

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 688 105**

21 Número de solicitud: 201730446

51 Int. Cl.:

**C07H 3/02** (2006.01)

**B09B 3/00** (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

**28.03.2017**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**30.10.2018**

56 Se remite a la solicitud internacional:

**PCT/ES2018/070213**

71 Solicitantes:

**ABENGOA BIOENERGÍA NUEVAS  
TECNOLOGÍAS, S.A. (100.0%)  
C/ ENERGÍA SOLAR, 1 CAMPUS PALMAS ALTAS  
41014 SEVILLA ES**

72 Inventor/es:

**NGUYEN, Quang A.;  
VICENTE GARCÍA, Ana Isabel;  
RAMOS GARCÉS, Vanesa;  
CARVAJO LUCENA, Ignacio y  
MONTEJO MENDEZ, Cristina**

74 Agente/Representante:

**PONS ARIÑO, Ángel**

54 Título: **PROCEDIMIENTO PARA PREPARAR AZÚCARES MONOSACÁRIDOS A PARTIR DE RESIDUO SÓLIDO URBANO**

57 Resumen:

Procedimiento para preparar azúcares monosacáridos a partir de residuo sólido urbano.

La presente invención se refiere de manera general a sistemas y métodos para formar monosacáridos a partir de una mezcla de residuos sólidos. Se proporciona un proceso integrado para clasificar una mezcla de residuos sólidos para generar varias corrientes ricas en materiales reciclables incluyendo una o más corrientes de plástico y una corriente de biorresiduo enriquecida en compuestos celulósicos y que comprende componentes no fermentables. La corriente de biorresiduo se pretrata en condiciones de presión y temperatura elevada y a continuación se pone en contacto con una fuente de enzimas que comprende celulasa, en la que una determinada parte del material no fermentable presente en la mezcla de residuos sólidos se retira del proceso por métodos de clasificación por vía húmeda durante o después de la hidrólisis enzimática.

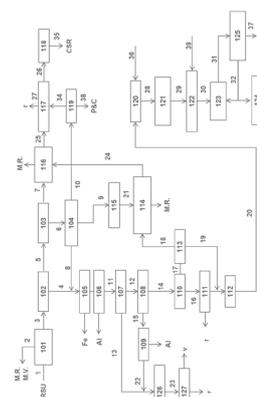


Fig. 1

ES 2 688 105 A1

**PROCEDIMIENTO PARA PREPARAR AZÚCARES MONOSACÁRIDOS A PARTIR  
DE RESIDUO SÓLIDO URBANO**

**DESCRIPCIÓN**

5

El campo de la invención se refiere de manera general a un procedimiento para el fraccionamiento de residuos sólidos y para la producción de productos útiles y la recuperación de materiales reciclables procedentes de las diferentes fracciones. Más particularmente, el procedimiento de la presente invención se refiere al fraccionamiento de una mezcla de residuos sólidos para proporcionar una corriente de biorresiduo limpia adecuada para su conversión en monosacáridos y proporcionar corrientes reciclables que incluyen plástico de polietileno de alta densidad y plástico de polietilentereftalato.

10

15

**ESTADO DE LA TÉCNICA**

Los consumidores comerciales, industriales y residenciales generan grandes cantidades de residuos sólidos (por ejemplo, residuos sólidos urbanos ("RSU")) que se deben manipular y eliminar de una forma ambientalmente responsable. De manera tradicional, los RSU se han eliminado mediante disposición en vertedero o incineración. Sin embargo, estos métodos para desechar el producto residual contaminan el suelo, el agua y el aire y requieren uso de un terreno que podría utilizarse para otros fines.

20

25

Los RSU comprenden cantidades significativas de material reciclable incluyendo componentes tales como biorresiduos orgánicos celulares (tales como residuos de alimentos, residuos de jardines, madera, papel y cartón), plástico, vidrio, metales ferrosos, y metales no ferrosos (como aluminio). Las operaciones de clasificación de RSU para recuperar los diferentes componentes son conocidos en la materia pero dichos métodos conocidos son típicamente ineficaces. Las fracciones de biorresiduos de la técnica anterior son típicamente impuras y están contaminadas con varios componentes, tales como inhibidores de la hidrólisis enzimática y de la fermentación, que normalmente convierten estas fracciones de biorresiduos celulósicos en no adecuadas para su conversión en monosacáridos y productos de fermentación opcionales a una tasa y rendimiento comercial aceptable. Por este motivo, los métodos

30

35

de fraccionamiento de RSU de la técnica anterior generalmente recuperan valor de los biorresiduos orgánicos mediante incineración (recuperación de energía), gasificación (mediante pirólisis), o compostaje.

- 5 Por tanto, existe necesidad de sistemas y métodos para formar biorresiduos celulósicos a partir de una mezcla de residuos sólidos y que dichos biorresiduos celulósicos tengan suficiente pureza para permitir tasas comercialmente aceptables de conversión en monosacáridos mediante hidrólisis enzimática.

