 25 ± 5 °C.

En algunas realizaciones, el proceso de la presente invención se realiza sin aplicar calor externo. En algunas realizaciones, la reacción es exotérmica y la temperatura de la mezcla de reacción se eleva al menos hasta 30 °C, al menos 35 °C, al menos 40 °C, al menos 45 °C, al menos 50 °C, al menos 55 °C o incluso al menos 60 °C. En algunas realizaciones, no se utilizan fuentes de calor externas para aumentar la temperatura de la mezcla de reacción.

En algunas realizaciones, el proceso de la presente invención se realiza sin agitación. En algunas realizaciones, el proceso de la presente invención se realiza con mayor agitación. En algunas realizaciones, se utiliza un reactor discontinuo de agitación para proporcionar agitación. En algunas realizaciones, se utiliza un reactor continuo para proporcionar agitación.

En algunas realizaciones, el proceso de la presente invención se realiza sin la adición de un catalizador. En algunas realizaciones, el proceso de la presente invención se realiza con la adición de un catalizador. En algunas realizaciones, el catalizador utilizado en el proceso de despolimerización de la presente invención comprende al menos uno de los compuestos de germanio, compuestos de titanio, compuestos de antimonio, compuestos de cinc, compuestos de cadmio, compuestos de manganeso, compuestos de magnesio, compuestos de cobalto, compuestos de silicón, compuestos de estaño, compuestos de plomo y compuestos de aluminio.

En algunas realizaciones, el catalizador utilizado en el proceso de despolimerización de la presente invención comprende al menos uno de entre dióxido de germanio, acetato de cobalto, tetracloruro de titanio, fosfato de titanio, tetrabutoxido de titanio, tetraisopropóxido de titanio, tetra-n-propóxido de titanio, tetraetóxido de titanio, tetrametóxido de titanio, un complejo de tetraquis(acetilacetato)titanio, un complejo de tetraquis(2,4-hexanodionato)titanio, un complejo de tetraquis(3,5-heptanodionato)titanio, un complejo de dimetoxibis(acetilacetato)titanio, un complejo de dietoxibis(acetilacetato)titanio, un complejo de diisopropoxibis(acetilacetato)titanio, un complejo de di-n-propoxibis(acetilacetato)titanio, un complejo de dibutoxibis(acetilacetato)titanio, dihidroxibisglicolato de titanio, dihidroxibisglicolato de titanio, dihidroxibislactato de titanio, dihidroxibis(2-hidroxipropionato) de titanio, lactato de titanio, octanodiolato de titanio, aminato de dimetoxibistrietanol de titanio, aminato de dietoxibistrietanol de titanio, aminato de dibutoxibistrietanol de titanio, dititanato de hexametil, dititanato de hexaetil, dititanato de hexapropilo, dititanato de hexabutilo, dititanato de hexafenilo, trititanato de octametil, trititanato de octaetil, trititanato de octapropilo, trititanato de octabutilo, trititanato de octafenilo, un dititanato de hexaalcoxi, acetato de cinc, acetato de manganeso, silicato de metilo, cloruro de cinc, acetato de plomo, carbonato sódico, bicarbonato de sodio, ácido acético, sulfato sódico, sulfato de potasio, zeolitas, cloruro de litio, cloruro de magnesio, cloruro férrico, óxido de cinc, óxido de magnesio, óxido de calcio, óxido de bario, trióxido de antimonio y triacetato de antimonio.

En algunas realizaciones, el proceso de la presente invención es útil para despolimerizar un polímero que comprende una funcionalidad éster en materiales de partida para su uso en la producción de nuevos polímeros que comprenden mezclar el polímero con una mezcla de (i) aproximadamente 3 a aproximadamente 5 % (vol.) de un disolvente apolar capaz de hinchar el polímero, en donde el disolvente apolar es un disolvente clorado; (ii) de aproximadamente 95 a aproximadamente 97 % (vol.) de un alcohol C₁-C₄ lineal; y (iii) un hidróxido; en donde el mezclado continúa durante aproximadamente 1 h; y en donde el proceso se realiza sin aplicar calor externo.

En algunas realizaciones, el polímero que comprende una funcionalidad éster es tereftalato de polietileno. En algunas realizaciones, los materiales de partida para su uso en la producción de nuevos polímeros se seleccionan del grupo que consiste en oligómeros de ácido tereftálico/etilenglicol o una sal del mismo, ácido tereftálico o una sal del mismo, ácido 4-(metoxicarbonil)benzoico o una sal del mismo, etilenglicol, y una combinación de los mismos.

En algunas realizaciones, los materiales de partida para su uso en la producción de nuevos polímeros se seleccionan de entre ácido tereftálico o una sal del mismo, y etilenglicol.

En algunas realizaciones, los materiales de partida para su uso en la producción de nuevos polímeros son ácido 4-(metoxicarbonil)benzoico o una sal del mismo, y etilenglicol.

En algunas realizaciones, los materiales de partida para su uso en la producción de nuevos polímeros son oligómeros de ácido tereftálico/etilenglicol.

En algunas realizaciones, el proceso de la presente invención es útil para despolimerizar tereftalato de polietileno en ácido tereftálico o una sal del mismo y etilenglicol, que comprende mezclar tereftalato de polietileno con una mezcla de (i) un disolvente apolar capaz de hinchar el polímero, en donde el disolvente apolar es un disolvente halogenado; y (ii) un agente capaz de romper la funcionalidad éster; en donde el mezclado continúa durante un tiempo suficiente para despolimerizar al menos una parte de tereftalato de polietileno en ácido tereftálico o una sal del mismo y

etilenglicol; y en donde el proceso se realiza sin aplicar calor externo.

En algunas realizaciones, el proceso de la presente invención es útil para despolimerizar tereftalato de polietileno en ácido 4-(metoxicarbonil)benzoico o una sal del mismo y etilenglicol que comprende mezclar tereftalato de polietileno con una mezcla de (i) un disolvente apolar capaz de hinchar el polímero, en donde el disolvente apolar es un disolvente halogenado; y (ii) un agente capaz de romper la funcionalidad éster; en donde el mezclado continúa durante un tiempo suficiente para despolimerizar al menos una parte de tereftalato de polietileno en ácido 4-(metoxicarbonil)benzoico o una sal del mismo y etilenglicol; y en donde el proceso se realiza sin aplicar calor externo.

