

PROCESO E INSTALACIÓN PARA RECICLAR TEXTILES

Campo de la invención

5 [0001] La presente invención versa acerca de un proceso y una instalación para reciclar textiles. Con mayor detalle, la presente invención versa acerca de un proceso para reciclar textiles que contienen fibras cortadas celulósicas y poliéster. El proceso permite eliminar el poliéster y recuperar y reciclar las fibras cortadas celulósicas de los textiles de mezcla de poliéster, en concreto de textiles tales como géneros, prendas
10 de vestir, hilos y fibras que contienen filamentos de poliéster o fibras de poliéster y fibras cortadas celulósicas, en particular fibras cortadas de algodón.

Las fibras de algodón y celulósicas recuperadas según el proceso son adecuadas para ser utilizadas como fibras cortadas para la producción de hilos sin tener que ser disueltas y regeneradas formando fibras celulósicas artificiales.

15 Estado de la técnica

[0002] El reciclado de residuos textiles, especialmente géneros y prendas de vestir y vestimenta utilizados, se ha convertido en un objetivo fundamental en la industria textil. Los residuos textiles incluyen géneros previos al consumo, tales como géneros de desecho e hilos o filamentos obtenidos en el proceso de fabricación de géneros y
20 prendas de vestir y de hilos, géneros defectuosos, y textiles posteriores al consumo, tales como prendas de vestir y géneros utilizados o defectuosos que se derivan de tapizados. Se están investigando activamente procesos novedosos y eficaces para reciclar residuos textiles.

[0003] Uno de los objetivos de la invención es recuperar y reciclar las fibras celulósicas, especialmente las fibras de algodón de los hilos, y recuperar como monómeros correspondientes el poliéster que está presente en géneros y textiles de mezcla, es decir, en géneros y textiles que son conocidos habitualmente como géneros de polialgodón o poliéster-algodón. Los géneros de polialgodón incluyen hilos que comprenden fibras cortadas de celulosa y filamentos o fibras de poliéster. Según se
25 define en la presente solicitud, un género de mezcla puede comprender hilos que contienen hilos de algodón y de poliéster y/o hilos de algodón sin poliéster en combinación con hilos de poliéster sin fibras de algodón. Los hilos son tejidos o tricotados formando una estructura de género. Una prenda de vestir que se procesa
30

según la invención también puede incluir elementos no textiles, normalmente fabricados de materiales metálicos o plásticos, tales como cremalleras, remaches, etiquetas, etcétera.

[0004] En la técnica se conocen procedimientos de reciclado de géneros que contienen poliéster. Algunos procedimientos incluyen la despolimerización del contenido de poliéster en el género para obtener los monómeros de partida de ácido tereftálico (ATF) y etilenglicol (EG). Los procesos conocidos de reciclado de este tipo requieren un corte previo o un proceso de trituración del género antes de tratarlo con una solución de despolimerización. Los productos finales incluyen pasta de celulosa, ATF y EG; se pueden utilizar ATF y EG para la producción de poliéster o para otros usos.

[0005] El documento WO 2019/140245 da a conocer un procedimiento y un sistema para reciclar un género de polialgodón en el que se trata un género triturado en una solución acuosa a un pH de 10-14 en condiciones subcríticas a una temperatura de 105°C hasta 190°C y una presión de 275,79 kPa a 2,07 MPa durante un tiempo de 0 a 90 minutos. El componente de poliéster es despolimerizado formando ATF y EG, las fibras de algodón son degradadas formando una pasta de celulosa que es reciclada subsiguientemente mediante un procesamiento adicional formando fibras celulósicas artificiales, es decir, material de celulosa regenerado que incluye rayón, viscosa, lyocell o acetato de celulosa.

[0006] Los procesos conocidos tienen la desventaja de que incluyen etapas costosas y que llevan mucho tiempo, tales como la trituración del género antes de la etapa de despolimerización y el procesamiento de la pasta de celulosa obtenida al final de la etapa de despolimerización para obtener fibras de celulosa regeneradas utilizables tras la disolución de la pasta y de varias etapas adicionales de procesamiento. En particular, según se expone en la sección experimental de la presente solicitud, el proceso del documento WO 2019/140245 tiene como resultado una pérdida significativa del grado de polimerización (pérdida del DP, por sus siglas en inglés) de las fibras de algodón; tal pérdida afecta negativamente a la posibilidad de reciclar las fibras de algodón en un hilo de algodón con procesos mecánicos conocidos. Además, el documento WO 2019/140245 enseña, véanse los ejemplos 7 - 8, que una despolimerización completa de poliéster en pequeñas porciones de géneros de polialgodón requiere el uso de catalizadores, teniendo como resultado este proceso en una solución que contiene catalizadores que es muy difícil de desechar o reciclar, o

requiere el uso de MeOH como codisolvente, teniendo como resultado este proceso una pérdida drástica del DP en las fibras de algodón del género tras la despolimerización del poliéster.

[0007] Un problema adicional es que, como se enseña, por ejemplo, en el documento WO2019/140245, los procesos conocidos de reciclado de prendas de vestir permiten reciclar únicamente parte de la prenda de vestir debido a que la o las porciones de las prendas de vestir que tienen cremalleras, remaches, etiquetas, botones y elementos similares son cortadas de la prenda de vestir antes de procesarla. Como ejemplo, la parte superior de unos tejanos, que contiene remaches y cremalleras, es eliminada de la prenda de vestir, de forma que solo se reciclen las porciones de pernera. Esta etapa tiene como resultado un menor porcentaje del género de la prenda de vestir que es reciclado y un coste adicional de procesamiento.

[0008] Por lo tanto, un objetivo de la presente invención es solucionar las desventajas mencionadas anteriormente de los procesos conocidos de reciclado de textiles de poliéster-algodón y proporcionar un proceso de reciclado que proporcione una forma segura, económica, sencilla y ecológicamente limpia de reciclar residuos textiles, de géneros, de prendas de vestir, de hilos y fibras de poliéster-algodón, recuperando las fibras de algodón (o celulósicas) en un estado adecuado para ser utilizadas como tales, es decir, como fibras cortadas, en la producción de hilos. En otras palabras, un objetivo de la invención es reciclar mecánicamente las fibras de algodón formando hilos.

[0009] Otro objetivo de la invención es evitar la etapa de tratamiento de la pasta de celulosa resultante de las fibras cortadas de algodón (o celulósicas) en los residuos de géneros de poliéster-algodón. Un objetivo adicional de la invención es el reciclado de una prenda de vestir sin una eliminación anterior de cremalleras y de elementos no textiles similares.

Sumario de la invención

[0010] Los anteriores objetivos de la invención son logrados mediante el proceso según las reivindicaciones independientes 1 y 17, y mediante una instalación según la reivindicación independiente 15. Los textiles que pueden obtenerse mediante el proceso de la invención son el objeto de las reivindicaciones 20 y 21. Los aspectos preferidos de la invención son enumerados en las respectivas reivindicaciones dependientes.

[0011] El proceso está dirigido al reciclado de residuos “textiles de mezcla”, es decir, a

textiles que comprenden tanto poliéster como algodón, tales como los denominados textiles de “polialgodón”, o que contienen poliéster y otras fibras celulósicas distintas del algodón. Normalmente, el poliéster tiene la forma de filamentos; también puede tener la forma de fibras cortadas de poliéster, por ejemplo en un hilo. El poliéster también puede tener la forma de hilos de costura utilizados para coser entre sí las partes de la prenda de vestir que han de ser tratadas. En vista del objetivo de la invención es recuperar el contenido valioso de algodón de una forma reutilizable, preferiblemente la cantidad de poliéster en un textil según la invención es un 1% hasta un 60% en peso del peso del textil, más preferiblemente la cantidad de poliéster es de un 4% hasta un 50% en peso.

[0012] En una realización de la invención, el proceso se dirige al reciclado de prendas de vestir en forma de “prenda de vestir integral”; aquí se utiliza la expresión prenda de vestir “integral” para definir una prenda de vestir que incluye elementos no textiles tales como botones, remaches, cremalleras, etcétera, según se ha expuesto anteriormente.

El proceso para reciclar prendas de vestir es dirige a prendas de vestir fabricadas de textiles de mezcla, o que los incluyen, y también a prendas de vestir en las que el género está fabricado de un 100% de fibras de algodón o celulósicas y el poliéster solo está presente como hilos o líneas de costura utilizados para coser entre sí las partes de la prenda de vestir.

[0013] El solicitante descubrió que al aplicar el proceso de la invención a prendas de vestir que tienen hilos de costura de poliéster es posible disolver las referidas líneas de costura, de forma que la prenda de vestir tratada se reduzca a partes separadas. Las partes separadas obtenidas tras el proceso incluyen —por ejemplo en unos tejanos, pantalones— partes tales como bolsillos, perneras y las partes no textiles (botones, cremalleras, remaches, etc.) que también se separan de la prenda de vestir al final del proceso. Por lo tanto, tras el proceso de la invención las partes no textiles pueden ser eliminadas de las prendas de vestir tratadas para obtener una pluralidad de partes tratadas de prenda de vestir que están fabricadas de género que consiste en fibras de algodón (o de fibras celulósicas). Los géneros de algodón obtenidos de esta manera pueden ser trabajados, de esta manera, formando fibras sueltas de algodón, de formas conocidas *per se* en la técnica, que son adecuadas para ser recicladas formando hilos de algodón mediante hilatura y procesos similares.

[0014] Aquí, el término “textiles” hace referencia a géneros, prendas de vestir, hilos y

fibras. El género puede ser un género tejido, un género tricotado o un género no tejido. Las prendas de vestir incluyen cualquier artículo de vestimenta, tal como camisetas, pantalones, tejanos, chaquetas, camisas, prendas de vestir deportivas, etcétera. En algunas realizaciones, las prendas de vestir pueden ser utilizadas en el proceso tal cual; es decir, las prendas de vestir pueden comprender elementos no textiles tales como cremalleras, remaches, botones (estando fabricados estos elementos, normalmente, de metal o de plástico) y etiquetas. Los hilos ejemplares de polialgodón son hilos con alma que tienen un alma de poliéster y una funda de algodón que incluye fibras cortadas de algodón. Los textiles de mezcla no tejidos pueden incluir filamentos no tejidos de poliéster sobre un sustrato de algodón o celulósico.

[0015] La expresión “fibras celulósicas” define aquí fibras de algodón, fibras derivadas del algodón, fibras de algodón modificado y otras fibras utilizadas, normalmente, en un hilo tales como fibras de lino, lino fibroso, fibras de yute, fibras de cáñamo, fibras de ramio, fibras de kenaf, fibras de sisal, fibras de henequén y similares. Las fibras de algodón y celulósicas en el textil que ha de ser reciclado tienen, en general, la forma de fibras cortadas en un hilo. La viscosa y otras fibras artificiales a base de celulosa se encuentran bajo la definición de fibras celulósicas en la presente solicitud. En ambos casos, las fibras de algodón o las fibras celulósicas son recuperadas como tal (por ejemplo, en la forma original de fibras cortadas de un hilo) en vez de ser reducidas a una pasta. Como ejemplo, un hilo con alma de polialgodón, fabricado de una funda de algodón y un alma de poliéster, que es tratado según el proceso de la invención, tendrá como resultado finalmente un hilo en el que solo está presente la funda al final del proceso, habiendo sido disuelto el poliéster formando la sal disódica de ATF y EG mediante la solución de despolimerización durante el proceso.

[0016] Se entiende que la expresión “relación de baño” define la relación entre el peso seco de los textiles que han de ser reciclados y el peso de la solución, en la que, según la etapa del proceso de la invención, la solución es bien la solución de despolimerización, o bien la solución de decoloración o la solución de lavado utilizada en etapas adicionales del proceso según se describe en la descripción posterior en el presente documento.

[0017] Se entiende que los términos “disolver” o “disolución”, cuando hacen referencia al poliéster, definen el resultado de la despolimerización del poliéster formando sus monómeros, por lo que los filamentos o fibras de poliéster ya no están sustancialmente

presentes en el textil tratado tras el proceso de la invención.