## 10 BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

En un aspecto de la presente invención, se proporciona un método para preparar azúcares monosacáridos a partir de una mezcla de residuos sólidos urbanos. El método comprende clasificar la mezcla de residuos sólidos en:

- 15 una primera etapa (a) opcional donde se puede realizar un triaje manual o mecánico (por ejemplo con un elemento mecánico tipo pulpo) para eliminar los materiales más voluminosos, como por ejemplo material tipo muebles, colchones, etc., que puede atascar los separadores de las siguientes etapas,
- 20 una etapa (b) de separación y clasificación mediante una criba que tiene aberturas de aproximadamente 60 mm a aproximadamente 100 mm para formar una primera corriente pasante y una primera corriente de hundido en la que la primera corriente de pasante está enriquecida en material rodante y material combustible en comparación con la primera corriente de hundido;
- 25 en una tercera etapa (c) se separa la primera corriente pasante mediante al menos una criba de aberturas de entre 170 mm y 380 mm en una segunda corriente de hundido y una segunda corriente pasante,
- la segunda corriente de hundido de la etapa (c) se separa y clasifica en una etapa (d) de clasificación para formar:
- 30 -una corriente de material fino con diámetro inferior a la misma abertura que la criba descrita en la etapa (b) que comprende material fermentable enriquecida en materia orgánica,
  - una corriente de material rodante está enriquecida en plástico y
  - una corriente que comprende el material planar, como por ejemplo papel, cartón, película plástica, láminas, textiles, entre otros;

en la etapa (m) se recuperan los metales presentes en la corriente de material rodante de la etapa (d) obteniendo una corriente reciclable libre de metales;

en las etapas (e) y (f) se recuperan los materiales metálicos (férricos y no férricos, respectivamente) de la primera corriente de hundido;

5 en la etapa (g) la corriente obtenida tras las etapas (e) y (f) se hace pasar por una criba de aberturas de 5 a 20 mm para formar la tercera corriente de hundido y una tercera corriente pasante;

en la etapa (h) se procede a una separación densimétrica de la tercera corriente pasante para formar una primera corriente ligera y una primera corriente densa;

10 en la etapa (i) se separa la primera corriente ligera mediante una criba de aberturas de entre 25 y 50 mm para formar una cuarta corriente de hundido y una cuarta corriente pasante;

en la etapa (j) se recuperan los materiales plásticos reciclables de la cuarta corriente pasante mediante un separador óptico para formar una corriente;

15 en la etapa (k) se eliminan los inertes pesados como piedras, arena, vidrio, etc. de la cuarta corriente de hundido para formar una corriente que, tras unirse a la corriente de rechazo obtenida de la etapa (j) y sufrir un proceso de reducción de tamaño (l) conforma la corriente de biorresiduo limpio (etapa (l));

20 en la etapa (n) la corriente de biorresiduo de la etapa (l) se mezcla con una solución de agua, ácido o base para formar la corriente de biorresiduos impregnados;

en la etapa (o) se somete a la corriente de biorresiduos impregnados de la etapa (n) a una temperatura de entre 100°C y 250°C y a una presión de entre 100 kPa y 4.000 kPa durante un tiempo de entre 1 y 20 minutos; y posteriormente se reduce la presión a menos de 35 kPa para formar la corriente de biorresiduos pretratada;

25 en la etapa (p) se añade agua, ácido o base a la corriente de biorresiduos pretratada de la etapa (o) para formar una suspensión de biorresiduo pretratado con unas condiciones de pH y humedad adecuadas para las siguientes etapas; y

30 en la etapa (q) se pone en contacto la corriente suspensión de biorresiduo pretratado de la etapa (p) con un cóctel enzimático que comprende al menos una enzima celulasa para que tras un tiempo de residencia se forme una suspensión de hidrolizado enzimático que comprende azúcares monosacáridos y material no fermentable, donde el material no fermentable se retira de la suspensión de hidrolizado enzimático durante la hidrólisis enzimática o después de la misma en una etapa opcional (r), dando lugar a una corriente rica en material fermentable.

35

La corriente rica en material fermentable obtenida en la etapa (r) puede ser devuelta a la etapa (q) para reducir la viscosidad de la mezcla y aumentar el tiempo de residencia del material fermentable en esa etapa o llevarse directamente a una siguiente etapa (y) que puede ser una fermentación con levaduras o alternativamente una etapa de  
5 concentración para producir un jarabe de azúcares.

En una realización preferida del procedimiento de la invención, se recupera vidrio en un separador óptico a partir de la tercera corriente de hundido de la etapa (g) y/o de la corriente que comprende materiales eliminados, tras recuperar los materiales no  
10 férricos, en la etapa (k).

En otra realización preferida del procedimiento de la invención, la segunda corriente pasante obtenida en la etapa (c) se lleva, tras pasar por un triaje manual a una etapa de separación por densidad donde se obtiene una segunda corriente ligera y una  
15 segunda corriente densa rica en materia inerte no combustible tal como piedras, metales, etc. La segunda corriente ligera enriquecida en material combustible se tritura en una posterior etapa para dar lugar a una corriente denominada combustible sólido recuperado (CSR) derivado de residuos y con alto poder calorífico.

20 En otra realización preferida del procedimiento de la invención, el coctel enzimático de la etapa (q) además comprende al menos una hemicelulasa.

En otra realización preferida del procedimiento de la invención, en la etapa (n) la corriente de biorresiduo se impregna con ácido y en la etapa (p) se añade una  
25 disolución acuosa de amoníaco, resultando un biorresiduo pretratado con un contenido en sólidos de entre 15-30 % en peso, un pH de entre 4 y 6 y una temperatura de entre 30°C y 70°C. Preferiblemente el ácido es un ácido inorgánico y la corriente de biorresiduo pretratado comprende de 0,01 a 0,15 kg de ácido por kg de biorresiduo en base seca.

30 En otra realización preferida del procedimiento de la invención, en la etapa (n) la corriente de biorresiduo se impregna con base y en la etapa (p) se añade una disolución ácida, resultado un biorresiduo pretratado con un contenido en sólidos de entre 20% y 30% en peso, un pH de entre 4 y 6 y una temperatura de entre 30°C y

70°C. Preferiblemente la base es amoníaco y la corriente de biorresiduo pretratado comprende de 0,1 a 2,5 kg de amoníaco por kg de biorresiduo en base sólida.