En algunas realizaciones, el proceso de la presente invención es útil para despolimerizar tereftalato de polietileno en ácido tereftálico o una sal del mismo y etilenglicol que comprende mezclar tereftalato de polietileno con una mezcla de (i) aproximadamente 3 a aproximadamente 5 % (vol.) de un disolvente apolar capaz de hinchar el tereftalato de polietileno, en donde el disolvente apolar es un disolvente clorado; (ii) de aproximadamente 95 a aproximadamente 97 % (vol.) de un alcohol C₁-C₄ lineal; y (iii) un hidróxido; en donde el mezclado continúa durante aproximadamente 1 h; y en donde el proceso se realiza sin aplicar calor externo.

En algunas realizaciones, el proceso de la presente invención es útil para despolimerizar tereftalato de polietileno a ácido 4-(metoxicarbonil)benzoico o una sal del mismo y etilenglicol que comprende mezclar tereftalato de polietileno con una mezcla de (i) aproximadamente 3 a aproximadamente 5 % (vol.) de un disolvente polar capaz de hinchar el tereftalato de polietileno, en donde el disolvente apolar es un disolvente clorado; (ii) de aproximadamente 95 a aproximadamente 97 % (vol.) de un alcohol C₁-C₄ lineal; y (iii) un hidróxido; en donde el mezclado continúa durante aproximadamente 1 h; y en donde el proceso se realiza sin aplicar calor externo.

En algunas realizaciones, los materiales de partida para su uso en la producción de nuevos polímeros obtenidos de la despolimerización de un polímero que comprende una funcionalidad éster contienen menos de aproximadamente un 10 % de impurezas (p/p). En algunas realizaciones, los materiales de partida para su uso en la producción de nuevos polímeros obtenidos de la despolimerización de un polímero que comprende una funcionalidad éster contienen menos de aproximadamente un 9 % de impurezas (p/p). En algunas realizaciones, los materiales de partida para su uso en la producción de nuevos polímeros obtenidos de la despolimerización de un polímero que comprende una funcionalidad éster contienen menos de aproximadamente un 8 % de impurezas (p/p). En algunas realizaciones, los materiales de partida para su uso en la producción de nuevos polímeros obtenidos de la despolimerización de un polímero que comprende una funcionalidad éster contienen menos de aproximadamente un 7 % de impurezas (p/p). En algunas realizaciones, los materiales de partida para su uso en la producción de nuevos polímeros obtenidos de la despolimerización de un polímero que comprende una funcionalidad éster contienen menos de aproximadamente un 6 % de impurezas (p/p). En algunas realizaciones, los materiales de partida para su uso en la producción de nuevos polímeros obtenidos de la despolimerización de un polímero que comprende una funcionalidad éster contienen menos de aproximadamente un 5 % de impurezas (p/p). En algunas realizaciones, los materiales de partida para su uso en la producción de nuevos polímeros obtenidos de la despolimerización de un polímero que comprende una funcionalidad éster contienen menos de aproximadamente un 4 % de impurezas (p/p). En algunas realizaciones, los materiales de partida para su uso en la producción de nuevos polímeros obtenidos de la despolimerización de un polímero que comprende una funcionalidad éster contienen menos de aproximadamente un 3 % de impurezas (p/p). En algunas realizaciones, los materiales de partida para su uso en la producción de nuevos polímeros obtenidos de la despolimerización de un polímero que comprende una funcionalidad éster contienen menos de aproximadamente un 2 % de impurezas (p/p). En algunas realizaciones, los materiales de partida para su uso en la producción de nuevos polímeros obtenidos de la despolimerización de un polímero que comprende una funcionalidad éster contienen menos de aproximadamente un 1 % de impurezas (p/p). En algunas realizaciones, los materiales de partida para su uso en la producción de nuevos polímeros obtenidos de la despolimerización de un polímero que comprende una funcionalidad éster contienen menos de aproximadamente un 0,5 % de impurezas (p/p). En algunas realizaciones, los materiales de partida para su uso en la producción de nuevos polímeros obtenidos de la despolimerización de un polímero que comprende una funcionalidad éster contienen menos de aproximadamente un 0,4 % de impurezas (p/p). En algunas realizaciones, los materiales de partida para su uso en la producción de nuevos polímeros obtenidos de la despolimerización de un polímero que comprende una funcionalidad éster contienen menos de aproximadamente un 0,3 % de impurezas (p/p). En algunas realizaciones, los materiales de partida para su uso en la producción de nuevos polímeros obtenidos de la despolimerización de un polímero que comprende una funcionalidad éster contienen menos de aproximadamente un 0,2 % de impurezas (p/p). En algunas realizaciones, los materiales de partida para su uso en la producción de nuevos polímeros obtenidos de la despolimerización de un polímero que comprende una funcionalidad éster contienen menos de aproximadamente un 0,1 % de impurezas (p/p).

En algunas realizaciones, el ácido tereftálico o una sal del mismo contiene menos de aproximadamente un 10 % de impurezas (p/p). En algunas realizaciones, el ácido tereftálico o una sal del mismo contiene menos de aproximadamente un 9 % de impurezas (p/p). En algunas realizaciones, el ácido tereftálico o una sal del mismo contiene menos de aproximadamente un 8 % de impurezas (p/p). En algunas realizaciones, el ácido tereftálico o una sal del mismo contiene menos de aproximadamente un 7 % de impurezas (p/p). En algunas realizaciones, el ácido tereftálico o una sal del mismo contiene menos de aproximadamente un 6 % de impurezas (p/p). En algunas realizaciones, el ácido tereftálico o una sal del mismo contiene menos de aproximadamente un 5 % de impurezas (p/p). En algunas realizaciones, el ácido tereftálico o una sal del mismo contiene menos de aproximadamente un 4 % de impurezas (p/p).