[0018] Se entiende que la expresión “hacer circular” referida a la solución de despolimerización define que la solución es sometida a un flujo que es forzado a pasar a través de los textiles y a través de una cámara de reacción en la que se contienen los textiles. El flujo es generado, preferiblemente, por una bomba que alimenta la solución al interior de la cámara de reacción a través de los textiles y a través de la cámara. La solución abandona la cámara de reacción y es retroalimentada, subsiguientemente, a la misma para que circule de nuevo a través de los textiles y a través de la cámara. También se hace que las soluciones de decoloración y de lavado circulen a través de los textiles varias veces de la misma forma que la solución de despolimerización. La instalación para llevar a cabo el proceso de la invención comprende un circuito fluídico que incluye, normalmente, una entrada a la cámara de reacción y una salida de la misma.

[0019] Los textiles son mantenidos en la cámara de reacción en una condición inmóvil, es decir, estática. Se entiende que la expresión condición “inmóvil” o “estática” define que los textiles están alojados en una cámara de reacción y que están contenidos en ella mientras se alimenta la solución de despolimerización (o la solución de decoloración o la solución de lavado) a través de los textiles. Los textiles llenan la cámara de forma que no se muevan con la solución; es decir, no son desplazados por la acción del flujo de la solución. En una realización preferida, los textiles son comprimidos en la cámara. El hecho de que los textiles llenen la cámara, posiblemente sean prensados y comprimidos en ella, también proporciona la ventaja de mejorar mucho la productividad del proceso. En otras palabras, las realizaciones que permiten que los textiles sean agitados o movidos en una solución de despolimerización, tal como, por ejemplo, en una lavadora por medio de un tambor giratorio, no son según la presente invención.

[0020] En particular, la presente invención versa acerca de un proceso para reciclar residuos textiles de mezcla que comprenden fibras de poliéster y celulósicas, preferiblemente fibras de algodón, incluyendo el proceso una despolimerización del poliéster en una solución acuosa básica, que comprende las siguientes etapas:

- a) proporcionar una cantidad de dichos textiles en una cámara de reacción;
- b) proporcionar una cantidad de dicha solución básica de despolimerización según una relación de baño en el intervalo de 1/2 y de 1/20 en peso de textil

con respecto al peso de la solución;

c) hacer circular dicha cantidad de solución de despolimerización a través de dichos textiles para despolimerizar dicho poliéster formando correspondientes monómeros y para eliminar dichos monómeros de poliéster de dichos textiles;

5 d) eliminar dicha solución de despolimerización de dicha cámara de reacción; en el que la temperatura de la referida solución de despolimerización en la etapa c) se encuentra en el intervalo entre 101 °C y 160 °C,

y en el que

e) los textiles se encuentran en una condición inmóvil, es decir, estática, y se

10 hace circular la solución a través de los mismos para proporcionar textiles tratados que comprenden fibras cortadas celulósicas, preferiblemente fibras cortadas de algodón, sustancialmente libres de material de poliéster.

[0021] De forma ventajosa, en el proceso se alimenta la cámara con una solución de despolimerización para despolimerizar fibras de poliéster de los residuos textiles de mezcla mantenidos en una condición inmóvil en el interior de la cámara de reacción bajo condiciones de reacción que permiten la escisión de los enlaces éster de poliéster formando sus monómeros, ácido tereftálico como sal disódica (Na_2TP) y etilenglicol (EG) y reducir drásticamente la alteración y la despolimerización de las fibras cortadas celulósicas.

20 [0022] Como puede verse en las figuras 1, 2 y 7 y se explica a continuación en la presente memoria, el flujo de solución de despolimerización es alimentado a la cámara, a través de los textiles fuera de la cámara y es devuelto de nuevo a la cámara y a través de los textiles varias veces para despolimerizar el poliéster presente en el textil. Se puede adaptar el número de veces, es decir, el número de ciclos que la solución es alimentada a través de los textiles, a la cantidad de poliéster en el textil que ha de ser tratado. De forma ventajosa, el número de veces, o de ciclos, que es alimentada la solución de despolimerización a través de textiles se encuentra en el intervalo de 30 hasta 480 ciclos por hora, preferiblemente de 50 hasta 400 ciclos por hora, más preferiblemente de 60 hasta 300 ciclos por hora, siendo lo más preferible de 70 hasta 200 ciclos por hora.

30 [0023] De forma ventajosa, se aumenta la temperatura de la solución de despolimerización en la cámara cerrada, por lo que se aumenta correspondientemente la presión, hasta tales valores que se despolimericen los filamentos o fibras de poliéster

pero se minimice y posiblemente evite la degradación o la alteración (por ejemplo, la reducción en el grado de polimerización) de las fibras celulósicas, por ejemplo las fibras cortadas de algodón.

[0024] De forma ventajosa en la etapa c) se hace circular una cantidad seleccionada de solución de despolimerización a la temperatura reivindicada, por ejemplo mediante una bomba, en la cámara y a través de los géneros en toda la duración de la etapa c) del proceso. En otras palabras, los residuos textiles de mezcla son mantenidos en una condición sustancialmente estática y son puestos en contacto varias veces con la solución de despolimerización haciendo pasar reiteradamente —es decir, haciendo circular— la solución a través de los géneros para aumentar el contenido de tereftalato de disodio (Na_2TP) o iones de tereftalato o EG y más generalmente productos de poliéster degradado en la referida solución, mientras se mantienen las fibras de algodón o celulósicas tan intactas como sea posible. Se ha descubierto que la combinación de mantener los textiles en una condición inmóvil, o estática, junto con la circulación —es decir, el flujo— de la solución de despolimerización a través de los textiles tiene como resultado la obtención de una despolimerización completa de poliéster y que al mismo tiempo se reduzca mucho una despolimerización del género de algodón.

[0025] De forma ventajosa, el efecto técnico de la circulación —es decir, del flujo— de la solución de despolimerización en condiciones poco agresivas a través de textiles estáticos, es decir, inmóviles, es proteger las cadenas de polímeros de celulosa contra la degradación y recuperar fibras de algodón y fibras celulósicas que son adecuadas para ser procesadas formando hilos reciclados de una forma conocida en la técnica, por ejemplo tratando mecánicamente los hilos para recuperar fibras para que sean hiladas formando nuevos hilos.

[0026] De forma ventajosa, al final del proceso, los filamentos/fibras de poliéster han sido eliminados (mediante despolimerización) de los géneros tratados que comprenden algodón u otras fibras celulósicas y que están sustancialmente libres de productos de degradación del poliéster, en particular de Na_2TP , ATF, y etilenglicol (EG). Los textiles tratados obtenidos con el proceso de la invención incluyen fibras de algodón/celulósicas, normalmente en forma de hilos, que pueden ser sometidas a procesos de reciclado de los hilos de algodón de formas conocidas en la técnica. Las fibras de algodón obtenidas, de esta manera, pueden ser utilizadas para procesos de

hilatura de hilos regulados según el grado de polimerización de las fibras de celulosa.

[0027] De forma ventajosa, en el caso de textiles tratados son prendas de vestir que comprenden no textiles, por ejemplo porciones de metal (o de plástico) (por ejemplo, botones, remaches, cremalleras), según el proceso de la invención los hilos de costura en poliéster que cosen entre sí las porciones de prendas de vestir son despolimerizados, de forma que dichos elementos metálicos o plásticos se separen de las prendas de vestir y puedan ser retirados de ellas y posiblemente reciclados.

[0028] De forma ventajosa, tras el tratamiento según el proceso de la invención una prenda de vestir que está fabricada de un género que consiste en hilos de algodón (100% algodón) proporcionará una fuente valiosa de fibras de algodón que siguen dotadas de propiedades mecánicas muy buenas.

[0029] Según un aspecto, la solución de despolimerización es una solución alcalina, preferiblemente una solución alcalina que comprende hidróxido de sodio o hidróxido de potasio. La referida solución contiene, preferiblemente, una cantidad en el intervalo entre 70 g/L y 500 g/L, más preferiblemente 76 hasta 120 g/L, de una solución de hidróxido de sodio con un grado Baumé igual a 48 °Be. En otras palabras, la concentración de NaOH en la solución de despolimerización se encuentra en el intervalo de 33 g/L hasta 237 g/L de NaOH, preferiblemente 36 g/L hasta 57 g/L de NaOH.

[0030] Según un posible aspecto, se selecciona la cantidad de solución de despolimerización que ha de ser utilizada en el proceso según la cantidad de textiles que han de ser tratados. En algunas realizaciones, la relación de baño se encuentra en el intervalo de 1/2 hasta 1/20, preferiblemente de 1/2 hasta 1/15, siendo lo más preferible de 1/5 hasta 1/8; la relación de baño es la relación en peso entre el peso de textiles que han de ser tratados y el peso de la solución de despolimerización.

[0031] Según un posible aspecto, en la etapa c) la temperatura de la solución de despolimerización se encuentra en un intervalo entre 101 °C y 160 °C, preferiblemente en el intervalo de 120°C hasta 160°C. De forma ventajosa, la temperatura de la solución de despolimerización se encuentra en el intervalo entre 130 °C y 140 °C; los intervalos reivindicados tienen como resultado la minimización de la alteración de las propiedades químicas y mecánicas de las fibras de algodón y celulósicas, tales como la longitud y las dimensiones de las referidas fibras, el grado de polimerización de la celulosa.

[0032] Según un posible aspecto, la presión en el interior de la cámara durante la etapa c) se encuentra en el intervalo de 105 kPa (5 kPaG) hasta 700 kPa (600 kPaG), preferiblemente 270 kPa (170 kPaG) hasta 700 kPa (600 kPaG), más preferiblemente 270 kPa (170 kPaG) hasta 550 kPa (450 kPaG).

- 5 [0033] Según un posible aspecto, la etapa c) de despolimerización es llevada a cabo durante un periodo de tiempo entre 91 minutos hasta 240 minutos, preferiblemente entre 100 minutos hasta 150 minutos, más preferiblemente 120 minutos.

[0034] En una realización preferida, la etapa c) del proceso es llevada a cabo a 130 °C durante 120 minutos, preferiblemente a una presión en el intervalo de 270 kPa a 550 kPa.

10 [0035] De forma ventajosa, la anterior relación de baño a la temperatura y a la presión de baño reivindicadas tiene como resultado una despolimerización completa o sustancialmente completa de las fibras de poliéster cuando se hace circular la solución a través de la cámara y los textiles estáticos durante la cantidad de tiempo reivindicada.

15 Preferiblemente, la dirección en la que se hace circular la solución a través de la cámara de reacción puede ser una dirección de flujo, preferiblemente desde el centro hacia los lados de la cámara, o se puede cambiar la dirección de flujo durante el proceso de despolimerización para invertir un flujo dirigido desde el centro de la cámara hasta la pared periférica con un flujo dirigido desde la pared periférica hasta el

20 centro de la cámara. Tras dicho periodo de tiempo, se enfría la solución de despolimerización hasta una temperatura entre 40 °C y 80 °C.

[0036] Según se ha mencionado anteriormente, se mantienen inmóviles los textiles, en una condición estática, y se bombea la solución de despolimerización a la cámara de reacción que contiene los textiles, a través de los textiles y fuera de la cámara,

25 preferiblemente varias veces hasta que se haya despolimerizado por completo el poliéster. Las prendas de vestir llenan una porción de la cámara de reacción, es decir, de despolimerización, y son mantenidas en su lugar por elementos estructurales adecuados que evitan que los textiles se muevan dentro de la cámara. Preferiblemente, se mantienen los textiles en un estado comprimido de manera que se

30 llene completamente la porción relevante de la cámara: este estado tiene la ventaja de que la solución de despolimerización fluya a través de todas las prendas de vestir estáticas y de que se obtenga una elevada productividad del proceso.

[0037] Una ventaja de la invención es que algunos tipos de tintes son eliminados de

los textiles durante la etapa de despolimerización. De hecho, se eliminan los tintes reactivos a través de hidrólisis mediante decoloración reductiva de los residuos textiles. La eliminación de los tintes reactivos puede ser llevada a cabo por medio de técnicas que son conocidas, *per se*, en la técnica.