5 En otra realización preferida del procedimiento de la invención, la corriente de suspensión de hidrolizado enzimático de la etapa (q), durante o después de la hidrolisis, se deshidrata para formar:

- una segunda corriente de biorresiduos impregnados que tiene un contenido en sólidos de entre 30% y 70% en peso, preferiblemente de entre 40% y 60% en peso; y
- una corriente acuosa que es una corriente rica en material fermentable;

10 donde al menos una parte de la corriente acuosa puede ser devuelta a la etapa (q) o enviada a la etapa de fermentación (y).

En una realización preferida, la corriente acuosa anterior se concentra para formar un jarabe rico en azúcares monosacáridos con un contenido en azúcares monosacáridos de más de un 25% de los azúcares totales.

En otra realización preferida, se añade una levadura a la corriente acuosa anterior o a la corriente de suspensión de hidrolizado enzimático de la etapa (q) para transformar los azúcares en un compuesto orgánico seleccionado de entre alcoholes, preferiblemente etanol, o ácidos orgánicos. Preferiblemente la levadura es *Saccharomyces cerevisiae*.

En otra realización preferida del procedimiento de la invención, en la etapa (o) la corriente de biorresiduos impregnado procedente de la etapa (n) se pone en contacto con vapor de agua a una temperatura de entre 130°C y 250°C, preferiblemente de entre 150°C y 220°C, y a una presión de entre 400 kPa y 1.570 kPa, preferiblemente de entre 625 KPa y 1.450 kPa, durante un tiempo de entre 1 minuto a 5 minutos; y

- la presión se reduce a un valor entre 1 a 35 kPa en una sola etapa; o
- la presión se reduce a una presión de entre un 40% a un 60% en una primera etapa de reducción de presión; se mantiene dicha presión durante un periodo de tiempo de entre 0,5 minutos a 20 minutos y posteriormente se reduce la presión a entre 1 a 35 kPa en una segunda etapa de reducción de presión.

## **BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

35

La Fig. 1 es un diagrama de bloques de las etapas de Separación y Clasificación del RSU bruto y de la Limpieza y tratamiento de la corriente de Biorresiduo.

## **DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION**

5

En la presente invención se proporciona un proceso integrado para preparar monosacáridos a partir de una mezcla clasificada de residuos sólidos mediante hidrólisis enzimática de corrientes de biorresiduos clasificados (fraccionados) enriquecidos en componentes celulósicos y que comprenden componentes no fermentables. De acuerdo con la presente invención, una determinada parte de material no fermentable presente en la mezcla de residuos sólidos se lleva a una hidrólisis enzimática en medio acuoso de donde se retira del proceso con métodos de clasificación por vía húmeda. La eliminación de una determinada parte del material no fermentable en una etapa de fraccionamiento en medio acuoso junto con la etapa de hidrólisis enzimática permite una eficacia de eliminación mejorada en comparación con una etapa de clasificación de residuos sólidos por vía seca, y permite la combinación de las etapas de clasificación de material no fermentable e hidrólisis enzimática proporcionando de esta manera una mayor eficacia del proceso de clasificación y un mayor rendimiento debido a la eliminación de la necesidad de una o más etapas de clasificación del material no fermentable por vía seca que son por otra parte necesarias para eliminar la fracción no fermentable.

Las etapas de clasificación (selección o separación) por vía seca de la presente invención para realizar el fraccionamiento de la mezcla de residuos sólidos para formar una corriente de biorresiduos enriquecida en compuestos celulósicos para su conversión en monosacáridos comprende combinaciones de técnicas de fraccionamiento que incluyen, pero sin limitarse a, separación manual, separación según el tamaño del material, separación según la densidad del material, separación según la dimensión del material, separación según las propiedades ópticas del material, y separación según propiedades de absorción de rayos X del material. Una determinada porción del material no fermentable se envía a la hidrólisis enzimática junto con el biorresiduo rico en celulosa, donde se elimina del hidrolizado durante o después de la hidrólisis. Dicho material no fermentable incluye, por ejemplo, alambre, plástico, cuerda, arena, ladrillo, objetos metálicos, corcho y similares. Las etapas de clasificación por vía húmeda de la presente invención incluyen sin limitación, al menos

una entre flotación, eliminación de espumas, filtración, cribado, clasificación hidráulica, rastrillos, eliminación de sólidos densos desde una canaleta de material residual que sale de la parte inferior del recipiente de hidrólisis enzimática, pinzas, trampillas de residuos, y tubos de extracción. Los procesos completos de clasificación de la mezcla

5 de residuos sólidos y generación de monosacáridos proporcionan una generación eficaz de varias corrientes recuperadas de alto valor entre la que se incluyen corrientes de azúcares que comprenden glucosa, xilosa, y sus combinaciones y corrientes recuperadas para reciclado y reutilización incluyendo plásticos clasificados, papel, cartón, cartones de bebidas, vidrio y/o metales. En la presente invención, se

10 proporcionan además corrientes de plásticos que se pueden clasifican según el tipo de plástico, tal como el polietileno tereftalato ("PET"), polietileno de alta densidad ("PEAD") y poli (cloruro de vinilo) ("PVC"). Adicionalmente, la presente invención proporciona también un combustible sólido recuperado ("CSR") que es adecuado para usar como fuente de energía en calderas de generación de vapor y hornos de

15 producción de cemento. La presente invención proporciona adicionalmente la recuperación de papel y cartón adecuados para su venta como material reciclable.

Como se usa en la presenta invención, mezcla de residuos sólidos se refiere a una corriente de residuos que comprende biorresiduos (por ejemplo, residuos alimenticios

20 y residuos de jardín), materias inorgánicas (por ejemplo, suciedad, piedras y restos de obra), mezcla de plásticos (por ejemplo, al menos PET y PEAD), metales (por ejemplo, hierro, acero, aluminio, latón y/o cobre), fibra (por ejemplo, papel y cartón ("P&C")), vidrio, textiles, caucho y madera. Un ejemplo de mezcla de residuos sólidos son los

RSU.