- menos de aproximadamente 140 ppm de ácido 4-metilbenzoico, menos de aproximadamente 130 ppm de ácido 4-metilbenzoico, menos de aproximadamente 120 ppm de ácido 4-metilbenzoico, menos de aproximadamente 110 ppm de ácido 4-metilbenzoico, menos de aproximadamente 100 ppm de ácido 4-metilbenzoico, menos de aproximadamente 90 ppm de ácido 4-metilbenzoico, menos de aproximadamente 80 ppm de ácido 4-metilbenzoico, menos de aproximadamente 70 ppm de ácido 4-metilbenzoico, menos de aproximadamente 60 ppm de ácido 4-metilbenzoico, menos de aproximadamente 50 ppm de ácido 4-metilbenzoico, menos de aproximadamente 40 ppm de ácido 4-metilbenzoico, menos de aproximadamente 30 ppm de ácido 4-metilbenzoico, menos de aproximadamente 20 ppm de ácido 4-metilbenzoico o menos de aproximadamente 10 ppm de ácido 4-metilbenzoico.
- 10 En algunas realizaciones, la impureza contenida en los materiales de partida para su uso en la producción de nuevos polímeros obtenidos a partir de la despolimerización de tereftalato de polietileno comprende metales. En algunas realizaciones, la impureza metálica comprende al menos uno de aluminio, arsénico, calcio, cobalto, cromo, hierro, potasio, manganeso, molibdeno, sodio, níquel, titanio y plomo.
- 15 En algunas realizaciones, los materiales de partida para su uso en la producción de nuevos polímeros obtenidos de la despolimerización de tereftalato de polietileno contienen menos de aproximadamente 250 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 240 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 230 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 220 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 210 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 200 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 190 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 180 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 170 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 160 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 150 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 140 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 130 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 120 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 110 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 100 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 90 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 80 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 70 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 60 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 50 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 40 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 30 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 20 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 10 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 5 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 4 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 3 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 2 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 1 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 0,9 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 0,8 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 0,7 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 0,6 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 0,5 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 0,4 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 0,3 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 0,2 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 0,1 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 0,09 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 0,08 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 0,07 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 0,06 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 0,05 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 0,04 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 0,03 ppm de cualquier metal, menos de aproximadamente 0,02 ppm de cualquier metal o menos de aproximadamente 0,01 ppm de cualquier metal.
- 45 En algunas realizaciones, los materiales de partida para su uso en la producción de nuevos polímeros obtenidos de la despolimerización de tereftalato de polietileno contienen cantidades trazas de catalizadores, inhibidores o estabilizadores. En algunas realizaciones, los catalizadores, inhibidores o estabilizadores estaban presentes en el tereftalato de polietileno de partida. Los inhibidores funcionan interfiriendo con las etapas de iniciación de la cadena y/o propagación de la cadena de la polimerización durante la fabricación y purificación cuando los monómeros están a temperaturas elevadas. Los estabilizadores se utilizan en el proceso de polimerización para secuestrar los catalizadores en un intento de reducir la degradación y decoloración del polímero que comprende una funcionalidad éster. Los catalizadores de polimerización eventualmente comenzarían a catalizar o estimular la degradación del polímero formado en la reacción de condensación. Por ejemplo, la degradación del tereftalato de polietileno da como resultado la formación de acetaldehído y la decoloración o coloración amarillenta del tereftalato de polietileno.
- 50 En algunas realizaciones, el catalizador comprende al menos uno de compuestos de germanio, compuestos de titanio, compuestos de antimonio, compuestos de cinc, compuestos de cadmio, compuestos de manganeso, compuestos de magnesio, compuestos de cobalto, compuestos de silicona, compuestos de estaño, compuestos de plomo y compuestos de aluminio.
- 55 En algunas realizaciones, el catalizador comprende al menos uno de dióxido de germanio, acetato de cobalto, tetracloruro de titanio, fosfato de titanio, tetrabutoóxido de titanio, tetraisopropóxido de titanio, tetra-n-propóxido de titanio, tetraetóxido de titanio, tetrametóxido de titanio, un complejo de tetraquis(acetilacetionato)titanio, un complejo de tetraquis(2,4-hexanodionato)titanio, un complejo de tetraquis(3,5-heptanodionato)titanio, un complejo de dimetoxibis(acetilacetionato)titanio, un complejo de dietoxibis(acetilacetionato)titanio, un complejo de diisopropoxibis(acetilacetionato)titanio, un complejo de di-n-propoxi-bis(acetilacetionato)titanio, un complejo de dibutoxibis(acetilacetionato)titanio, dihidroxibisglicolato de titanio, dihidroxibisglicolato de titanio, dihidroxibislactato de titanio, dihidroxibis(2-hidroxipropionato) de titanio, lactato de titanio, octanodiolato de titanio, aminato de dimetoxibistrietanol de titanio, aminato de dietoxibistrietanol de titanio, aminato de dibutoxibistrietanol de titanio,

dititanato de hexametilo, dititanato de hexaetilo, dititanato de hexapropilo, dititanato de hexabutilo, dititanato de hexafenilo, trititanato de octametilo, trititanato de octaetilo, trititanato de octapropilo, trititanato de octabutilo, trititanato de octafenilo, un dititanato de hexaalcoxi, acetato de cinc, acetato de manganeso, silicato de metilo, cloruro de cinc, acetato de plomo, carbonato sódico, bicarbonato de sodio, ácido acético, sulfato sódico, sulfato de potasio, zeolitas, cloruro de litio, cloruro de magnesio, cloruro férrico, óxido de cinc, óxido de magnesio, óxido de calcio, óxido de bario, trióxido de antimonio y triacetato de antimonio.

En algunas realizaciones, el inhibidor comprende al menos uno de nitrobenzeno, hidroxitolueno butilado (BHT), hidroxianisol butilado (BHA), difenil picril hidrazilo (DPPH), catecol de butilo terciario (TBC), hidroquinona o una combinación de los mismos.