5 [0038] De forma ventajosa, se pueden eliminar, es decir, separar, los tintes índigo e indigoide, al menos en parte de los textiles mediante el flujo de la solución de despolimerización que se hace circular a través de los textiles. Los tintes índigo separados se acumulan en dicha solución, de la que pueden ser recuperados en una etapa subsiguiente.

10 [0039] Según un posible aspecto, el proceso comprende, además, una etapa de decoloración de los géneros tratados en la cámara de reacción por medio de una solución desteñido/decoloración que comprende un agente oxidante tal como peróxido de hidrógeno, perborato, percarbonato, preferiblemente peróxido de hidrógeno. La etapa de decoloración es llevada a cabo tras eliminar la solución de despolimerización
15 de la cámara; normalmente queda algo de solución de despolimerización en los textiles después de eliminar la solución. De forma similar a la solución de despolimerización también se hace circular la solución de decoloración a través de los textiles estáticos, por ejemplo por medio de una bomba.

[0040] De forma ventajosa, la solución de decoloración permite eliminar el color
20 impartido por los tintes índigo restantes de los textiles tratados. La solución de decoloración puede incluir agentes estabilizantes y agentes humectantes, preferiblemente agentes de dispersión tales como, por ejemplo, Permulsin FF (Bozzetto Group) y/o agentes humectantes tales como Sanwet NW 2109 (Chemko) y/o agentes estabilizantes para el agente oxidante, tal como Sanstabil A100 (Chemko).

25 [0041] Según un posible aspecto, se proporciona la solución de decoloración en una cantidad según una relación de baño en el intervalo de 1/2 hasta 1/20, preferiblemente de 1/7 hasta 1/9, más preferiblemente de 1/8 en peso de textiles (secos) y solución de decoloración. El pH de la solución de decoloración es básico; la solución de decoloración debería tener una concentración alcalina de al menos 10 g/l,
30 preferiblemente entre 20 g/L y 30 g/L, más preferiblemente de 25 g/L de una solución de NaOH a 48 °Be.

[0042] Según un posible aspecto, el agente oxidante está presente en la solución de decoloración en una cantidad eficaz para eliminar el color índigo de los textiles. En

realizaciones preferidas, la solución de decoloración contiene entre 1 g/L hasta 7 g/L, preferiblemente 4 hasta 7 g/L, aún más preferiblemente 5 g/L de solución de peróxido de hidrógeno con una concentración del 50% en peso (p/p). En otras palabras, la concentración de H₂O₂ en la solución de decoloración se encuentra en el intervalo de 0,5 g/L hasta 3,5 g/L, preferiblemente de 2 g/L hasta 3,5 g/L, más preferiblemente 2,5 g/L. La solución de decoloración es calentada hasta una temperatura entre 100 °C y 110 °C, preferiblemente 105 °C y mantenida a dicha temperatura durante un periodo de tiempo entre 100 minutos and 150 minutos, preferiblemente 120 minutos. Tras dicho periodo de tiempo, se enfría la solución de decoloración hasta una temperatura entre 40 °C y 80 °C, preferiblemente 50 °C y finalmente se la elimina de la cámara de reacción.

[0043] De forma ventajosa, se mantiene la solución de decoloración a una temperatura entre 100 °C y 110 °C para minimizar la alteración y la degradación de las fibras de algodón o celulósicas.

[0044] Según un posible aspecto, el agente oxidante es vertido progresivamente en la solución de decoloración en la cámara durante un periodo de tiempo, por ejemplo en el intervalo de 2 hasta 7 minutos, preferiblemente 5 minutos. De forma ventajosa, el agente oxidante es vertido progresivamente en la solución de decoloración para controlar la presencia de contenido gaseoso no deseado en el interior de la cámara producido por la reacción entre la solución de decoloración y el agente oxidante. El control de la cantidad de contenido gaseoso en el interior de la cámara evita un aumento no deseado de presión en el interior de la cámara y aumenta la eficacia del peróxido de hidrógeno.

[0045] Según un posible aspecto, el proceso comprende, además, una etapa de lavado de los géneros tratados por medio de una solución de lavado que comprende, preferiblemente, agentes de dispersión con una concentración entre 1 g/L y 5 g/L; en la etapa de lavado, se eliminan de los textiles sales de ATF y EG posiblemente presentes en los textiles.

[0046] Ejemplos de agente de dispersión son Permulsin FF (Bozzetto Group) o Develope JFR NB (MKS DEVO).

[0047] De forma ventajosa, la concentración másica del hidróxido de sodio en la solución de lavado es inferior a un 20% para evitar el desgarramiento o rotura de las fibras de celulosa.

[0048] Según un posible aspecto, la solución de lavado tiene una relación de baño en el intervalo de 1/2 hasta 1/20, preferiblemente entre 1/7 y 1/9, más preferiblemente de 1/8. De forma similar a las etapas de despolimerización y de decoloración de los textiles, también se lleva a cabo la etapa de lavado en textiles estáticos en la cámara de reacción mediante un flujo de solución de lavado al que se hace circular a través de los textiles.

[0049] Según un posible aspecto de la invención, los géneros tratados, tras la despolimerización y la eliminación de monómeros de poliéster, comprenden fibras de algodón con un grado de polimerización entre 600 y 3500 y propiedades mecánicas detectables, tales como la resistencia a la rotura por tracción y la resistencia al desgarramiento, que hacen dichas fibras adecuadas para un uso adicional en la producción de hilos.

[0050] El grado de polimerización puede ser calculado midiendo la viscosidad relativa mediante un viscosímetro capilar, calculando, entonces, la correspondiente viscosidad limitante según el estándar ISO5351 y calculando posteriormente según las ecuaciones conocidas en la técnica, tales como la ecuación modificada de Mark-Houwink-Sakurada para un sistema de celulosa-disolvente (procedimiento estándar) descrito en la bibliografía: Sihtola H, Kyrklund B, Laamanen L, Palenius I (1963) - Comparison and conversion of viscosity and DP-values determined by different methods. Paperi Ja Puu, 45:225–232. En detalle, la viscosidad puede obtenerse de la ecuación $[\eta] = 954 \times \log[\eta_{rel}] - 325$ mencionada también en el documento WO2019/140245. Se proporciona el DP como un intervalo de las ecuaciones: $DP^{0.905} = 0,75 \times [\eta]$; y $DP = 1,9[\eta]$.

[0051] Según una realización preferida del proceso de la invención, véase, por ejemplo, la fig. 7, la solución de despolimerización obtenida tras un ciclo de despolimerización es reutilizada en un ciclo subsiguiente de despolimerización de un nuevo lote de textiles que han de ser tratados. Se aplica el mismo aspecto a la solución de decoloración y posiblemente a la solución de lavado que puede ser utilizada de nuevo en un subsiguiente ciclo de decoloración o ciclo de lavado, respectivamente. Este aspecto de la invención proporciona la ventaja de reducir mucho el consumo de agua. El solicitante ha descubierto que la solución de despolimerización puede ser utilizada varias veces, por ejemplo al menos veinte veces y aún más, sin perder sus propiedades, siempre que el contenido de NaOH sea restaurado a la cantidad

inicialmente requerida antes de ser reutilizada en un ciclo sucesivo de tratamiento de un nuevo lote que ha de ser despolimerizado. Además, se descubrió que el aumento en el contenido de sales de ATF y EG que se produce en cada ciclo, no pone en peligro las propiedades químicas ni la capacidad de despolimerización de la solución.

5 [0052] El número de veces que una solución de despolimerización puede ser reutilizada en otro ciclo de despolimerización depende de la cantidad inicial de poliéster presente en los textiles que han de ser tratados. En otras palabras, cuanta mayor sea la cantidad de poliéster presente en el textil que ha de ser tratado, menor será el número de ciclos que una solución de despolimerización pueda ser reutilizada con un
10 nuevo lote de textiles que han de ser tratados. Esto también puede aplicarse a una solución de decoloración y/o a una solución de lavado.

[0053] La solución de despolimerización, la solución de decoloración y la solución de lavado pueden ser devueltas a sus condiciones iniciales requeridas (por ejemplo a la concentración inicial de NaOH) y reutilizadas en ciclos adicionales del proceso de la
15 invención un número de veces en el intervalo de 1 a 100, preferiblemente 10 a 100; normalmente 10 a 40.

[0054] Una ventaja de la invención es que tras la etapa de despolimerización los textiles de algodón o celulósicos y, en particular, los géneros no son reducidos a una pasta celulósica, como ocurre en la técnica anterior cuando se lleva a cabo una
20 despolimerización completa. Más bien, gracias a la invención, se mantiene la reducción del DP (grado de polimerización) de las fibras celulósicas hasta un nivel que es completamente aceptable y, en cualquier caso, de forma que las fibras de algodón del textil tras la despolimerización y también tras el proceso completo, es decir, incluyendo una decoloración y un lavado, sean adecuadas para ser recuperadas como
25 fibras cortadas y que han de ser recicladas y utilizadas (sin ninguna necesidad de un tratamiento químico previo) para la producción de hilos y de géneros. En realidad, un género de mezcla tratado, es decir, un género de mezcla tras la despolimerización de la invención, mantiene propiedades mecánicas detectables y útiles tales como la resistencia a la rotura por tracción o la resistencia al desgarramiento, según se muestra
30 en el ejemplo 3 y en la Tabla 1.

[0055] La resistencia a la rotura por tracción de los géneros obtenibles tras el proceso de la invención en las direcciones de urdimbre y de trama puede ser medida según ASTM D5034. Los resultados finales de las pruebas proporcionan el peso en

kilogramos (kg) necesario para romper el textil antes del proceso y después del proceso.

[0056] La resistencia al desgarramiento del textil obtenible tras el proceso de la invención en las direcciones de urdimbre y de trama puede ser calculado según ASTM D1424. Los resultados finales de las pruebas proporcionan el peso en gramos (g) necesario para desgarrar el textil antes del proceso y después del proceso.

[0057] Según un posible aspecto, si los textiles, en concreto géneros y prendas de vestir, contienen uno o más agentes abrillantadores ópticos, el proceso comprende, además, una etapa de tratamiento previo de eliminación de los agentes abrillantadores ópticos de los textiles con un disolvente adecuado antes de la etapa de despolimerización del proceso. En esta etapa, la solución elimina agentes abrillantadores y/o agentes inhibidores y/o agentes de apagado; la eliminación del agente abrillantador es llevada a cabo con una relación de baño en el intervalo de 1/2 a 1/20, preferiblemente 1/10 a una temperatura entre 30 °C y 40°C durante un periodo de tiempo entre 10 minutos y 30 minutos.

[0058] Los agentes abrillantadores ópticos son compuestos químicos que pueden ser añadidos a géneros para proporcionar un efecto más blanco o más brillante en el área en la que están presentes los agentes abrillantadores ópticos en comparación con áreas de los géneros en las que los agentes abrillantadores ópticos no están presentes.

[0059] Los agentes abrillantadores ópticos presentes en los textiles de mezcla deberían ser eliminados antes de la etapa a) descrita anteriormente para obtener en la etapa e) un textil tratado que comprende fibras de celulosa que tiene un color homogéneo o un nivel homogéneo de brillo.

[0060] De forma ventajosa, dicha etapa de tratamiento previo de eliminación de los agentes abrillantadores ópticos puede obtenerse con una solución acuosa que comprende agentes decolorantes para abrillantadores ópticos tales como, por ejemplo, Fluorex DEL (CHT Group) y también, preferiblemente, agentes humectantes tales como Sanwet M30 (Chemko). Preferiblemente, los agentes decolorantes tienen una concentración másica entre 0,2 g/L y 1,2 g/L.

[0061] La presente invención versa, además, acerca de una instalación para reciclar textiles de mezcla que comprenden fibras de poliéster y fibras de algodón o celulósicas, que comprende una cámara de reacción configurada para contener los residuos

textiles, al menos un depósito para contener una solución de despolimerización y, opcionalmente, cualquiera de una solución de decoloración o una solución de lavado, una bomba para alimentar y hacer circular una solución de despolimerización desde el depósito hasta la cámara, y a través de la misma, y medios de control para controlar la temperatura de la solución de polimerización en el interior de la cámara, incluyendo, normalmente, un medio de calentamiento y un medio de enfriamiento.