25

Como se usa en la presente invención, RSU se refiere a la corriente de mezcla de residuos sólidos que comprende predominantemente una mezcla de residuos urbanos y comerciales. Aunque la composición precisa de los RSU varía con la fuente, y las concentraciones e intervalos divulgados en este párrafo no deben tomarse como una

30 limitación, los RSU comprenden de forma típica, sin limitación, los componentes detallados en la siguiente Tabla 1 (en base húmeda):

Tabla 1

Componente	RSU 1	RSU 2	RSU 3
Fracción orgánica	30 % a 80 %	35 % a 75 %	40 % a 70 %

Residuos alimentarios	5 % a 55 %	10 % a 50 %	15 % a 45 %
Residuos de jardines	2 % a 25 %	3 % a 20 %	5 % a 15 %
Metales	0,1 % a 10 %	0,5 % a 5 %	1 % a 3 %
Plástico	3 % a 30 %	5 % a 25 %	10 % a 20 %
PET	0,1 % a 5 %	0,5 % a 3 %	1 % a 2 %
PEAD	0,1 % a 5 %	0,3 % a 3 %	0,5 % a 1,5 %
Vidrio	1 % a 10 %	2 % a 8 %	3 % a 6 %
Caucho, cuero, textiles	1 % a 20 %	3 % a 15 %	6 % a 11 %
Material inorgánico	0,1 % a 20 %	0,5 % a 15 %	1 % a 12 %
Material combustible (por ejemplo, madera, papel)	5 % a 35 %	10 % a 30 %	15 % a 25 %

La mezcla de residuos sólidos y RSU se puede caracterizar adicionalmente como una mezcla de (i) material planar (o componentes bidimensionales) como papel, cartón, película plástica y al menos una parte de la mezcla de componentes metálicos y (ii) material rodante (u objetos tridimensionales) tales como botellas, latas, cartones de bebidas, material inorgánico, vidrio, al menos una parte de la mezcla de componentes metálicos, y una parte predominante de la fracción orgánica.

Como se usa en la presente invención, "biorresiduos" se refiere a una corriente fraccionada enriquecida en material orgánico adecuado para su conversión a monosacáridos tales como, por ejemplo, glucosa y/o xilosa. El material orgánico incluye, pero no se limita a, almidón, celulosa, lignocelulosa y hemicelulosa. Los biorresiduos se caracterizan por comprender al menos un 30 % en peso, al menos un 35 % en peso, al menos un 40 % en peso, al menos un 45 % en peso, al menos un 50 % en peso, al menos un 55 % en peso, al menos un 60 % en peso, al menos un 65 % en peso, al menos un 70 % en peso, al menos un 75 % en peso, al menos un 80 % en peso o al menos un 85 % de material orgánico (es decir, "contenido orgánico"), y sus intervalos, tales como de aproximadamente 50 a aproximadamente 85 % en peso, o de aproximadamente 60 a aproximadamente 80 % en peso de material orgánico.

Como se usa en la presente invención, "predominante", "que comprende predominantemente" y "sustancial" se definen como al menos un 50 %, al menos un 75 %, al menos un 90 %, al menos un 95 % o al menos un 99 % como p/p%, p/v% o

v/v%.

Como se usa en la presente invención, "material reciclable o M.R." se refiere a los componentes de la mezcla de residuos que tienen valor e incluyen, pero sin limitación,  
5 papel, cartón, metales, vidrio, cartones de bebidas, plástico, y sus combinaciones.

Como se usa en la presente invención, "enriquecido" se refiere a una corriente de proceso fraccionada o un constituyente fraccionado que tiene una concentración de un componente citado que es mayor que la concentración de dicho componente (i) en la  
10 corriente de proceso o en un constituyente a partir del cual se produce la corriente de proceso fraccionada o constituyente fraccionado o (ii) en una o más corrientes fraccionadas simultáneamente o uno o más componentes fraccionados simultáneamente.

15 En la presente invención, la mezcla de residuos sólidos se puede preclasificar manualmente, y/o cualquiera de las diferentes corrientes fraccionadas de residuos se puede procesar adicionalmente mediante clasificación manual para recuperar objetos y materiales peligrosos, retirar objetos que pudieran dañar el equipo de clasificación de RSU y/o recuperar objetos que sean grandes y tengan un valor de recuperación alto.  
20 La clasificación manual se puede llevar a cabo por personal en una o más líneas de preclasificación tal como colocar el residuo en una cinta transportadora de clasificación en la que los objetos preclasificados se identifican y se retiran. Los ejemplos de objetos clasificados manualmente incluyen residuos electrónicos, acero estructural, neumáticos y llantas, recipientes que comprenden compuestos a presión (por ejemplo,  
25 propano), bloques de hormigón, rocas grandes, palés, cartón, escayola, y similares. Además, los residuos peligrosos como recipientes de disolventes y sustancias químicas, botes de pintura y baterías se retiran preferentemente antes del fraccionamiento para evitar la contaminación de los biorresiduos y otros materiales de la mezcla de residuos.