En algunas realizaciones, el estabilizador presente en el polímero de partida que comprende una funcionalidad éster comprende un compuesto fosfato, fosfonato y fosfito. En algunas realizaciones, el estabilizador presente en el polímero de partida que comprende una funcionalidad éster comprende al menos uno de ácido polifosfórico, ácido fosfórico, compuestos de organofosfato, organofosfatos, organofosfitos, organofosfonatos, ácido ortofosfórico, ácido metafosfórico, ácido pirofosfórico, ácido tripilfosfórico, ácido fosforoso, ácido hipofosforoso, fosfato de bismuto, fosfato de monoamonio, fosfato de diamonio, fosforita de monamonio; sales de ésteres de ácido fosfórico que tienen al menos un grupo hidroxilo alcohólico libre, betaglicerofosfato de sodio, betaglicerofosfato de calcio, ácido fosfotúngstico, fosfotungstato de amonio, fosfotungstato de sodio, fosfinas terciarias, tripropilfosfina, trifenilfosfina, etilfeniltolilfosfina, compuestos de fosfonio cuaternario, yoduro de trifenilmetilfosfonio, cloruro de trifenilbencilfosfonio y compuestos de fosfonio cuaternario.

En algunas realizaciones, el proceso es el siguiente:

se introduce tereftalato de polietileno en un reactor. En algunas realizaciones, el reactor es de un material inerte. En algunas realizaciones, el reactor es, preferentemente, de acero inoxidable. En algunas realizaciones, el reactor es de polietileno de alta densidad (HDPE).

En algunas realizaciones, el tereftalato de polietileno se mezcla con los residuos, tales como, pero sin limitaciones, tapa de la botella, pegamento, papel, líquido residual, suciedad o una combinación de los mismos.

En algunas realizaciones, el tereftalato de polietileno se mezcla con otros polímeros, tales como, pero sin limitación, polietileno, polietileno de alta densidad, polietileno de baja densidad, polipropileno o una combinación de los mismos.

Un disolvente apolar, en donde el disolvente apolar es un disolvente halogenado, se añade al tereftalato de polietileno, seguido de un agente capaz de romper la funcionalidad éster.

En algunas realizaciones, el agente es una mezcla de una base y un alcohol. En algunas realizaciones, el agente es una mezcla de un ácido y un alcohol. En algunas realizaciones, el disolvente apolar y el agente se añaden simultáneamente. En algunas realizaciones, el agente se añade antes que el disolvente apolar. En algunas realizaciones, el agente se añade después de la adición del disolvente apolar.

Tras la adición del agente capaz de romper la funcionalidad éster, comienza la despolimerización del tereftalato de polietileno.

En algunas realizaciones, la reacción se realiza a presión atmosférica.

En algunas realizaciones, la reacción se realiza a temperatura ambiente.

En algunas realizaciones, la reacción es exotérmica. En algunas realizaciones, la reacción es exotérmica y la temperatura de la mezcla de reacción se eleva al menos hasta 30 °C, al menos 35 °C, al menos 40 °C, al menos 45 °C, al menos 50 °C, al menos 55 °C o incluso al menos 60 °C. Sin embargo, no se utilizan fuentes de calor externas para aumentar la temperatura de la mezcla de reacción.

En algunas realizaciones, la mezcla de reacción se agita. En algunas realizaciones, la mezcla de reacción no se agita.

En algunas realizaciones, tras la finalización de la reacción de despolimerización, se obtiene un sólido que contiene ácido tereftálico, sales de ácido tereftálico, derivados de ácido tereftálico, polímeros sin reaccionar y residuos. En algunas realizaciones, los derivados de ácido tereftálico son oligómeros de ácido tereftálico/etilenglicol, éster de ácido tereftálico o una combinación de los mismos. En algunas realizaciones, los derivados de ácido tereftálico son tereftalato de dimetilo, ácido 4-(metoxicarbonil)benzoico o una combinación de los mismos.

En algunas realizaciones, los sólidos contienen una gran cantidad de sales de ácido tereftálico, una pequeña cantidad de derivados de ácido tereftálico, polímeros sin reaccionar y residuos.

En algunas realizaciones, los sólidos contienen una pequeña cantidad de sales de ácido tereftálico, una gran cantidad

de derivados de ácido tereftálico, polímeros sin reaccionar y residuos.

En algunas realizaciones, los sólidos no contienen sales de ácido tereftálico, sino solo derivados de ácido tereftálico, polímeros sin reaccionar y residuos. En algunas realizaciones, los derivados del ácido tereftálico comprenden ácido 4-(metoxicarbonil)benzoico.

En algunas realizaciones, la mezcla de reacción se filtra para obtener una torta de filtro y un filtrado. En algunas realizaciones, la mezcla de reacción se centrifuga para separar los sólidos de los líquidos. En algunas realizaciones, la mezcla de reacción se purifica mediante extracción líquido/líquido.

En algunas realizaciones, la torta de filtro obtenida se lava con un poco de alcohol adicional. En algunas realizaciones, la torta de filtro obtenida se lava con un poco de agua desionizada.

En algunas realizaciones, la torta de filtro contiene una cantidad grande de ácido 4-(metoxicarbonil)benzoico. En algunas realizaciones, se aísla y purifica ácido 4-(metoxicarbonil)benzoico.

En algunas realizaciones, la torta de filtro obtenida se añade a una solución básica acuosa. En algunas realizaciones, la torta de filtro comprende derivados de ácido tereftálico. En algunas realizaciones, los derivados de ácido tereftálico comprenden al menos uno de oligómeros de ácido tereftálico/etilenglicol, monoésteres de ácido tereftálico y diésteres de ácido tereftálico. En algunas realizaciones, los derivados de ácido tereftálico se convierten en ácido tereftálico al entrar en contacto con la solución básica. Luego, la solución se filtra para eliminar los polímeros no solubles que no han reaccionado, los oligómeros no solubles y los residuos. El filtrado obtenido contiene las sales de ácido tereftálico solubilizadas. A continuación, se reduce el pH del filtrado obtenido (ya sea directamente o después del tratamiento básico). En algunas realizaciones, el pH se reduce mediante la adición de un ácido acuoso. En algunas realizaciones, el pH se reduce mediante la adición de hielo seco. En algunas realizaciones, el pH se reduce a 9. En algunas realizaciones, el pH se reduce a 8,5. En algunas realizaciones, el pH se reduce a 8. En algunas realizaciones, el pH se reduce a 7,5. En algunas realizaciones, el pH se reduce a 7. En algunas realizaciones, el pH se reduce a 6,5. En algunas realizaciones, el pH se reduce a 6. En algunas realizaciones, el pH se reduce a 5,5. En algunas realizaciones, el pH se reduce a 5. En algunas realizaciones, el pH se reduce a 4,5. En algunas realizaciones, el pH se reduce a 4. En algunas realizaciones, el pH se reduce a 3,5. En algunas realizaciones, el pH se reduce a 3. En algunas realizaciones, el pH se reduce a 2,5. En algunas realizaciones, el pH se reduce a 2. En algunas realizaciones, el pH se reduce a 1,5. En algunas realizaciones, el pH se reduce a 1.