[0062] La cámara está configurada para contener los textiles que han de ser reciclados. Normalmente, la cámara está fabricada de un material que es adecuado para encontrarse en contacto con la solución de despolimerización, la solución de decoloración y la solución de lavado. Ejemplos de tales materiales son metales de acero, preferiblemente acero inoxidable, más preferiblemente acero inoxidable tal como AISI 316 y AISI 316/316L.

[0063] Los múltiples depósitos para contener una solución de despolimerización, una solución de decoloración y una solución de lavado están conectados fluídicamente con la cámara para alimentar o eliminar las soluciones de la cámara. Normalmente, dichos múltiples depósitos están fabricados de un material que es adecuado para hacer contacto con la solución de despolimerización, la solución de decoloración y la solución de lavado.

[0064] De forma ventajosa, la bomba permite controlar el flujo de las soluciones de despolimerización, de decoloración y de lavado desde la pluralidad de depósitos hasta la cámara. Normalmente, la referida bomba puede ser seleccionada entre bombas centrífugas, bombas volumétricas, bombas de flujo axial o bombas similares; las bombas preferidas son bombas centrífugas. De forma ventajosa, la instalación también puede permitir la inversión de la dirección del flujo de las soluciones en el interior de la cámara de una forma conocida *per se*, por ejemplo por medio de un dispositivo conmutador inversor conectado con la bomba.

[0065] Según se ha mencionado anteriormente, se hace que circule la solución de despolimerización por medio de la bomba a través de los textiles (y la cámara) hasta que el material de poliéster en el textil ha sido despolimerizado y eliminado completamente o casi completamente —como monómeros— del textil.

[0066] La cámara está dotada de medios de calentamiento para aumentar la temperatura de la solución de despolimerización. Los medios de calentamiento pueden ser colocados en el interior de la cámara, por ejemplo en el fondo de la cámara. Los

medios de calentamiento pueden ser serpentines a través de los cuales se alimenta un vapor supercalentado para calentar la solución de despolimerización. También se proporcionan medios para enfriar la solución, por ejemplo en forma de otro serpentín conectado con una fuente de fluido de enfriamiento tal como agua fría. De forma ventajosa, se puede utilizar un mismo serpentín como medio de calentamiento y de enfriamiento al ser conectado selectivamente con una fuente de fluido de calentamiento o de enfriamiento.

[0067] Normalmente, el medio de calentamiento y el de enfriamiento están conectados con un medio de control que también está conectado con un medio de detección que detecta la temperatura de la solución de despolimerización en el interior de la cámara.

[0068] Según un posible aspecto, la cámara comprende una cesta filtrante, para alojar los textiles que han de ser tratados. De forma ventajosa, la cesta filtrante comprende una estructura rígida, por ejemplo una estructura de metal, normalmente en forma de un cilindro, dotada de aberturas a lo largo de sus paredes, para permitir que la solución de despolimerización fluya dentro de la cámara y a través de los textiles. El alojamiento de los residuos de géneros de mezcla en la cesta filtrante permite retener los textiles en la cesta durante el flujo de las soluciones; en otras palabras, se mantienen los textiles inmóviles, es decir, estáticos, mientras el flujo de la solución de despolimerización es obligado a atravesar los textiles en la cámara. De forma ventajosa, los textiles llenan todo el espacio de la cesta; preferiblemente están comprimidos en dicha cesta; encima de la cesta, la cámara está dotada de un espacio vacío, como puede verse en las figuras.

[0069] Preferiblemente, la cesta filtrante es un recipiente rígido perforado conformado según la cámara de reacción, que comprende paredes perforadas laterales y una columna rígida perforada colocada en el eje central de la cesta rígida perforada. De forma ventajosa, la solución de despolimerización puede fluir bien desde la columna rígida perforada hacia el residuo de género de mezcla y a través de la pared perforada lateral o bien desde las paredes perforadas laterales hacia los textiles que se reciclan, y a través de los mismos, permitiendo que haya un contacto homogéneo y uniforme con el paso del tiempo de la solución de despolimerización con los textiles que se reciclan.

[0070] Según un posible aspecto, la cámara comprende al menos un elemento perforado de separación o preferiblemente una pluralidad de ellos alojados en la cesta

y colocados a lo largo de dicha columna central y que se extienden transversalmente con respecto a la misma. El elemento de separación comprende una placa perforada sobre la cual pueden colocarse los textiles. La placa perforada permite el flujo de las soluciones a través de los agujeros. Los elementos de separación también actúan como medios de retención para mantener el textil en una condición estática.

[0071] La presente invención versa, además, acerca de textiles obtenidos mediante el proceso de la invención, incluyendo dichos textiles fibras de algodón con un grado de polimerización entre 600 y 3500. En algunas realizaciones, dichas fibras de algodón están incluidas en un género obtenido mediante el proceso de la invención, teniendo dicho género una resistencia a la rotura por tracción o una resistencia al desgarramiento mensurable en una dirección de urdimbre y en una dirección de trama. Debido a que el contenido de poliéster de los textiles de mezcla originales ya no está presente, los hilos tratados o los géneros tratados están dotados de espacios vacíos que alojaban originalmente filamentos, fibras o hilos de poliéster.

[0072] Según se ha mencionado anteriormente, el proceso de la invención puede ser utilizado para llevar a cabo un proceso de tratamiento de prendas de vestir sin tener que cortarlas o eliminar partes de las mismas. En particular, la prenda de vestir puede incluir un género que consiste en hilos fabricados de algodón, es decir, un género con un 100% de algodón, y poliéster en una cantidad reducida que se deriva de las líneas de costura que se utilizan para coser —es decir, puntear— entre sí las porciones de la prenda de vestir de una forma conocida en la técnica. Estas prendas de vestir o porciones de las mismas pueden ser tratadas según el proceso y en una instalación según se ha divulgado anteriormente para el tratamiento de textiles de mezcla. Las condiciones de reacción en el proceso para tratar prendas de vestir en las que el género consiste en fibras de algodón u otras fibras celulósicas, podrían ser menos agresivas que las condiciones utilizadas en un proceso para tratar un textil de mezcla con un contenido de poliéster, por ejemplo del 40%-50%.

[0073] Un objeto adicional de la presente invención es, por lo tanto, un proceso para reciclar prendas de vestir y porciones de las mismas que comprenden fibras de poliéster y celulósicas, preferiblemente fibras de algodón, comprendiendo la prenda de vestir una pluralidad de porciones de género cosidas entre sí por medio de hilos de costura, consistiendo dichas porciones de género en hilos de algodón o hilos celulósicos, preferiblemente porciones de género de 100% algodón, y siendo dichos

hilos de costura hilos de costura de poliéster, incluyendo el proceso una despolimerización de los hilos de poliéster en una solución acuosa básica, que comprende las siguientes etapas:

a) proporcionar una cantidad de dichas prendas de vestir en una cámara de reacción;

b) proporcionar una cantidad de dicha solución básica de despolimerización según una relación de baño en el intervalo de 1/2 hasta 1/20, preferiblemente 1/4 hasta 1/8 en peso de prendas de vestir con respecto al peso de la solución;

c) hacer circular dicha cantidad de solución de despolimerización a través de dichas prendas de vestir para despolimerizar dicho poliéster formando correspondientes monómeros y para eliminar dichos monómeros de poliéster de dichas prendas de vestir;

d) eliminar dicha solución de despolimerización de dicha cámara de reacción;

en el que la temperatura de la referida solución de despolimerización en la etapa c) se encuentra en el intervalo entre 101 °C y 160 °C,

y en el que

e) las prendas de vestir se encuentran en una condición inmóvil, es decir, estática, y se hace que la solución circule a través de las mismas para proporcionar prendas de vestir tratadas que comprenden fibras cortadas celulósicas, preferiblemente fibras cortadas de algodón, sustancialmente libres de material de poliéster.

[0074] En este caso, según el proceso de la invención se despolimerizan los hilos de costura en poliéster que cosen entre sí las porciones de género que forman la prenda de vestir, de forma que dichas porciones de género se separen entre sí y puedan ser separadas y posiblemente recicladas.

[0075] Según la presente descripción, las prendas de vestir abarcan cualquier artículo de vestimenta tal como camisetas, pantalones, tejanos, chaquetas, camisas, prendas de vestir deportivas, etcétera. En algunas realizaciones, las prendas de vestir pueden comprender elementos no textiles tales como cremalleras, remaches, botones (estando fabricados estos elementos, normalmente, de metal o plástico) y etiquetas. De forma ventajosa, caso de que las prendas de vestir comprendan elementos o porciones no textiles (por ejemplo, botones, remaches, cremalleras), según el proceso de la invención los hilos de costura en poliéster que cosen entre sí las porciones de

prendas de vestir son despolimerizados de forma que se separen dichas porciones de prendas de vestir.

[0076] Se descubrió con sorpresa que al final del proceso, especialmente después de las etapas de decoloración y de lavado, los elementos no textiles tales como elementos de metal o de plástico se separan o quedan levemente fijados de las prendas de vestir y pueden ser retirados muy fácilmente de la masa de prendas de vestir tratadas, por ejemplo en una máquina desmotadora o en un secador de tambor.

[0077] Por lo tanto, el proceso de reciclar prendas de vestir fabricadas de género consiste en fibras de algodón o celulósicas puede proporcionar una etapa adicional en la que los elementos no textiles son eliminados de las prendas de vestir tratadas después de que al menos parte del proceso se haya llevado a cabo.

[0078] De forma ventajosa, en el proceso se alimenta la cámara con una solución de despolimerización para despolimerizar fibras de poliéster de los hilos de costura del residuo de prenda de vestir mantenida en una condición inmóvil en el interior de la cámara de reacción en condiciones de reacción que permiten la escisión de los enlaces éster de poliéster formando sus monómeros, ácido tereftálico como sal disódica (Na_2TP), y etilenglicol (EG) y reduciendo drásticamente la alteración y la despolimerización de las fibras cortadas celulósicas.

[0079] De forma ventajosa, se aumenta la temperatura de la solución de despolimerización en la cámara cerrada, por lo que se aumenta correspondientemente la presión, hasta tales valores que se despolimerizan los hilos de costura de poliéster pero se minimiza y posiblemente se evita la degradación o la alteración (por ejemplo, la reducción en el grado de polimerización) de las fibras celulósicas, por ejemplo las fibras cortadas de algodón, de las porciones de género celulósico que constituyen la prenda de vestir.

[0080] De forma ventajosa, en la etapa c) se hace circular una cantidad seleccionada de solución de despolimerización a la temperatura reivindicada, preferiblemente por medio de una bomba, en la cámara y a través de las prendas de vestir durante toda la duración de la etapa c) del proceso. En otras palabras, se mantienen los residuos de prendas de vestir en una condición sustancialmente estática y son puestos en contacto varias veces con la solución de despolimerización haciendo pasar reiteradamente — es decir, circular— la solución a través de las prendas de vestir para aumentar el contenido de tereftalato de disodio (Na_2TP) o iones de tereftalato o EG y más

generalmente productos de poliéster degradado en la referida solución, mientras se mantienen las fibras de algodón o celulósicas tan intactas como sea posible. Se descubrió que la combinación de mantener las prendas de vestir en una condición inmóvil, o estática, y de hacer circular —es decir, fluir— la solución de despolimerización a través de las prendas de vestir y la cámara tiene como resultado que se obtenga una despolimerización completa de poliéster y que se reduzca mucho o posiblemente se evite al mismo tiempo la despolimerización de las porciones de género celulósico (preferiblemente algodón) que forman la prenda de vestir.