30  
En la presente invención, la mezcla de residuos sólidos, sometida de manera opcional a una etapa de preclasificación manual, se clasifica en una primera etapa de fraccionamiento mediante separación escalonada (por ejemplo, cribado) para formar al menos dos corrientes residuales dimensionadas que comprenden una primera  
35 corriente de hundido (4) enriquecida en fibra orgánica en comparación con la mezcla

de residuos sólidos y una primera corriente pasante (5) enriquecida en material rodante y material combustible (por ejemplo, papel y cartón) en comparación con la mezcla de residuos sólidos. El tamaño de abertura del tamiz puede ser de entre 60 mm y 100 mm, preferiblemente de entre 70 mm y 90 mm, y más preferiblemente de

5 aproximadamente 80 mm. Los dispositivos de cribado adecuados incluyen trómeles rotatorios, tamices de disco, tamices vibratorios y tamices oscilantes, entre otros conocidos por cualquier experto en la materia.

En la presente invención, se utilizan tamices de tipo trómel rotatorio. Un tamiz de tipo

10 trómel rotatorio comprende normalmente un tambor cilíndrico perforado o un bastidor cilíndrico que sujeta un tamiz perforado. El trómel se puede elevar de forma adecuada en un ángulo en el extremo de la alimentación o en el extremo de la descarga, o puede estar no elevado (es decir, plano). La separación por tamaños se consigue a medida que el material alimentado se mueve en espiral o de otra forma a medida que avanza

15 en el interior del tambor/tamiz rotatorio, donde el material de tamaño inferior al de las aberturas del tamiz atraviesa el tamiz como fracción de hundido y el material de tamaño superior al de las aberturas del tamiz queda retenido si se desplaza hacia adelante como fracción pasante. Para el componente de tambor, se puede utilizar opcionalmente un tornillo interno cuando la disposición del tambor es plana o elevada

20 en un ángulo inferior a aproximadamente 5°. El tornillo interno facilita el movimiento de los objetos por el interior del tambor forzándolos a un movimiento en espiral. Cualquiera de los diferentes diseños de trómel conocidos en la técnica es adecuado para llevar a la práctica las diferentes realizaciones de la presente invención. Por ejemplo, se puede utilizar un trómel que tenga dos o más tamices concéntricos con el tamiz más grueso situado en la sección más interna. Como alternativa, los trómeles se pueden disponer en serie de forma que el material tamizado y/o retenido que salga de un primer trómel se pueden alimentar posteriormente a un segundo trómel o una serie de trómeles. Aún de forma alternativa, se puede utilizar un trómel que tenga al menos

25 dos secciones con tamaños de abertura diferentes, estando dispuesto opcionalmente dicho trómel en serie con uno o más trómeles adicionales como se ha descrito anteriormente. El tamiz de tipo trómel puede tomar diferentes configuraciones. Los tamices pueden ser, de forma adecuada, placas perforadas o tamices de malla donde las aberturas pueden tener tanto forma cuadrada como forma redonda.

35 La optimización del tamiz se puede basar en una o más de las siguientes variables: (i)

la dimensión necesaria del producto tamizado, (ii) la superficie de abertura donde una  
 abertura cuadrada proporciona una superficie mayor que una abertura redonda que  
 tenga el mismo diámetro que la longitud de la abertura cuadrada, (iii) el grado de  
 agitación del material, (iv) la velocidad de rotación del trómel, (v) velocidad de  
 5 alimentación, (vi) tiempo de residencia del material, (vii) ángulo de inclinación del  
 tambor, (viii) número y tamaño de aberturas del tamiz, y (ix) características de la  
 alimentación.

Típicamente, una etapa de fraccionamiento por tamaño está asociada a un tamaño de  
 10 corte donde las partículas fraccionadas se caracterizan por una distribución de las  
 partículas. En el caso del fraccionamiento por tamaño, la distribución frecuentemente  
 incluye un número de partículas u objetos por encima o por debajo de un corte  
 concreto, tal como un tamiz que tiene un tamaño de abertura fijo, tal como 10 mm, 25  
 mm, 60 mm, 80 mm o 100 mm. Salvo que se especifique otra cosa, un número de  
 15 corte (por ejemplo, 80 mm) significa de manera general que al menos un 75 % en  
 peso, al menos un 80 % en peso, al menos un 85 % en peso, al menos un 95 % en  
 peso, al menos un 95 % en peso o al menos un 99 % en peso de las partículas o  
 componentes tienen un tamaño mayor que el número de corte (en el caso de la  
 corriente pasante) y al menos un 75 % en peso, al menos un 80 % en peso, al menos  
 20 un 85 % en peso o al menos un 90% en peso, al menos un 95 % en peso o al menos  
 un 99 % en peso de las partículas o componentes tienen un tamaño menor que el  
 número de corte (en el caso de la corriente de hundido). Dicho de otra forma, un  
 tamaño medio de partícula se refiere a una distribución de tamaño de partícula donde  
 al menos un 75 % en peso, al menos un 80 % en peso, al menos un 85 % en peso o al  
 25 menos un 90% en peso, al menos un 95 % en peso o al menos un 99 % en peso de  
 las partículas o componentes atraviesan un tamiz que tiene un tamaño de abertura  
 específico. En otra caracterización del fraccionamiento por tamaño, las corrientes  
 residuales dimensionadas tienen una distribución de tamaños con una relación entre  
 las partículas pequeñas y las partículas grandes, es decir, la relación entre las  
 30 partículas por encima del corte y las partículas por debajo del corte, de menos de 25,  
 menos de 20, menos de 15, menos de 10, menos de 8, menos de 6, o menos de 4. En  
 el caso del fraccionamiento por densidad o configuración espacial (forma), la  
 distribución frecuentemente incluye un número de partícula u objetos por encima o por  
 debajo de un corte concreto, es decir, densidad o forma (bidimensional o  
 35 tridimensional). Salvo que se especifique otra cosa, un número de corte por densidad

significa que el menos un 50 % en peso, al menos un 60 % en peso, al menos un 70 % en peso, al menos un 80 % en peso o al menos un 90 % en peso, tal como de aproximadamente 60 % en peso a aproximadamente 90 % en peso o de aproximadamente 60 % en peso a aproximadamente 75 % en peso, de las partículas o  
5 componentes tienen una densidad mayor que el número de corte (en el caso de una corriente pasante) y al menos un 50 % en peso, al menos un 60 % en peso, al menos un 70 % en peso, al menos un 80 % en peso o al menos un 90 % en peso, tal como de aproximadamente 60 % en peso a aproximadamente 90 % en peso o de aproximadamente 60 % en peso a aproximadamente 75 % en peso, de las partículas o  
10 componentes tienen una densidad menor que el número de corte (en el caso de una corriente de hundido).