El precipitado se filtra. En algunas realizaciones, el precipitado se lava con un poco de alcohol adicional. En algunas realizaciones, el precipitado se lava con un poco de agua desionizada. A continuación, se seca el precipitado.

En algunas realizaciones, el precipitado obtenido es ácido tereftálico puro. En algunas realizaciones, el precipitado obtenido es aproximadamente 99,9 % de ácido tereftálico puro. En algunas realizaciones, el precipitado obtenido es aproximadamente 99,8 % de ácido tereftálico puro. En algunas realizaciones, el precipitado obtenido es aproximadamente 99,7 % de ácido tereftálico puro. En algunas realizaciones, el precipitado obtenido es aproximadamente 99,6 % de ácido tereftálico puro. En algunas realizaciones, el precipitado obtenido es aproximadamente 99,5 % de ácido tereftálico puro. En algunas realizaciones, el precipitado obtenido es aproximadamente 99,4 % de ácido tereftálico puro. En algunas realizaciones, el precipitado obtenido es aproximadamente 99,3 % de ácido tereftálico puro. En algunas realizaciones, el precipitado obtenido es aproximadamente 99,2 % de ácido tereftálico puro. En algunas realizaciones, el precipitado obtenido es aproximadamente 99,1 % de ácido tereftálico puro. En algunas realizaciones, el precipitado obtenido es aproximadamente 99,0 % de ácido tereftálico puro. En algunas realizaciones, el precipitado obtenido es aproximadamente 98,9 % de ácido tereftálico puro. En algunas realizaciones, el precipitado obtenido es aproximadamente 98,8 % de ácido tereftálico puro. En algunas realizaciones, el precipitado obtenido es aproximadamente 98,7 % de ácido tereftálico puro. En algunas realizaciones, el precipitado obtenido es aproximadamente 98,6 % de ácido tereftálico puro. En algunas realizaciones, el precipitado obtenido es aproximadamente 98,5 % de ácido tereftálico puro. En algunas realizaciones, el precipitado obtenido es aproximadamente 98,4 % de ácido tereftálico puro. En algunas realizaciones, el precipitado obtenido es aproximadamente 98,3 % de ácido tereftálico puro. En algunas realizaciones, el precipitado obtenido es aproximadamente 98,2 % de ácido tereftálico puro. En algunas realizaciones, el precipitado obtenido es aproximadamente 98,1 % de ácido tereftálico puro. En algunas realizaciones, el precipitado obtenido es aproximadamente 98,0 % de ácido tereftálico puro.

El filtrado que comprende el disolvente alcohólico y el disolvente apolar se recoge en un recipiente.

En algunas realizaciones, el filtrado comprende al menos uno de etilenglicol, derivados de etilenglicol, el disolvente alcohólico, ácido tereftálico solubilizado e impurezas solubles. En algunas realizaciones, las impurezas solubles son catalizadores, inhibidores, estabilizantes, pigmentos o alimentos residuales que estaban presentes en el tereftalato de polietileno de partida.

El filtrado se destila. En algunas realizaciones, la destilación se realiza a presión atmosférica (aproximadamente

97 kPa (14 psi)) o a presión (hasta aproximadamente 2,8 kPa (0,4 psi)). En algunas realizaciones, la destilación se realiza con aumento de temperatura. En algunas realizaciones, la temperatura de destilación es inferior a aproximadamente 100 °C. En algunas realizaciones, el destilado comprende el disolvente apolar, el disolvente alcohólico, trazas de etilenglicol, trazas de agua y trazas de derivados de etilenglicol.

5 En algunas realizaciones, el destilado que comprende el disolvente apolar y el disolvente alcohólico se reutiliza en la primera etapa del proceso de despolimerización de la presente invención. En algunas realizaciones, se añaden cantidades adicionales de disolvente apolar y disolvente alcohólico.

10 En algunas realizaciones, el residuo que queda después de la destilación comprende etilenglicol, derivados de etilenglicol e impurezas no volátiles. En algunas realizaciones, las impurezas no volátiles son sólidas. En algunas realizaciones, las impurezas no volátiles se retiran por filtración.

El filtrado comprende etilenglicol y derivados de etilenglicol.

15 En algunas realizaciones, el etilenglicol se purifica mediante destilación. En algunas realizaciones, la destilación se realiza a presión atmosférica (aproximadamente 97 kPa (14 psi)) o a presión (hasta aproximadamente 2,8 kPa (0,4 psi)). En algunas realizaciones, la destilación se realiza con aumento de temperatura. En algunas realizaciones, la temperatura de destilación es inferior a aproximadamente 250 °C.