[0081] Según un aspecto, la solución de despolimerización es una solución alcalina, preferiblemente una solución alcalina que comprende hidróxido de sodio o hidróxido de potasio. Preferiblemente, la referida solución contiene entre 70 g/L y 500 g/L, más preferiblemente de 76 a 120 g/L de una solución de hidróxido de sodio con un grado Baumé igual a 48 °Be. En otras palabras, la concentración de NaOH en la solución de despolimerización se encuentra en el intervalo de 33 g/L hasta 237 g/L de NaOH, preferiblemente 36 g/L hasta 57 g/L de NaOH.

[0082] Según un posible aspecto, la cantidad de solución de despolimerización que ha de ser utilizada en el proceso es seleccionada según la cantidad de prendas de vestir que han de ser tratadas. En algunas realizaciones, la relación de baño se encuentra en el intervalo de 1/2 hasta 1/20, preferiblemente 1/2 hasta 1/15, siendo lo más preferible 1/5 hasta 1/8; la relación de baño es la relación en peso entre el peso de las prendas de vestir y el peso de la solución de despolimerización.

[0083] Según un posible aspecto, en la etapa c) la temperatura de la solución de despolimerización se encuentra en un intervalo entre 101 °C y 160 °C, preferiblemente en el intervalo de 120°C hasta 160°C. De forma ventajosa, la temperatura de la solución de despolimerización se encuentra en el intervalo entre 130 °C y 140 °C; los intervalos reivindicados tienen como resultado la minimización de la alteración de las propiedades químicas y mecánicas de las fibras de algodón y celulósicas, tales como la longitud y las dimensiones de las referidas fibras, el grado de polimerización de la celulosa.

[0084] Según un posible aspecto, la presión en el interior de la cámara durante la etapa c) se encuentra en el intervalo de 105 kPa a 700 kPa, preferiblemente 140 kPa a 350 kPa, más preferiblemente 270 kPa a 550 kPa.

[0085] Según un posible aspecto, la etapa c) de despolimerizaciones llevada a cabo

durante un periodo de tiempo entre 60 minutos y 240 minutos o entre 91 y 240 minutos, preferiblemente entre 60 minutos y 150 minutos, más preferiblemente entre 60 y 120 minutos.

[0086] Todos los detalles del proceso de la invención y de la instalación expuestos anteriormente con referencia al tratamiento de géneros de mezcla también se aplican al tratamiento de prendas de vestir y son utilizados para llevar a cabo el anterior proceso divulgado de tratar prendas de vestir o porciones de las mismas que consisten en fibras de algodón o celulósicas, género e hilos de costura de poliéster. En particular, se hace circular la solución de despolimerización a través de las prendas de vestir en las condiciones divulgadas de reacción hasta una despolimerización completa de los hilos de costura de poliéster; preferiblemente, puede seguir una etapa de desteñido/decoloración y de lavado en las condiciones divulgadas anteriormente para el tratamiento de textiles dependiendo del contenido del material textil. En el Ejemplo 6 se divulgan los resultados del tratamiento de una prenda de vestir que incluye partes no textiles y un género que es 100% algodón (un género denominado 100% de algodón).

[0087] En una realización preferida, la etapa c) del proceso es llevada a cabo a 130 °C durante 120 minutos, preferiblemente a una presión en el intervalo de 270 a 550 kPa.

[0088] De forma ventajosa, el flujo —es decir, la circulación— de la solución de despolimerización con la referida relación de baño a la temperatura y la presión de baño reivindicadas tiene como resultado una despolimerización completa o sustancialmente completa de los hilos de costura de poliéster. De forma ventajosa, las fibras de algodón obtenidas del proceso de la invención tienen la forma de fibras cortadas dotadas de un grado de polimerización suficientemente elevado para permitir que las referidas fibras sean recicladas como tales (mediante medios mecánicos) y utilizadas para la producción de hilos y de géneros sin la necesidad de cualquier tratamiento químico.

[0089] En la siguiente descripción, se divulgará la invención haciendo referencia a géneros y prendas de vestir, en particular géneros y prendas de vestir de algodón de mezcla; se debería hacer notar que las se aplican mismas etapas y la misma descripción a textiles en general según se ha definido anteriormente, es decir, también a los hilos y las fibras y a otras fibras celulósicas además del algodón.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0090] Se expondrán con más detalle aspectos y ventajas adicionales según la presente invención con referencia a los dibujos adjuntos, proporcionados a modo de ejemplo no limitante, en los que:

- 5 la Figura 1 es una vista esquemática de la instalación que aloja residuos de géneros que comprenden fibras de poliéster y fibras celulósicas;
la Figura 2 muestra el esquema de la instalación de la figura 1 y los géneros tratados que comprenden fibras celulósicas al final del proceso;
la Figura 3a muestra una vista en perspectiva de la sección de la cesta filtrante de
10 la figura 1;
la Figura 3b muestra una vista en sección de la cámara cerrada de reacción y de la cesta filtrante de la figura 1;
la Figura 4 muestra una vista en perspectiva del elemento perforado de separación de la figura 1;
15 la Figura 5a muestra un ejemplo de género antes del proceso, comprendiendo el género fibras de poliéster y fibras celulósicas;
la Figura 5b muestra el género de la figura 5a después del proceso, comprendiendo el género fibras celulósicas sin fibras de poliéster;
la Figura 6a muestra un ejemplo de prenda de vestir antes del proceso,
20 comprendiendo la prenda de vestir fibras de poliéster y fibras celulósicas y partes no textiles antes del proceso;
la Figura 6b muestra la prenda de vestir de la figura 6a después del proceso, comprendiendo la prenda de vestir únicamente fibras celulósicas;
la Figura 7 muestra un esquema del proceso que comprende la etapa de
25 despolimerización, la etapa de decoloración y la etapa de lavado y la posible reutilización de las respectivas soluciones;
la Figura 8 muestra una vista en perspectiva del elemento de calentamiento y de enfriamiento de la instalación de la figura 1;
la Fig. 9 muestra dos fotografías (a y b) de una prenda de vestir antes (a) y después
30 (b) del proceso de la invención; y
la Fig. 10 es una versión en blanco y negro de las fotografías de la fig. 9.

DIVULGACIÓN DETALLADA DE LA PRESENTE INVENCION

[0091] La Figura 1 y la figura 2 muestran una instalación 100 adecuada para llevar a

cabo el proceso de la invención sobre residuos de géneros 1 de mezcla, al igual que sobre residuos de prendas de vestir que comprenden fibras de poliéster y celulósicas, preferiblemente fibras de algodón, comprendiendo la prenda de vestir una pluralidad de porciones de género cosidas entre sí por medio de hilos de costura, siendo dichas porciones de género porciones de género 100% celulósicas, preferiblemente porciones de género 100% algodón, y siendo dichos hilos de costura hilos costura de poliéster. En aras de la simplicidad, en la siguiente descripción, únicamente se hará referencia a géneros de mezcla. En la figura 1 se muestra la instalación en la etapa inicial del proceso: comprende una cámara 10 llena de los géneros de mezcla que han de ser tratados, comprendiendo dichos géneros fibras 4 de poliéster y fibras 40 de algodón.

[0092] De forma alternativa, la cámara 10 puede estar llena de residuos prendas de vestir que comprenden fibras de poliéster y celulósicas, preferiblemente fibras de algodón, comprendiendo la prenda de vestir una pluralidad de porciones de género cosidas entre sí por medio de hilos de costura, siendo dichas porciones de género porciones de género 100% celulósico, preferiblemente porciones de género 100% algodón, y siendo dichos hilos de costura hilos de costura de poliéster.

[0093] Normalmente, la cámara tiene forma cilíndrica e incluye una pared lateral, una pared inferior y una tapa 91. La cámara cerrada está configurada para soportar presiones generadas en el proceso de la invención.

[0094] En la realización mostrada, la cámara 10 comprende una cesta filtrante 6 para alojar los residuos de géneros de mezcla. Según se muestra en las figuras 3a y 3b, la cesta filtrante 6 se encuentra en forma de un recipiente cilíndrico, normalmente fabricado de metal, que incluye una pared lateral perforada 64 que permite un flujo de una solución 3 de despolimerización dentro de la cámara 10 y a través de la misma, estando alojados los residuos de géneros 1 de mezcla en la cesta 6. Según se muestra en la figura 3b con flechas F1 y F2, el flujo de la solución 3 de despolimerización puede ser sustancialmente en una primera dirección F2 desde el eje central A a través de la pared —o columna— interna perforada 65 hacia la pared externa 64 o en una segunda dirección F1 desde la pared perforada 64 sustancialmente opuesta a la primera dirección de flujo.

[0095] En otras palabras, se puede hacer circular la solución en el interior de la cámara 10 en una primera dirección o en una segunda dirección. En la primera dirección, el flujo en el interior de la cámara 10 va desde la pared perforada interna 65 de la cesta

filtrante 6 y es obligado a pasar a través de los géneros 1 para salir de la cesta filtrante 6 desde la pared perforada 64. En la segunda dirección de circulación, se invierte la dirección de alimentación, es decir, la solución es alimentada a la cámara en relación con la pared perforada externa 64 y obligada a atravesar los géneros hacia la porción perforada interna 65 y hacia el eje central A.

[0096] Si se invierte la circulación —es decir, el flujo—, en una realización la primera recirculación es llevada a cabo, preferiblemente, en la primera dirección durante 2 hasta 6 minutos, preferiblemente 4 minutos. La segunda recirculación es llevada a cabo en la segunda dirección durante 4 hasta 8 minutos, preferiblemente 6 minutos. El flujo en el proceso puede ser conducido en la primera dirección en su totalidad o durante todo el proceso se puede conducir el flujo únicamente en la segunda dirección.

[0097] De forma ventajosa, el flujo de la solución 3 de despolimerización a través de los géneros, fuera de la cámara y de nuevo al interior de la misma, en una primera dirección radial y/o en una segunda dirección radial, permite que la solución 3 de despolimerización alcance todos los residuos de géneros 1, que se mantienen inmóviles —es decir, no son agitados en la solución, y garantice una despolimerización uniforme de poliéster en poco tiempo. Maximizar las inyecciones de flujo desde las paredes perforadas de la cesta filtrante 64 y 65 proporciona una absorción apropiada de la solución 3 de despolimerización en los residuos de géneros 1 y, por lo tanto, maximiza la despolimerización de las fibras 4 de poliéster.

[0098] En la realización mostrada, véanse las figuras 3b y 4, la cámara 10 comprende al menos un elemento perforado 60 de separación o preferiblemente una pluralidad de los mismos alojado en la cesta 6, transversalmente a la columna central 65. El diámetro del elemento 60 de separación es menor que el diámetro de la cesta 6, es decir, menor que la distancia entre las superficies internas 641 de la pared lateral 64, para permitir que se inserte el elemento 60 en la cesta sin dejar una separación demasiado grande en el lateral. Como puede verse en la figura 4, el elemento 60 está dotado de un agujero central 62 que permite que el elemento de separación se deslice sin interferencia mecánica a lo largo de la columna 65 y en el interior de la cesta 6. El elemento 60 de separación permite maximizar el llenado de la cesta 6 en la cámara 10 con los residuos de géneros de mezcla y evitar que los géneros o textiles se muevan en el interior de la cesta. En caso de que haya alojado más de un elemento 60 de separación en la cesta filtrante 6 habrá una pila de residuos de géneros 1 de mezcla

alojados encima de cada elemento 60 de separación. De forma ventajosa, el elemento 60 comprende una placa perforada 601, de forma que se garantice el flujo de la solución 3 de despolimerización en el interior de la cámara 10. La Figura 3b también muestra un elemento superior 603 de retención.

5 [0099] La instalación 100 comprende, además, una pluralidad de depósitos, o de reservorios, para contener una solución 3 de despolimerización en el depósito 7, una solución 30 de decoloración en el depósito 7a y una solución 80 de lavado en un depósito 7b. Dichos depósitos están conectados con la cámara 10 con respectivos tubos y a través de un bucle de circulación que incluye una bomba 8 conectada con la
10 cámara 10 por medio de conductos 72 y 74 y el dispositivo inversor 82 del fluido.