En la presente invención, la criba de la primera etapa de fraccionamiento por tamaño se puede usar en serie con al menos una segunda etapa de fraccionamiento por  
15 tamaño para formar al menos tres corrientes residuales fraccionadas dimensionadas. La segunda abertura del tamiz en la segunda etapa de fraccionamiento por tamaño es de entre 170 mm y 380 mm, preferiblemente de entre 200 mm y 350 mm. En dichas etapas, se obtiene una corriente de tamaño comprendido entre 80 y 200 mm aproximadamente, una segunda corriente de tamaño comprendido entre 200 y 350  
20 mm aproximadamente y una tercera corriente de tamaño mayor de 350 mm aproximadamente. Todas ellas están enriquecidas en material reciclable respecto a la corriente que alimenta a la primera etapa de separación. La corriente de entre 200 y 350 mm estará enriquecida en material reciclable, mientras que la corriente mayor de 350 mm contendrá material reciclable de gran tamaño, y será rica en material  
25 combustible.

En la presente invención, se pueden utilizar dispositivos de separación magnética en diferentes puntos de los sistemas de la presente invención para recoger metales ferrosos. Los ejemplos de separadores magnéticos incluyen tambor magnético, cinta  
30 perpendicular magnética, cabezales con poleas magnéticas, y similares. Las ubicaciones adecuadas incluyen, sin limitación, las salidas de retenido y tamizado del trómel y sistemas de transporte, salidas de corriente pesada de la separación por densidad y sistemas de transporte, recipiente de hidrólisis enzimática, y sistemas de clasificación óptica y de clasificación por rayos X.

35

En la presente invención, uno o más separadores electrostáticos para el aislamiento y separación de componentes plásticos se puede operar junto con uno o más de los sistemas descritos en la presente invención, incluyendo fraccionamiento con aire, tamices de fraccionamiento, sistemas de transporte y transferencia de material, clasificadores ópticos y por rayos X, y aparatos de abertura de bolsas. Los sistemas de separación electrostática son conocidos en la materia y están comercialmente disponibles. La separación de plásticos según el tipo se puede llevar a cabo por separación electrostática donde una corriente que comprende una mezcla de plásticos se carga electrostáticamente (por ejemplo mediante fricción o aplicación de una carga) dando por resultado un material cargado positivamente y negativamente, donde los plásticos PE, PVC y PET tienen una carga inducida característica y diferente. Por ejemplo, PE y PET asumen normalmente una carga positiva y el PVC asume normalmente una carga negativa. Los materiales cargados positivamente y negativamente se hacen pasar por un campo electrostático formado por contraelectrodos en lados opuestos donde el plástico cargado positivamente migra al lado del electrodo negativo y el plástico cargado negativamente migra hasta el lado del electrodo positivo dando como resultado la separación del plástico por tipo. Entre los fabricantes de sistemas de separación electrostática se incluyen *Hitachi Zosen Corporation* y otros.

La primera corriente pasante (5) se clasifica, como ya ha quedado descrito, para separar una corriente de material fino (8) (rica en materia orgánica), una corriente de material planar (10) compuesta por material bidimensional (por ejemplo papel y cartón ("P&C")) y una corriente de material rodante tridimensional (9) compuesta por plásticos.

En una realización de la presente invención, la segunda corriente de hundido (6) de entre 200 y 350 mm aproximadamente, enriquecida en material reciclable se procesa en un aparato de abertura de bolsas para liberar los componentes que aún puedan quedar incluidos en su interior antes de clasificación adicional.

La clasificación de cualquiera de las diferentes corrientes de proceso que comprenden una mezcla de objetos bidimensionales (material planar) y tridimensionales (rodante), tal como la segunda corriente de hundido (6) enriquecida en material y/o las corrientes que comprenden un componente que tiene una densidad superior a la del resto de componentes, se puede conseguir por cualquiera de las diferentes técnicas de

separación por densidad conocidas en la técnica tal como los separadores balísticos o los separadores mediante aire (por ejemplo, separadores por aire lineales (separadores neumáticos tipo windshifters) y separadores por aire rotatorios).

5 En la presente invención, la clasificación de las corrientes enriquecidas en material reciclable se lleva a cabo mediante separación balística con cribado. Por lo general, la separación balística con cribado separa corrientes de alimentación en función de sus propiedades de tamaño, densidad y forma para formar una primera fracción que comprende objetos rodantes (por ejemplo, recipientes, botellas de plástico, piedra,  
10 botes y algunos objetos metálicos), una segunda fracción que comprende materiales planos (planares) y materiales ligeros (por ejemplo láminas, textiles, papel y cartón), y una tercera fracción de material fino (por ejemplo, material orgánico, alimentos y arena). Dichos separadores balísticos comprenden por lo general una rampa en pendiente ascendente desde el extremo de la alimentación hasta el extremo de  
15 descarga y adicionalmente incluyen un transportador perforado. A medida que el material se transporta, el material rodante va girando en dirección al punto de menor elevación en el extremo de la alimentación y forma la fracción de material rodante, los elementos de material fino atraviesan el tamiz y constituyen la fracción de material fino, y los elementos de densidad ligera y planos se transportan hasta la salida para  
20 formar la corriente de material plano. De manera opcional se puede insuflar aire desde el extremo de la alimentación hasta el extremo de descarga para mejorar la eficacia de separación del material plano y el material rodante, y el transportador se puede hacer vibrar u oscilar, de manera opcional, para mejorar la eficiencia de separación de material fino.