20 En algunas realizaciones, el etilenglicol se purifica mediante filtración con membrana cerámica.

En algunas realizaciones, el etilenglicol tiene una pureza de aproximadamente 99,9 %. En algunas realizaciones, el etilenglicol tiene una pureza de aproximadamente 99,8 %. En algunas realizaciones, el etilenglicol tiene una pureza de aproximadamente 99,7 %. En algunas realizaciones, el etilenglicol tiene una pureza de aproximadamente 99,6 %. En algunas realizaciones, el etilenglicol tiene una pureza de aproximadamente 99,5 %. En algunas realizaciones, el etilenglicol tiene una pureza de aproximadamente 99,4 %. En algunas realizaciones, el etilenglicol tiene una pureza de aproximadamente 99,3 %. En algunas realizaciones, el etilenglicol tiene una pureza de aproximadamente 99,2 %. En algunas realizaciones, el etilenglicol tiene una pureza de aproximadamente 99,1 %. En algunas realizaciones, el etilenglicol tiene una pureza de aproximadamente 99,0 %. En algunas realizaciones, el etilenglicol tiene una pureza de aproximadamente 98,9 %. En algunas realizaciones, el etilenglicol tiene una pureza de aproximadamente 98,8 %. En algunas realizaciones, el etilenglicol tiene una pureza de aproximadamente 98,7 %. En algunas realizaciones, el etilenglicol tiene una pureza de aproximadamente 98,6 %. En algunas realizaciones, el etilenglicol tiene una pureza de aproximadamente 98,5 %. En algunas realizaciones, el etilenglicol tiene una pureza de aproximadamente 98,4 %. En algunas realizaciones, el etilenglicol tiene una pureza de aproximadamente 98,3 %. En algunas realizaciones, el etilenglicol tiene una pureza de aproximadamente 98,2 %. En algunas realizaciones, el etilenglicol tiene una pureza de aproximadamente 98,1 %. En algunas realizaciones, el etilenglicol tiene una pureza de aproximadamente 98,0 %.

Terminología específica

40 Los encabezados de sección utilizados en el presente documento tienen fines únicamente organizativos y no deben considerarse limitantes de la materia objeto descrita.

45 A menos que se definan de otro modo, todos los términos técnicos y científicos utilizados en el presente documento tienen el mismo significado que se entiende habitualmente al que pertenece el tema reivindicado. En el caso en el que exista una pluralidad de definiciones para los términos en el presente documento, prevalecen los de esta sección.

50 Debe entenderse que la descripción general y la descripción detallada son solo ilustrativas y explicativas y no son restrictivas de ninguna materia objeto reivindicada. En la presente solicitud, el uso del singular incluye el plural a menos que se indique específicamente otra cosa. Cabe señalar que, como se usa en la memoria descriptiva y en las reivindicaciones adjuntas, las formas en singular "un", "uno/a" y "el/la" incluyen referencias a los plurales a menos que el contexto indique claramente lo contrario. En la presente solicitud, el uso de "o" significa "y/o" a menos que se indique otra cosa. Asimismo, el uso del término "que incluye", así como otras formas, tales como "incluyen", "incluye", e "incluido/a", no es limitante.

55 A menos que el contexto requiera otra cosa, a lo largo de esta memoria descriptiva y de las reivindicaciones que siguen, la palabra "comprenden" y variaciones de la misma, tales como, "comprende" y "que comprende" deben interpretarse en un sentido abierto e inclusivo, es decir, como "incluyendo, pero sin limitación". Además, los encabezados proporcionados en el presente documento son solo con fines de comodidad y no interpretan el ámbito o significado de la invención reivindicada.

60 Tal como se usa en la presente memoria descriptiva y en las reivindicaciones adjuntas, las formas en singular "un", "uno/una", y "el" o "la", incluyen referencias en plural a menos que el contenido dicte claramente lo contrario. También debe tenerse en cuenta que el término "o" se emplea generalmente en su sentido, incluyendo "y/o" a menos que el contenido indique claramente lo contrario.

Como se utiliza en el presente documento, el término "aproximadamente" o "aproximado" significa dentro del 20 %, preferentemente, dentro del 10 % y, más preferentemente, dentro del 5 % de un valor o intervalo de valores dado.

Como se utiliza en el presente documento, la temperatura ambiente es una expresión coloquial de la temperatura interior (climatizada) típica o preferida a la que la gente está generalmente acostumbrada. Representa el pequeño intervalo de temperaturas en las que el aire no se siente ni caliente ni frío, aproximadamente 21 °C. En algunas realizaciones, la temperatura ambiente es 25±5 °C. En algunas realizaciones, la temperatura ambiente es de 18 °C. En algunas realizaciones, la temperatura ambiente es de 19 °C. En algunas realizaciones, la temperatura ambiente es de 20 °C. En algunas realizaciones, la temperatura ambiente es de 21 °C. En algunas realizaciones, la temperatura ambiente es de 22 °C. En algunas realizaciones, la temperatura ambiente es de 23 °C. En algunas realizaciones, la temperatura ambiente es de 24 °C. En algunas realizaciones, la temperatura ambiente es de 25 °C. En algunas realizaciones, la temperatura ambiente es de 26 °C. En algunas realizaciones, la temperatura ambiente es de 27 °C. En algunas realizaciones, la temperatura ambiente es de 28 °C. En algunas realizaciones, la temperatura ambiente es de 29 °C. En algunas realizaciones, la temperatura ambiente es de 30 °C. En algunas realizaciones, la temperatura ambiente es de 31 °C. En algunas realizaciones, la temperatura ambiente es 32 °C.

Tal como se usa en la presente memoria descriptiva y en las reivindicaciones adjuntas, la despolimerización se refiere a una forma de romper un polímero en su material de partida. Es esencialmente lo opuesto a la polimerización. En algunas realizaciones, la despolimerización se consigue mediante glucólisis, metanólisis o hidrólisis, clasificados por el reactivo de despolimerización utilizado, tales como glicol, metanol o agua, respectivamente.

La definición de términos químicos estándar se puede encontrar en obras de referencia, incluyendo, aunque no de forma limitativa, Carey and Sundberg "Advanced Organic Chemistry 4ª Ed". Vols. A (2000) y B (2001), Plenum Press, New York.

Los términos siguientes, como se utilizan en el presente documento, tienen los siguientes significados, a menos que se indique lo contrario:

"Alquilo lineal" se refiere a un radical de cadena de hidrocarburo lineal que está unido al resto de la molécula mediante un enlace sencillo. Un alquilo lineal que comprende hasta 4 átomos de carbono se denomina alquilo C₁-C₄ lineal, del mismo modo, por ejemplo, un alquilo lineal que comprende hasta 3 átomos de carbono es un alquilo C₁-C₃ lineal. Los grupos alquilo lineales incluyen alquilo C₁-C₄ lineal, alquilo C₁-C₃ lineal, alquilo C₁-C₂ lineal, alquilo C₂-C₃ lineal y alquilo C₂-C₄ lineal. Los grupos alquilo representativos incluyen, metilo, etilo, propilo y butilo.