[0100] La solución 3 de despolimerización puede fluir desde el depósito 7 hasta la cámara 10 a través del conducto 71 y de los conductos 72 y 74 según la dirección del flujo proporcionada por el inversor 82 del flujo. Como puede verse en las figuras 1 y 2, el conducto 72 está conectado con la columna interna 65 de la cesta 6, de forma que
15 pueda alimentar la solución a la columna interna 65 de la cesta; el conducto 74 está conectado con la porción externa de la cámara en relación con la pared 6 de la cesta para recibir la solución a la que se ha hecho circular —es decir, fluir— a través del textil y de la cámara, en un conducto 74 de flujo invertido que alimenta la solución a la cámara.

20 [0101] El dispositivo inversor 82 proporciona una circulación inversa ventajosa de la solución de despolimerización en el interior de la cámara 10. Después de alimentar la solución de despolimerización a la cámara 10, se posicionan la válvula V2 y la válvula V1 de forma que se pueda hacer circular la solución de despolimerización a través de los conductos 72, 74, produciéndose la recirculación de la solución de
25 despolimerización en una dirección contraria al sentido de las agujas del reloj. De forma alternativa, la dirección del flujo puede ser invertida por medio del dispositivo inversor 82, de forma que la recirculación de la solución de despolimerización a través de los conductos 72, 74 y de la cámara 10 sea en una dirección en el sentido de las agujas del reloj.

30 [0102] La solución 30 de decoloración y la solución 80 de lavado pueden fluir desde la pluralidad de depósitos 7a y 7b, respectivamente, hasta los conductos 72 y 74. Las válvulas V1, V2 y V3 están ubicadas en los conductos del circuito para controlar el flujo en los conductos. La instalación 100 comprende, además, una pluralidad de depósitos

adicionales 20 de productos químicos para proporcionar reactivos al depósito 7 a través de los conductos 21, 22 o al depósito 7a a través de los conductos 21, 23 o al depósito 7b a través de los conductos 21, 24. Los reactivos pueden ser una solución alcalina o álcali, agentes oxidantes, agentes humectantes, agentes de dispersión, agentes estabilizantes, agentes decolorantes y reactivos similares.

[0103] La instalación 100 comprende, además, elementos 9a, 9b de calentamiento y de enfriamiento y un sensor 90 de temperatura para controlar la temperatura de la solución 3 de despolimerización o la solución de decoloración, en el interior de la cámara 10 de reacción. En la realización mostrada, los medios de calentamiento y de enfriamiento son realizados con un serpentín mostrado en la fig. 8, que es conectable selectivamente con una fuente 9a de vapor o con una fuente 9b de agua fría para calentar o enfriar, respectivamente, la solución en la cámara 10.

[0104] La invención proporciona un proceso para reciclar residuos de géneros 1 de mezcla que comprenden fibras cortadas 4 de poliéster y celulósicas, preferiblemente fibras cortadas 40 de algodón, incluyendo el proceso una despolimerización del poliéster en una solución acuosa básica, que comprende las siguientes etapas: a) proporcionar una cantidad de dichos géneros en una cámara 10 de reacción; b) proporcionar una cantidad de dicha solución básica 3 de despolimerización según una relación de baño entre 1/2 y 1/20 en peso de género con respecto al peso de la solución; c) hacer circular al menos una vez, preferiblemente varias veces, dicha cantidad de solución 3 de despolimerización a través de dichos géneros 1 para despolimerizar y eliminar fibras 4 de poliéster de dichos géneros; d) eliminar la solución 3 de despolimerización de dicha cámara 10 de reacción, encontrándose la temperatura de la referida solución de despolimerización en el intervalo entre 101 °C y 160 °C y en donde e) se hace circular la solución para proporcionar textiles tratados 5 que comprenden hilos que incluyen fibras cortados celulósicos, preferiblemente fibras cortadas 40 de algodón, sustancialmente libres de material de poliéster.

[0105] En la realización preferida mostrada, se colocan los residuos de géneros 1 en la cesta 6, posiblemente con el uso de uno o más elementos 60 de separación. La cesta está preferiblemente llena por completo de los géneros que han de ser tratados.

[0106] El residuo de género 1 de mezcla, mostrado en la figura 5a, y la prenda 1a de vestir fabricada de género de mezcla de la figura 6a comprenden fibras 4 de poliéster y fibras 40 de algodón antes del proceso de la invención. La prenda 1a de vestir incluye

partes no textiles, es decir, no textiles, tales como el botón 2 o los remaches y una cremallera que están fabricados de material metálico o plástico. En las figuras 5b y 6b se muestran el mismo género y la misma prenda de vestir después del proceso de la invención, por lo que se han despolimerizado las fibras y los filamentos de poliéster formando monómeros y ya no están presentes en el género 5 ni en la prenda 5a de vestir mientras que los hilos 40 de algodón y las porciones de algodón de los hilos de mezcla (por ejemplo, la funda de un hilo con alma) siguen presentes en forma de un género y de una prenda de vestir. La prenda 5a de vestir tratada no comprende el botón 2 (ni remaches ni cremalleras) debido a que ha sido tratado adicionalmente en una máquina desmotadora o en otra máquina adecuada para eliminar sólidos sueltos derivados de las prendas de vestir tratadas, según se expone a continuación en la presente memoria. La Figura 6b muestra, esquemáticamente, la prenda de vestir sin botones y sin hilos de poliéster de urdimbre; se comprenderá que, según se ha explicado, la despolimerización de los hilos de costura fabricados de poliéster tiene como resultado que se separe la prenda de vestir tratada en una pluralidad de piezas separadas, según se muestra en la figura 9. La figura 9 muestra dos fotografías de una prenda de vestir, en concreto de una prenda de vestir antes (fotografía a, en el lado izquierdo) y después (fotografía b en el lado derecho) del tratamiento de despolimerización y de decoloración (y el lavado final) de la prenda de vestir original.

[0107] Después de llenar la cesta 6 de textiles, se alimenta a la cámara una solución 3 de despolimerización que comprende hidróxido de sodio o hidróxido de potasio, preferiblemente hidróxido de sodio. La solución se prepara añadiendo a agua una cantidad en el intervalo de 70 g/L hasta 500 g/L de una solución de NaOH que tiene un grado Baumé de 43 hasta 50 °Be, preferiblemente de 48 °Be. En una realización preferida, la cantidad de dicha solución de NaOH de 48°Be que se añade al agua se encuentra en el intervalo de 76 g/L hasta 120 g/L.

[0108] Se selecciona la cantidad de solución 3 de despolimerización para que haya una relación de baño entre 1/2 y 1/20, más preferiblemente la relación de baño de la solución de despolimerización es de 1/4 hasta 1/6 en peso de textiles con respecto al baño. La solución de despolimerización es calentada por medio del serpentín 9 al que se suministra vapor, en concreto vapor supercalentado.

[0109] La temperatura de la solución 3 de despolimerización en la cámara 10 se controla para despolimerizar las fibras 4 de poliéster, a la vez que se mantienen en la

medida de lo posible las características mecánicas y químicas originales —por ejemplo el grado de polimerización y las dimensiones— de las fibras 40 de algodón en los géneros 1. La temperatura de la solución 3 de despolimerización en la cámara 10 es controlada mediante el sensor 90 para que se mantenga en el intervalo de 101 °C y 160°C, preferiblemente de 130 a 140 °C.

[0110] Según un posible aspecto, la presión en el interior de la cámara en la etapa c) se encuentra en el intervalo entre 105 kPa y 700 kPa, preferiblemente 270 kPa y 700 kPa, más preferiblemente entre 270 kPa y 550 kPa. La presión en el interior de la cámara cerrada 10 puede cambiar debido a un cambio de temperatura de la solución 3 de despolimerización, o de las soluciones de decoloración y de lavado.

[0111] Según un aspecto preferido, la temperatura de la solución 3 de despolimerización en la cámara 3 se mantiene durante un periodo de tiempo entre 91 minutos y 240 minutos, preferiblemente entre 100 y 150 minutos, más preferiblemente 120 minutos. Después de dicho periodo de tiempo, se enfría la solución de despolimerización hasta una temperatura entre 40 °C y 80 °C.

[0112] Entonces, se elimina la solución 3 de despolimerización de la cámara 10 a través de los conductos 71, 72, 74 y de las válvulas V1, V2 de control.

[0113] Si los géneros tratados 5 son prendas de vestir que, al principio del proceso, estaban dotadas de elementos metálicos o plásticos tales como cremalleras, remaches, botones, después del proceso, las cremalleras y otros elementos metálicos o plásticos pueden ser separados con facilidad de las prendas de vestir tratadas gracias a la ausencia de fibras y de hilos de poliéster, lo que tiene como resultado una fijación final más débil al género, especialmente después de la etapa de decoloración. En realidad, todas las puntadas de las prendas de vestir hechas de hilos de poliéster son despolimerizadas y, por lo tanto, eliminadas de la prenda de vestir, de forma que los elementos metálicos o plásticos puedan ser retirados del género tratado, es decir, de las prendas de vestir tratadas.

[0114] Los tintes reactivos son hidrolizados por la solución 3 de despolimerización para proporcionar géneros no teñidos sustancialmente libres de poliéster. También se elimina una parte del índigo de los géneros durante la etapa de despolimerización.

[0115] Después de la despolimerización y de la eliminación de la solución 3 de despolimerización de la cámara 10, si los géneros incluyen fibras teñidas de color índigo, los géneros tratados 5 son sometidos a una etapa de decoloración en la cámara

10 por medio de una solución 30 de decoloración. Se proporciona la solución 30 de decoloración a la cámara 10 a través de los conductos 73 conectados con la bomba 8 y a través de los conductos 72, 74, 73.

[0116] La solución 30 de decoloración se proporciona en una cantidad para proporcionar una relación de baño en el intervalo de 1/2 hasta 1/20, preferiblemente 1/7 hasta 1/9, más preferiblemente 1/8; la solución de decoloración contiene una base, preferiblemente NaOH, en una concentración de al menos 10 g/L, preferiblemente en el intervalo de 20 g/L hasta 30 g/L, más preferiblemente 25 g/L de una solución de NaOH que tiene un grado Baumé igual a 48 °Be. En otras palabras, la concentración de NaOH en la solución de decoloración es de al menos 4,73 g/L, preferiblemente en el intervalo de 9,47 g/L hasta 14,20 g/L de NaOH, más preferiblemente 11,83 g/L de NaOH.

[0117] La concentración de peróxido de hidrógeno en la solución de decoloración se encuentra en el intervalo de 2 g/L hasta 7 g/L, preferiblemente 5 g/L y se calienta la solución por medio del serpentín 9 hasta una temperatura en el intervalo entre 100 °C y 110 °C, preferiblemente 105 °C y se la mantiene a dicha temperatura durante un periodo de tiempo en el intervalo entre 60 y 150 min, preferiblemente 100 minutos hasta 150 minutos, preferiblemente 120 minutos. Después de dicho periodo de tiempo, se enfría la solución de despolimerización hasta una temperatura entre 40 °C y 80 °C, y se la vuelve a descargar en el depósito 7a.

[0118] Según un posible aspecto, se añade progresivamente el agente oxidante a la solución 30 de decoloración en la cámara 10 durante un periodo de tiempo en el intervalo de 2 minutos hasta 7 minutos, preferiblemente aproximadamente 5 minutos.

[0119] Se prefiere la adición progresiva del agente oxidante en la solución 30 de decoloración para evitar un aumento no deseado de la presión en el interior de la cámara cerrada 10 y para mantener una buena eficacia del agente oxidante.

[0120] El proceso comprende, además, una etapa de lavado los géneros tratados después de la despolimerización o de la decoloración, por medio de una solución 80 de lavado que comprende agentes de dispersión. La solución 80 de lavado es mantenida en el depósito 7b y es alimentada a la cámara 10 a través de los conductos 75 conectados con la bomba 8 a través del conducto 74. La solución 80 de lavado tiene una relación de baño en el intervalo de 1/2 hasta 1/20, preferiblemente 1/7 hasta 1/9, más preferiblemente 1/8.