25

La optimización de la separación balística se puede basar en una o más de las siguientes variables: (i) el tamaño de partícula deseado del material fino, (ii) la ubicación de la alimentación sobre la cinta transportadora, (iii) la velocidad de alimentación, (iv) el tiempo de residencia del material, (v) el ángulo de inclinación de la  
30 cinta transportadora, (vi) el número y tamaño de abertura del tamiz, (vii) las características de la alimentación, (viii) la velocidad del aire y (ix) el grado de vibración u oscilación.

En la presente invención, la abertura de las perforaciones del tamiz balístico  
35 (aberturas) pueden adecuadamente ser de entre 60 mm y 100 mm. Las aberturas

pueden tener tanto forma cuadrada como forma redonda. En la presente invención, el tamaño de la abertura puede ser de aproximadamente 80 mm. El material fino es una corriente pasante de 80 mm caracterizada por tener un contenido orgánico de al menos un 40 % en peso, al menos 50 % en peso o al menos 60 % en peso. La corriente de material reciclable se caracteriza por un componente de vidrio y un componente de plástico mixto que comprende PET y PEAD. El material reciclable puede comprender además una mezcla de metales incluyendo aluminio, latón, cobre, hierro y acero. La corriente de material planar se caracteriza por un componente P&C. La corriente de material planar se caracteriza adicionalmente por tener un componente combustible que tiene un valor calorífico de al menos aproximadamente 15, 16 o 17 megajulios por kilogramo en base seca (aproximadamente 7.500 Btu por libra).

Cualquiera de las diferentes corrientes ricas en material combustible (24), (25) o (34) dentro del alcance de la presente invención se puede acondicionar opcionalmente para formar CSR. De acuerdo con la presente invención, varias corrientes ricas en material combustible se pueden combinar y procesar. El material se separa mediante clasificación por aire como se describe en la presente invención (tal como un *separator* por aire lineal) para formar una segunda corriente ligera (26) y una segunda corriente pesada o densa (27) en la que la corriente ligera está enriquecida en material combustible en comparación con la corriente pesada. La corriente ligera se procesa en una etapa de trituración para adicionalmente reducir el volumen y el tamaño de partícula y formar el CSR. Un tamaño promedio de partícula típico es de aproximadamente 20 mm a aproximadamente 50 mm. El CSR se puede secar opcionalmente para aumentar el valor energético por unidad de peso. El CSR se caracteriza por tener un valor calorífico de entre aproximadamente 17 y aproximadamente 30 megajulios por kilogramo (de aproximadamente 7.500 a aproximadamente 13.000 Btu/lb) y menos de aproximadamente un 25 % en peso de agua. El CSR dentro del alcance de la presente invención puede usarse de manera adecuada como fuente de energía para calderas y hornos de producción de cemento, o como sustrato de gasificación.

La corriente de papel y cartón (38) obtenida a partir de la corriente de planares (10) se puede triturar opcionalmente antes de, después de o en paralelo de mezcla con la disolución acuosa (36).

35

La corriente de papel y cartón (38) se puede combinar de forma adecuada con la corriente de biorresiduos limpia (20) generada a partir de la corriente enriquecida en materia orgánica en la primera etapa de fraccionamiento por tamaño y la combinación de corrientes se puede someter a impregnación con ácido y pretratamiento. Esta corriente pretratada (29), que comprende monosacáridos y polisacáridos solubles, se puede poner en contacto con una fuente de enzimas que comprende celulasa.

La corriente de material reciclable fraccionada se puede clasificar adicionalmente mediante cualquier sistema de clasificación óptica, separación por rayos X, y sus combinaciones para fraccionar la corriente de material reciclable en un diferentes corrientes de material plástico. En la presente invención, la corriente de material reciclable se puede fraccionar mediante clasificación óptica y/o separación por rayos X como se ha descrito en la presente invención, opcionalmente con la combinación adicional de al menos una etapa de clasificación manual, para aislar un número de corrientes ricas en materiales reciclables incluyendo una corriente de película plástica, una corriente PEAD, una corriente PET, y una corriente de plásticos mezclados. Otras posibles corrientes ricas en materiales reciclables generadas a partir de la corriente de material rodante fraccionada pueden incluir, una corriente de plástico PVC, una corriente de metal mixto, corrientes metálicas clasificadas por aleación (por ejemplo, aluminio, latón y cobre), una corriente de cartones de bebidas, una corriente de papel y/o una corriente de cartón. El material residual que queda tras el fraccionamiento de la corriente de material rodante está enriquecido en material combustible en comparación con las diferentes corrientes recuperadas, y se puede enviar al acondicionamiento para formación de CSR como se ha descrito en la presente invención.

En la presente invención, la corriente de material planar generada en el fraccionamiento bidimensional/tridimensional (por ejemplo, separación balística) de la corriente enriquecida en material reciclable generado en la primera etapa de fraccionamiento por tamaño se puede clasificar opcionalmente mediante clasificación óptica como se ha descrito en la presente invención para formar una corriente de P&C recuperada (38) y una corriente rica en material combustible (34). La corriente rica en material combustible se envía al acondicionado tal como se ha descrito en la presente invención. La corriente de P&C puede tener valor como corriente recuperada o se puede procesar mediante limpieza de biorresiduos y molienda como se ha descrito en

la presente invención para formar material celulósico para su conversión en monosacáridos.