"Alquilo ramificado" se refiere a un radical de cadena de hidrocarburo ramificado que está unido al resto de la molécula mediante un enlace sencillo. Un alquilo ramificado que comprende entre 3 y 4 átomos de carbono se denomina alquilo C₃-C₄ ramificado. Los grupos alquilo ramificados representativos incluyen, pero sin limitación, t-butilo, s-butilo, i-butilo, i-propilo y s-propilo. "Alquilo cíclico" se refiere a un radical de cadena de hidrocarburo cíclico que está unido al resto de la molécula mediante un enlace sencillo. Un alquilo cíclico que comprende entre 3 y 8 átomos de carbono se denomina alquilo C₃-C₈ cíclico. Los grupos de alquilo cíclico incluyen alquilo C₃-C₈ cíclico, alquilo C₃-C₇ cíclico, alquilo C₃-C₆ cíclico y alquilo C₃-C₄ cíclico. Los grupos alquilo cíclico representativos incluyen, pero sin limitación, ciclopropilo, ciclobutilo, ciclopentilo, ciclohexilo o cicloheptilo.

"Alcohol C₁-C₄ lineal", "alcohol C₃-C₄ ramificado" y "alcohol C₃-C₈ cíclico" se refieren a la fórmula ROH en donde R es un radical alquilo como se ha definido anteriormente. El alcohol representativo incluye, pero sin limitación, metanol, etanol, n-propanol, n-butanol, t-butanol, s-butanol, i-butanol, i-propanol, s-propanol, ciclopropanol, ciclobutanol, ciclopentanol, ciclohexanol o cicloheptanol. En algunas realizaciones, el alcohol es metanol. En algunas realizaciones, el alcohol es etanol.

"alcoxi C₁-C₄" se refiere a un radical de fórmula -OR, en donde R es un radical alquilo que tiene de uno a cuatro átomos de carbono como se ha definido. Los grupos alcoxi representativos incluyen, pero sin limitación, metoxi, etoxi, n-propoxi, n-butoxi, t-butoxi, s-butoxi, i-butoxi, i-propoxi y s-propoxi. En algunas realizaciones, el alcoxi es metoxi. En algunas realizaciones, el alcoxi es etoxi.

Ejemplos

Los siguientes ejemplos pretenden ilustrar, pero no limitar, las realizaciones desveladas.

Ejemplo 1:

Se introdujo tereftalato de polietileno lavado y triturado (2 kg, incluyendo tapas y etiquetas) en un reactor de acero inoxidable. Se añadió diclorometano (300 ml) y la mezcla se agitó a temperatura ambiente y a presión atmosférica. A continuación se añadió hidróxido potásico (716 g) disuelto en metanol (6 l) seguido de una cantidad adicional de metanol (0,4 l) a la mezcla de reacción y la mezcla resultante se agitó durante 66 minutos (las alícuotas tomadas a 2, 10, 25, 35 y 50 minutos mostraron que la reacción de despolimerización se completó después de 25 minutos). La mezcla de reacción se filtró después. La torta de filtro (que contiene tapas, etiquetas, tereftalato de polietileno no despolimerizado, trazas de etilenglicol y una pequeña cantidad de la sal de potasio de ácido tereftálico) se lavó con agua desionizada.

El pH del filtrado se redujo a aproximadamente 2 mediante la adición de ácido sulfúrico acuoso. El precipitado obtenido se filtró y se lavó con una cantidad mínima de metanol para producir ácido tereftálico.

El filtrado se destiló para recuperar primero el diclorometano y el metanol y luego para recuperar el etilenglicol.

5

Ejemplo 2: Ejemplo comparativo

Experimento n.º 1:

- 10 Se añadió tereftalato de polietileno lavado y triturado (2,5 g, incluyendo tapas y etiquetas) a una solución de hidróxido potásico (10 ml, 5M en metanol) y DMSO (40 ml). La mezcla resultante se agitó a temperatura ambiente y a presión atmosférica durante 30 minutos.

Experimento n.º 2:

15

Se añadió tereftalato de polietileno lavado y triturado (2,5 g, incluyendo tapas y etiquetas) a una solución de hidróxido potásico (10 ml, 5M en metanol) y diclorometano (40 ml). La mezcla resultante se agitó a temperatura ambiente y a presión atmosférica durante 30 minutos.

- 20 Después de 30 minutos, se logró la despolimerización completa en el Experimento n.º 2 mientras que la despolimerización en el Experimento n.º 1 apenas había comenzado. Después de tres días, la despolimerización en el Experimento n.º 1 todavía no estaba completa.

En el caso del Experimento n.º 2, se recuperaron 1,7 g de ácido tereftálico.

25

Ejemplo 3:

Se añadió tereftalato de polietileno lavado y triturado (58 g, incluyendo tapas y etiquetas) a una solución de hidróxido potásico (100 g en metanol) y diclorometano. La mezcla resultante se agitó a presión atmosférica para producir 40 g de ácido tereftálico.

30

Ejemplo 4:

Se añadió diclorometano (4,5 kg) a tereftalato de polietileno blanco lavado y triturado sin tapas ni etiquetas (calidad BLT, 15 kg). La mezcla se agitó a temperatura ambiente durante 18 minutos, seguido de la adición de una mezcla de hidróxido potásico (8,8 kg) en metanol (30 kg). Se midió que la temperatura interna era de 50 °C. La mezcla resultante se agitó durante 45 minutos. El perfil de impurezas del ácido tereftálico resultante se muestra en la tabla 1.