[0121] La etapa de lavado de géneros tratados 5 que comprenden fibras 40 de celulosa puede ser llevada a cabo bien después de la etapa e) descrita anteriormente o bien después de que los textiles tratados 5 hayan sido sometidos a la solución 30 de decoloración. En otras palabras, la etapa de lavado puede ser llevada a cabo después del final de la despolimerización de las fibras de poliéster (cuando no se lleva a cabo una decoloración) o después de que los géneros tratados 5 hayan sido sometidos a la etapa de decoloración en la que se han eliminado los tintes.

[0122] De forma ventajosa, después de la etapa e), los géneros tratados 5 comprenden fibras de algodón con un grado de polimerización que puede ser de hasta 3500. El producto del proceso de la invención no incluye pasta de celulosa. En otras palabras, los géneros que incluyen hilos de algodón obtenidos del proceso de la invención siguen estando en forma de un género, aunque carecen de su componente inicial de poliéster.

[0123] En la figura 5b se muestra un género tratado 5 que comprende fibras 40 de algodón y carentes de las fibras 4 de poliéster. En la figura 6b se muestra una vista esquemática del género tratado 5, en forma de prenda 5a de vestir, que comprende fibras 40 de algodón, de la que se han eliminado las fibras 4 de poliéster y las partes no textiles (cremalleras, etc.), y en la figura 9 se muestra una fotografía de una prenda de vestir antes (fotografía a) y después (fotografía b) de un tratamiento completo que incluye la decoloración. Dichas prendas de vestir —o géneros (o hilos o fibras)— son adecuadas, después de una etapa adicional de secado, para ser recicladas transformándolas en fibras de algodón en una forma conocida en la técnica, por ejemplo mediante una línea de apertura de residuos de algodón para hiladoras de repetición. Dichas fibras de algodón recicladas pueden ser utilizadas para preparar hilos reciclados de algodón adecuados para tejeduría.

[0124] Los textiles pueden ser secados de una forma conocida *per se*, por ejemplo en un secador de tambor, o pueden ser secados en un secador continuo tal como, por ejemplo, un secador de cinta transportadora.

[0125] Según se ha mencionado anteriormente, los residuos de géneros 1 que comprenden agentes abrillantadores ópticos son sometidos a una etapa de tratamiento previo de eliminación de los agentes abrillantadores ópticos de los residuos de géneros 1 de mezcla con un disolvente antes de llevar a cabo la etapa de despolimerización. Dicha eliminación comprende una relación de baño en el intervalo de 1/2 a 1/20, preferiblemente 1/10 a una temperatura entre 30 °C y 40 °C durante un periodo de

tiempo entre 10 minutos y 30 minutos. De forma ventajosa, la eliminación de los abrillantadores ópticos evita la presencia de puntos de fibras que tienen distintas propiedades ópticas en los géneros tratados 5.

[0126] Según una realización preferida del proceso de la invención, según se muestra en la figura 7, la solución de despolimerización obtenida tras un ciclo de despolimerización es reutilizada en un ciclo subsiguiente de despolimerización de un nuevo lote de textiles. De forma similar, la solución de decoloración y la solución de lavado pueden ser almacenadas en los depósitos 7a y 7b para ser utilizadas de nuevo en procesos adicionales con la ventaja de reducir mucho el consumo de agua.

[0127] Se divulga adicionalmente ahora la invención con referencia a los siguientes ejemplos proporcionados con un fin meramente ilustrativo y no limitante.

[0128] EJEMPLO 1

Antes de que se aplique el proceso, un residuo de género tiene un peso igual a 10 gramos. El residuo de género comprende fibras de algodón en la dirección de urdimbre y las fibras de algodón, fibras de rayón, fibras de poliéster y fibras de spandex en la dirección de trama. Adicionalmente, los residuos de géneros son teñidos con un tinte de color índigo.

El residuo de género de mezcla reciclado es tratado en un reactor cerrado con una solución de despolimerización que comprende hidróxido de sodio (48 °Be) con una concentración 90 g/L. La solución de despolimerización es calentada para alcanzar una temperatura de 130 °C y mantenida a dicha temperatura durante 120 minutos. La relación de baño es igual a 1/6. Se hace circular la solución de despolimerización a través del género.

Tras 120 minutos, la solución de despolimerización es enfriada hasta una temperatura de 40 °C.

Después del tratamiento de los residuos de géneros con la solución de despolimerización, las fibras de poliéster son despolimerizadas formando monómeros y separadas del género tratado.

Los géneros tratados son tratados subsiguientemente con una solución de decoloración. La solución de decoloración comprende hidróxido de sodio (48 °Be) con una concentración másica de 25 g/L, peróxido de hidrógeno con una concentración másica de 5 g/L, agentes estabilizantes en una concentración de 3,0 g/L, agentes de dispersión con una concentración de 1 g/L y un agente humectante con una

concentración de 0,5 g/L.

El peróxido de hidrógeno es vertido progresivamente en la solución de decoloración tras 5 minutos de que el residuo de género tratado sea sumergido en la solución de decoloración. La solución de decoloración tiene una relación de baño de 1/8. La solución de decoloración es calentada, entonces, hasta una temperatura de 105 °C durante 120 minutos y se elimina el tinte índigo del género tratado.

En la etapa final, se trata el género tratado con una solución de lavado. La solución de lavado comprende agentes de dispersión (por ejemplo, Develope JFR NB – MKS DEVO) con una concentración de 3 g/L. La relación de baño es igual a 1/8.

La solución de lavado es calentada hasta una temperatura de 95 °C durante 30 minutos y se lava el género tejido tratado. El género tratado lavado es sometido, adicionalmente, a procesos de reciclado conocidos en la técnica.

[0129] EJEMPLO 2

Se colocan 500 kg de residuos de géneros de mezcla de distintos tipos en la cámara de reacción. Los hilos de los géneros comprenden filamentos de poliéster y fibras de algodón e incluyen hilos de urdimbre y/o de trama que son teñidos de color índigo.

Los residuos de géneros son tratados con 3000 L de una solución de despolimerización, lo que da como resultado una relación de baño de 1/6. La solución de despolimerización comprende 90 g/L de una solución de hidróxido de sodio que tiene 48 °Be; es decir, con una concentración de aproximadamente 43 g/L de NaOH.

La solución de despolimerización es calentada hasta alcanzar una temperatura de 130 °C y mantenida a dicha temperatura durante un periodo de tiempo de 120 minutos, tiempo durante el cual se hace circular la solución de despolimerización por medio de una bomba a través de los géneros. Tras 120 minutos, se enfría la solución de despolimerización hasta una temperatura de 50 °C. Se elimina, es decir, se separa, parte del tinte índigo de las fibras del género durante la etapa de despolimerización.

Los géneros despolimerizados son tratados subsiguientemente con 4000 L de una solución de decoloración, lo que da como resultado una relación de baño de 1/8. La solución de decoloración comprende hidróxido de sodio (48 °Be) con una concentración másica de 25 g/L, peróxido de hidrógeno con una concentración másica de 5 g/L, agentes estabilizantes con una concentración de 3,0 g/L, agentes de dispersión con una concentración de 1 g/L y agentes humectantes en una concentración de 0,5 g/L.

El peróxido de hidrógeno es vertido progresivamente en la solución de decoloración tras 5 minutos de que se sumerja el género tratado en la solución de decoloración. Por lo tanto, la solución de decoloración es calentada hasta una temperatura de 105 °C durante 120 minutos y se elimina de los géneros tratados el tinte índigo restante en los géneros después de la despolimerización.

En la etapa final, se tratan los géneros tratados con una solución de lavado de 4000L, lo que da como resultado una relación de baño de 1/8. La solución de lavado comprende agentes de dispersión (Permulsin FF) con una concentración de 3 g/L. La solución de lavado es calentada hasta una temperatura de 95 °C durante 30 minutos y se lavan los textiles tratados.

Los textiles tratados lavados y secados son sometidos, adicionalmente, a procesos de reciclado conocidos en la técnica.

[0130] EJEMPLO 3

Se utilizó un género tejido que contiene hilos de mezcla de urdimbre y de trama que tiene una composición de un 13% de poliéster reciclado, un 13% de algodón reciclado, un 74% de algodón. Los hilos se tiñeron de color índigo con una concentración de 1,11% en peso de índigo en el género y fueron dotados de apresto para un 7% en peso.

Se trataron 5 kg del género con 33 litros de una solución de despolimerización que comprende 90 g/L de una solución de hidróxido de sodio que tiene 48° Be. Se hace circular la solución, calentada a 130 °C, a través de los géneros inmóviles en una cámara cerrada de reacción durante 120 minutos.

Después de un primer ciclo de tratamiento del residuo de género con la solución de despolimerización, la concentración másica del hidróxido de sodio en la solución de despolimerización es igual a 55,84 g/L (48°Be), en la solución de despolimerización el poliéster despolimerizado —medida a partir de la cantidad de ácido tereftálico (ATF)— es de 12,52 g/L y la concentración de tinte índigo es de 0,244 g/L. Entonces, se decolora y lava el género tratado según las condiciones establecidas en el Ejemplo 1. Después de la etapa de decoloración, el poliéster despolimerizado en la solución de decoloración es de 4 g/L y después de la etapa de lavado, el poliéster despolimerizado en la solución de lavado es de 1,35 g/L. Por lo tanto, después de una etapa de despolimerización, una etapa de decoloración y una etapa de lavado, la cantidad total de poliéster despolimerizado es igual a 17,87 g/L. Considerando la cantidad de cada

solución en el interior de la cámara de reacción es igual a 33 L, la cantidad total de poliéster eliminado del residuo de género es igual a 589,71 g.

Después de todo el proceso (un ciclo de lotes), se seca el género despolimerizado, decolorado y lavado para medir su resistencia a la rotura por tracción y al desgarramiento. Se calcula el grado de polimerización (DP) de las fibras de algodón. Según se muestra en la Tabla 1, la resistencia a la rotura por tracción en la dirección de urdimbre es de 53,97 kg, la resistencia a la rotura por tracción en la dirección de trama es de 44,97 kg, el grado de polimerización de las fibras de algodón del género tratado se encuentra entre 908-1636.

La solución de despolimerización obtenida al final del primer ciclo es restaurada al contenido requerido de NaOH y utilizada para llevar a cabo un segundo ciclo de despolimerización en un segundo nuevo lote del mismo tipo de género de mezcla utilizado para el primer ciclo.

El mismo proceso es llevado a cabo cuatro veces en total para cuatro lotes del mismo tipo de género de mezcla, restaurándose para cada ciclo a 90 g/L la concentración másica del hidróxido de sodio en la solución de despolimerización.

Tras el cuarto proceso, el poliéster despolimerizado en la solución de despolimerización, calculado a partir de la cantidad de ácido tereftálico (ATF), tiene una concentración másica de 37,96 g/L. La concentración másica de tinte índigo en la solución es de 0,974 g/L. Después de cuatro ciclos, que, en otras palabras, significa que se han tratado 4 nuevos lotes consecutivos de 5 kg del género con la misma solución (después de restaurar el contenido de NaOH), la cantidad total de poliéster eliminado de los 4 lotes de 5 kg es igual a una cantidad acumulativa de 2320,23 g.

Los resultados se documentan en las siguientes Tablas 1, 2 y 3.

Ciclos	Resistencia a la rotura por tracción Urdimbre (kg) ASTM D5034	Resistencia a la rotura por tracción Trama (kg) ASTM D5034	Resistencia al desgarramiento Urdimbre (g) ASTM D1424	Resistencia al desgarramiento Trama (g) ASTM D1424	Peso (g/m ²) ASTM D3776 no lavado	Viscosidad (ml/g) ISO5351 (hilo de trama)	Intervalo del DP (hilo de trama)	Viscosidad y % de caída del DP (después de la decoloración y del lavado)
Género no tratado	94,2	69,27	8410	5167	411,6	1330,4	2060-2528	---
1 ^{er} ciclo (1 ^{er} lote)	53,97	44,97	3433	2103	315,2	861,2	1274-1636	35,3
2 ^o ciclo (2 ^o lote)	48,43	41,73	3656	2160	341,4	659,2	948-1252	50,5
3 ^{er} ciclo (3 ^{er} lote)	43,26	41	4616	2133	337,8	706,8	1024-1343	46,9
4 ^o ciclo (4 ^o lote)	45,97	43,47	4436	2266	341,9	691,6	1000-1314	48,0

Tabla 1

Ciclos de despolimerización	Concentración de índigo después de la despolimerización (g/L)
1 ^{er} ciclo – lote 1	0,244
2 ^o ciclo – lote 2	0,584
3 ^{er} ciclo – lote 3	0,742
4 ^o ciclo – lote 4	0,974

Tabla 2

Ciclos	Poliéster despolimerizado (g/L) en 33 L de solución a la que se hace circular, después de cada etapa				Cantidad total eliminada de PES (g)	% de pérdida del peso total
	despolimerización	decoloración	lavado	total		
1 ^{er} ciclo	12,52	4,00	1,35	17,87	589,71	20,3*
2 ^o ciclo	21,94	8,85	4,30	35,09	1157,97	20,3*
3 ^{er} ciclo	31,59	13,81	7,17	52,57	1734,81	20,9*
4 ^o ciclo	37,96	21,30	11,05	70,31	2320,23	22,3*

*: de poliéster reciclado, material de apresto y tintes

Tabla 3

5 [0131] Como puede verse en la Tabla 1, los géneros despolimerizados y decolorados mantienen propiedades mecánicas detectables; la resistencia a la rotura por tracción de las fibras en la dirección de urdimbre puede alcanzar los 53,97 kg y la resistencia a la rotura por tracción en la dirección de trama es de 44,97 kg. El grado de polimerización del género tratado puede ser de hasta más de la mitad del DP original, incluso después de la decoloración y del lavado.

10 [0132] La Tabla 2 muestra el aumento de la cantidad de tinte índigo en la solución de despolimerización que es utilizada para todos los lotes desde el ciclo 1 (lote 1) hasta el ciclo 4 (lote 4); el índigo puede ser recuperado finalmente de la solución. El proceso de la invención proporciona, por lo tanto, un procedimiento de recuperación de tintes índigo de un residuo textil.

15 [0133] La Tabla 3 muestra la cantidad creciente de poliéster despolimerizado (g/L) en 33 L de una misma solución utilizada en los 4 ciclos a la que se hace circular. En cada ciclo, se aplica una etapa de despolimerización, una etapa de decoloración y una etapa de lavado al género de un nuevo lote. Para cada una de las etapas, se proporcionan la cantidad de poliéster despolimerizado y la cantidad total de poliéster despolimerizado después de la despolimerización, la decoloración y el lavado. Para cada ciclo, se proporciona en gramos la cantidad acumulativa total de poliéster eliminado de cada lote de género.

Los géneros y los textiles tratados según el proceso de la invención, es decir, los

textiles y los géneros de los que se ha eliminado la porción de poliéster mediante despolimerización, son, por lo tanto, sorprendentemente adecuados para convertirse en una materia prima secundaria para la producción de hilos y de géneros.

[0134] *Ejemplo 4 – comparación de la caída del DP utilizando condiciones de la técnica anterior y condiciones según la invención*

El género utilizado para el Ejemplo 3 es cortado en piezas de 30×30 cm y es tratado según la enseñanza del ejemplo 8 del documento WO 2019/140245, es decir, con los parámetros allí mencionados: 150°C, 1h, 5% (p/v) de NaOH, con y sin el uso de MeOH (pruebas WO 1 a 3) y luego tratado según el proceso de la invención (pruebas Isko 2 y 3). Los resultados se resumen en la Tabla 4. Se documentan la viscosidad y el DP de la celulosa en el género no tratado original y en los géneros tratados y se calculó la caída del DP para las muestras tratadas.

DP			Viscosidad (mPa·s)	Viscosidad (ml/g)	DP calculado	Viscosidad y caída del DP↓	PES(%) tras el proceso; % de despolimerización
Género no tratado	original		109,1	1619 ml/g	2559-3075		
Prueba WO 1 150 °C <i>sin agitación</i> género cortado	1h	despolimerización	34,5	1142 ml/g	1740-2170	29,5%	12,47; 1,8% despolimerizado
	4h	despolimerización	20,2	920 ml/g	1370-1749	43,2%	1,40; 89,0% despolimerizado
Prueba WO 2 150 °C 1h <i>con agitación</i> género cortado	despolimerización		17,0	848 ml/g	1252-1612	47,6%	0; 100% despolimerizado
	fibra sobrante		6,80	469 ml/g	650-891	71,0%	
Prueba WO 3 150 °C 1h <i>sin agitación</i> <i>MeOH como codisolvente</i> género cortado	despolimerización		43,9	1242 ml/g	1909-2361	23,3%	11,86; 6,6% despolimerizado
Prueba ISKO 2 130 °C 2h género cortado	despolimerización		36,0	1160 ml/g	1770-2203	28,3%	0; 100% despolimerizado
Prueba ISKO 3 130 °C 2h <i>MeOH como codisolvente</i> género cortado	despolimerización		24,3	997 ml/g	1498-1895	38,4%	0; 100% despolimerizado

Tabla 4

En el anterior ejemplo se utilizaron géneros cortados en vez de toda la prenda de vestir del Ejemplo 6. En las pruebas WO 1 a 3, se establecieron los parámetros de despolimerización según el proceso de la técnica anterior divulgado en el Ejemplo 8 del documento WO 2019/140245 (150°C, 1h, 5% (p/v) de NaOH, género cortado). En las pruebas Isko 2 y 3, se mantuvo la temperatura a 130°C y se hizo circular la solución a través de piezas de género inmóviles según el proceso de la invención. En las

pruebas WO 1 y 2, se utilizó un reactor dotado de un tambor giratorio para agitar las piezas de género. Los géneros se mantuvieron estacionarios en la prueba 1 y se agitaron mediante la rotación del tambor en la prueba 2. La prueba WO 3 se llevó a cabo en modo estacionario (sin agitación). Se utilizó metanol (10% p/p) como codisolvente en la prueba WO 3 y en la prueba Isko 3. Adicionalmente, a diferencia de los ejemplos del documento WO 2019/140245 que guardan silencio en cuanto al DP (grado de polimerización) de las fibras de algodón antes del tratamiento, la Tabla 4 también proporciona el valor de DP de las fibras originales de algodón y su DP después del proceso de despolimerización.

Según observaciones en el modo estacionario —es decir, sin agitación— de la prueba WO 1, después de que se aplicara el proceso durante 1 hora (WO 1, 1h), únicamente se despolimerizó un 1,8% de poliéster. Cuando se lleva a cabo el proceso de hasta 4 horas en el modo estacionario (WO 1, 4h), se mide la cantidad de poliéster en el género como un 1,40% con un 89% de despolimerización. Aunque no se pudo lograr la despolimerización completa de la parte de poliéster en el modo estacionario de prueba de 4 horas, el DP de la parte de celulosa muestra una enorme reducción como una caída del DP del 43,2%. Puede verse con claridad que hace falta un tiempo de reacción de más de 4 horas para despolimerizar completamente el poliéster en el género de mezcla cuando se aplican parámetros de la técnica anterior en el modo estacionario. El mayor tiempo requerido para despolimerizar completamente el poliéster también tiene como resultado una mayor reducción del DP, que podría ser superior al 43,2% (resultado tras un tratamiento de 4h).

En vista de los resultados de la prueba WO 1, se llevó a cabo otra prueba como la prueba WO 2 añadiendo a las condiciones de la prueba WO 1 un modo de agitación de los géneros. Los resultados muestran que bajo agitación se logra una despolimerización completa del poliéster junto con una reducción notable en el DP de la celulosa en un género cortado, con una pérdida de fibras que se separan del género. Se muestra el DP de las fibras separadas como “fibras sobrantes” en la Tabla 4 y es notablemente bajo.

Como puede verse en la Tabla 4, después de que se lleva a cabo la prueba WO 3 en presencia de metanol según el ejemplo 8 del documento WO 2019/140245, únicamente se despolimeriza un 6,6% de la cantidad inicial de poliéster aunque se vea que el % de caída del DP de celulosa residual no se reduce mucho. Además, el

poliéster presente como alma en el hilo con alma de algodón/poliéster en los géneros de mezcla no es despolimerizado completamente.

Resumiendo, cuando se lleva a cabo el proceso según las condiciones de la técnica anterior, una despolimerización completa del poliéster tiene como resultado una caída del DP elevada en las fibras de algodón tratadas. En cambio, una caída del DP resultante de las pruebas Isko 2 llevadas a cabo según la invención es drásticamente menor y mostrada como un 28,3% en la Tabla 4. La prueba Isko 3 se llevó a cabo en presencia de MeOH al 10% y se descubrió que daba lugar a una mayor pérdida del DP que sin MeOH.

Resumiendo, el proceso de la invención tiene como resultado una despolimerización completa del poliéster y un mayor valor de DP (menor caída del DP) de las fibras de algodón obtenido tras la despolimerización.

[0135] EJEMPLO 5 – despolimerización de fibras teñidas de color índigo

Las fibras de algodón/poliéster teñidas de color índigo, que tienen un contenido de poliéster de aproximadamente un 4% en peso, son tratadas según la invención. Con más detalle, se tratan 5 kg de fibras con 33 litros de una solución de despolimerización que comprende 90 g/L de una solución de hidróxido de sodio que tiene 48° Be. Se hace circular la solución, calentada a 130 °C, a través de las fibras en una cámara cerrada de reacción durante 120 minutos. Las fibras se encuentran en una condición inmóvil. Después del tratamiento de las fibras con la solución de despolimerización según el Ejemplo 3, la concentración másica del hidróxido de sodio en la solución de despolimerización es igual a 52,08 g/L (48°Be), el poliéster despolimerizado en la solución de despolimerización —medida a partir de la cantidad de ácido tereftálico (ATF)— es de 5,38 g/L y la concentración de tinte índigo es de 1,63 g/L. Se calcula el grado de polimerización de las fibras. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Prueba Isko 1		Viscosidad (mPa·s)*	Viscosidad (ml/g)	DP calculado	Caída % del DP con respecto al original
Fibra teñida de color índigo					
algodón/poliéster (~4%)	original	116	1645 ml/g	2604-3126	
	despolimerización	44,8	1250 ml/g	1923-2375	24,0%

Tabla 5

Como puede observarse en la Tabla 5, después de la despolimerización del poliéster, la pérdida del DP en las fibras de algodón es de un 24%.

[0136] EJEMPLO 6

Se utiliza una prenda de vestir (pantalones) fabricada de un género de 100% algodón y que incluye poliéster en forma de hilos de costura (es decir, el único poliéster en la prenda de vestir tiene la forma de hilos de costura de poliéster). En particular, la prenda de vestir de 100% algodón es un 75% de algodón virgen y un 25% de algodón reciclado. La prenda de vestir es teñida de color índigo con una concentración de un 1,12% en peso de índigo en la prenda de vestir.

Las prendas de vestir también incluían elementos no textiles, en concreto cremalleras, remaches, botones.

Se tratan 5 kg de prendas de vestir con 33 litros de una solución de despolimerización que comprende 90 g/L de una solución de hidróxido de sodio que tiene 48° Be. Se hace circular la solución, calentada a 130 °C, a través de los géneros en una cámara cerrada de reacción durante 120 minutos.

Se calcula el grado de polimerización de las fibras de algodón. Los resultados se muestran en la tabla 6.

Prueba Isko 4		Viscosidad (mPa·s)	Viscosidad (ml/g)	DP calculado	Caída % del DP con respecto al original
100% algodón, teñido de color índigo					
Prenda de vestir (pantalones) con líneas de costura de poliéster	original	345,7	2097 ml/g	3406-3984	
	despolimerización	71,8	1446 ml/g	2259-2747	31,0%

Tabla 6

Como puede observarse en la Tabla 6, después de la despolimerización del poliéster, la pérdida del DP en las fibras de algodón de una prenda de vestir de 100% algodón es de un 31%. Los elementos no textiles se separaron de la prenda de vestir y fueron retirados de la misma como puede verse en la figura 9.