35

Tabla 1

Propiedades	Resultados	Unidades	Método
4-carboxibenzaldehído	14,4	ppm	HPLC-MS
ácido <i>para</i> -toluico	94,4	ppm	HPLC-MS
A1	0,345 ± 0,004	ppm	ICP-MS
As	por debajo del límite de detección	ppm	ICP-MS
Ca	4,591 ± 0,021	ppm	ICP-MS
Co	0,007 ± 0,022	ppm	ICP-MS
Cr	0,235 ± 0,007	ppm	ICP-MS
Fe	0,360 ± 0,008	ppm	ICP-MS
K	180 ± 2,592	ppm	ICP-MS
Mn	0,014 ± 0,006	ppm	ICP-MS
Mo	0,009 ± 0,001	ppm	ICP-MS
Na	126,362 ± 1,364	ppm	ICP-MS
Ni	0,019 ± 0,001	ppm	ICP-MS

(continuación)

Propiedades	Resultados	Unidades	Método
Ti	0,029 ± 0,001	ppm	ICP-MS
Pb	0,146 ± 0,002	ppm	ICP-MS

Ejemplo 5:

En un matraz pyrex de 250 ml se introdujeron tereftalato de polietileno (10 g) y diclorometano (6 g). Se disolvió por separado hidróxido sódico (4,32 g) en agua (3,6 g) y metanol (32,93 g). Tras 20 min, se añadió la solución básica a la mezcla de diclorometano/PET y se continuó mezclando durante 10 días a temperatura ambiente y a presión atmosférica. Se añadió agua (200 ml) para disolver todas las sales de ácido tereftálico y la solución se filtró para producir 0,1 g de material de partida sin reaccionar u oligómeros insolubles. La solución acuosa se acidificó y se formó un precipitado. Los sólidos se filtraron para producir un 99 % de ácido tereftálico y derivados del ácido tereftálico.

Ejemplo 6:

En un matraz pyrex de 250 ml se introdujeron tereftalato de polietileno (10 g) y diclorometano (5 g). Se disolvieron por separado hidróxido sódico (2,65 g) e hidróxido potásico (1,5 g) en metanol (50 g). Tras 20 min, las soluciones básicas se añadieron a la mezcla de diclorometano/PET y se continuó mezclando durante 3 días a temperatura ambiente y a presión atmosférica. Se añadió agua (200 ml) para disolver todas las sales del ácido tereftálico y los derivados del ácido tereftálico. La solución se filtró para producir 0,85 g de material de partida sin reaccionar u oligómeros insolubles. La solución acuosa se acidificó y se formó un precipitado. Los sólidos se filtraron para producir 4,65 g de una mezcla de ácido tereftálico/ácido 4-(metoxicarbonil)benzoico (relación 2,16:1).

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para despolimerizar un polímero, que comprende una funcionalidad éster en los componentes de alcohol y ácido carboxílico correspondientes para su uso en la producción de nuevos polímeros, que comprende mezclar el polímero con una mezcla de:
 - (i) un disolvente apolar para hinchar el polímero, en donde el disolvente apolar es un disolvente halogenado; y
 - (ii) un agente para romper la funcionalidad éster que consiste en una mezcla de un alcohol y un hidróxido;
- en donde el mezclado continúa durante un tiempo suficiente para despolimerizar al menos una parte del polímero en los componentes de alcohol y ácido carboxílico correspondientes; y en donde el proceso se realiza sin aplicar calor externo.
2. El proceso de la reivindicación 1, en donde la relación entre el disolvente apolar y el alcohol es de 1:10 a 1:50 (v:v).
3. El proceso de la reivindicación 1, en donde el polímero se mezcla con el disolvente apolar, el hidróxido y el alcohol durante de 0 h a 5 h.
4. El proceso de la reivindicación 3, en donde el polímero se mezcla con el disolvente apolar, el hidróxido y el alcohol a presión atmosférica.
5. El proceso de la reivindicación 1, en donde el disolvente apolar es diclorometano, dicloroetano, tetracloroetano, cloroformo, tetraclorometano, tricloroetano o una combinación de los mismos.
6. El proceso de la reivindicación 1, en donde el alcohol es un alcohol C₁-C₄ lineal.
7. El proceso de la reivindicación 1, en donde el hidróxido se selecciona de un grupo que consiste en un hidróxido de metal alcalino, un hidróxido de metal alcalinotérreo, un hidróxido de amonio y una combinación de los mismos.
8. El proceso de la reivindicación 1, en donde el polímero que comprende la funcionalidad éster es tereftalato de polietileno y en donde los componentes de alcohol y ácido carboxílico correspondientes para la producción del polímero son ácido tereftálico o una sal del mismo y etilenglicol.
9. El proceso de la reivindicación 8, en donde el ácido tereftálico o una sal del mismo obtenido del proceso de despolimerización contienen menos del 1 % de impurezas (p/p).
10. El proceso de la reivindicación 9, en donde la impureza comprende al menos uno de ácido isoftálico, ácido ftálico, ácido 4-metilbenzoico, ácido 4-formilbenzoico y metales.
11. Un proceso para despolimerizar un polímero que comprende una funcionalidad éster en los componentes de alcohol y ácido carboxílico correspondientes para su uso en la producción de nuevos polímeros, que comprende mezclar el polímero con una mezcla de:
 - (i) del 3 al 5 % (vol.) de un disolvente apolar para hinchar el polímero, en donde el disolvente apolar es un disolvente halogenado;
 - (ii) del 95 al 97 % (vol.) de un alcohol C₁-C₄ lineal; y
 - (iii) un hidróxido;
- en donde el mezclado continúa durante 1 h; y
- en donde el proceso se realiza sin aplicar calor externo.
12. El proceso de la reivindicación 11, en donde el polímero que comprende la funcionalidad éster es tereftalato de polietileno y en donde los componentes de alcohol y ácido carboxílico correspondientes para la producción del polímero son ácido tereftálico o una sal del mismo y etilenglicol.
13. El proceso de la reivindicación 12, en donde el ácido tereftálico o una sal del mismo obtenido del proceso de despolimerización contienen menos del 1 % de impurezas (p/p).
14. El proceso de la reivindicación 13, en donde la impureza comprende al menos uno de ácido isoftálico, ácido ftálico, ácido 4-metilbenzoico, ácido 4-formilbenzoico y metales.
15. Un proceso para despolimerizar tereftalato de polietileno en ácido tereftálico o una sal del mismo y etilenglicol, que comprende mezclar tereftalato de polietileno con una mezcla de:
 - (i) del 3 al 5 % (vol.) de un disolvente apolar para hinchar el polímero, en donde el disolvente apolar es un disolvente halogenado;

- (ii) del 95 al 97 % (vol.) de un alcohol C₁-C₄ lineal; y
- (iii) un hidróxido;

en donde el mezclado continúa durante 1 h; y

5 en donde el proceso se realiza sin aplicar calor externo.