Los clasificadores ópticos son conocidos en la técnica e incluyen, pero sin limitación, clasificadores de infrarrojo cercano (NIR) y de cámara de color. Por ejemplo, en una  
5 realización el clasificador óptico puede funcionar realizando un barrido de la corriente de residuo intermedio en caída libre mediante un sensor de cámara. Otros clasificadores ópticos utilizan el infrarrojo cercano y otras tecnologías de barrido para separar los materiales deseados de las corrientes mixtas. En la presente invención, las  
10 corrientes de plásticos mezclados se pueden clasificar por el tipo de plástico sobre la base del principio de reacción de los electrones en el material de los objetos a analizar bajo la luz infrarroja, donde las moléculas en el objeto a analizar reaccionan con la luz infrarroja con un modelo de excitación electrónica característico de la composición del material. El detector infrarrojo y el ordenador asociado leen e interpretan el modelo,  
15 asignan un tipo de material (por ejemplo, plástico PEAD, PET o PVC) en función de la interpretación, y clasifican (separan) los objetos en base al tipo de material. Un sensor (como una cámara o sensor luminoso) detecta una señal característica del material a separar y transmite las señales de detección a un sistema informático donde las señales se analizan ejecutándose un algoritmo en el sistema informático para  
20 determinar la composición relativa o identificar el material con respecto a una composición o valor relativo preconfigurado. El sistema informático transmite una señal de salida para activar chorros de aire para eyectar rápidamente el material mientras está en caída libre. Cualquier número de clasificadores ópticos se puede utilizar en serie o en paralelo. Entre los fabricantes de clasificadores ópticos se incluyen TiTech  
25 Pellenc, MSS, NRT, y otros.

Los sistemas de clasificación mediante rayos X se basan en la medición de las absorciones de rayos X en un material a diferentes niveles de energía con el fin de determinar la densidad atómica relativa del material. Más particularmente, la absorción  
30 de rayos X en un material es función de la densidad atómica del material y también función de la energía de los rayos X incidentes donde una pieza dada de material absorberá los rayos X en diferentes grados dependiendo de la energía de los rayos X incidentes. Un sensor de rayos X detecta una señal característica del material a separar y transmite las señales de detección a un sistema informático donde las  
35 señales se analizan y se ejecuta un algoritmo en el sistema informático para

determinar la composición relativa o identificar el material con respecto a una composición o valor relativo preconfigurado. El sistema informático transmite una señal de salida para activar chorros de aire para eyectar rápidamente el material mientras está en caída libre. Esta tecnología puede evaluar el objeto completo y examina el objeto completo teniendo en cuenta las variaciones exteriores e interiores. Dichos sistemas de clasificación se describen en la patente de Estados Unidos N°. 7.564.943 y están comercialmente disponibles, tal como de National Recovery Technologies, LLC de Nashville, Tenn. Los clasificadores mediante rayos X se pueden utilizar en combinación con clasificadores ópticos.

10

En algunos sistemas de clasificación mediante absorción de rayos X, una matriz de detectores de rayos X de doble energía se coloca por debajo de la superficie de una cinta transportadora utilizada para transportar residuos mezclados a través de una región de detección situada entre una matriz de detectores y un tubo de rayos X. Las matrices de detectores adecuadas se pueden obtener de Elekon Industries (Torrance, Calif.) y los tubos de rayos X se pueden obtener de Lohmann X-ray (Leverkusan, Alemania). El tubo de rayos X es preferentemente una fuente de banda ancha que irradia una lámina de rayos X preferentemente colimados a través de la anchura de la cinta transportadora a lo largo de la matriz de detectores de rayos X de doble energía de forma que los rayos X atraviesan esta región detectora y la cinta transportadora antes de alcanzar los detectores. A medida que el material atraviesa la región de detección de rayos X, los rayos X transmitidos a su través se detectan mediante la matriz de detectores de rayos X de doble energía en dos niveles de energía diferentes.

15

20

25

30

35

Las señales de detección se transmiten a un sistema informático y las señales se analizan ejecutándose un algoritmo en el sistema informático para determinar la composición relativa del material con respecto a una composición relativa preconfigurada. Una matriz de eyectores de aire de alta velocidad se dispone corriente abajo respecto a la región de detección y se sitúa a través del ancho de la trayectoria de los materiales descargados por el extremo de la cinta transportadora. El ordenador ejecuta el algoritmo de clasificación y selección de los materiales y, de acuerdo con los resultados derivados de la ejecución del algoritmo, las señales del sistema informático seleccionan qué eyectores de aire de la matriz de eyectores de aire se activarán y expulsarán, de esta forma, los materiales seleccionados del flujo de materiales de acuerdo con la composición relativa calculada. La secuencia de detección, selección, y eyección puede tener lugar simultáneamente en múltiples trayectorias a lo largo del

ancho de la cinta transportadora de forma que se pueden analizar y clasificar al mismo tiempo múltiples muestras de material.

Los sistemas de clasificación óptica y los sistemas de clasificación mediante rayos X se pueden configurar para realizar un barrido de una corriente de una mezcla de residuos y determinar si el material a analizar es un tipo particular de material tal como plástico, papel, o vidrio, y recuperar (i) plástico PEAD, plástico PET, plásticos nº 3 al 7 y/o plásticos de tipo poli(cloruro de vinilo) (PVC), (ii) vidrio y/o (iii) papel de una corriente de una mezcla de residuos que comprende partículas orgánicas y/o partículas inorgánicas. Los sistemas de clasificación óptica y los sistemas de clasificación mediante rayos X se pueden configurar adicionalmente para distinguir entre tipos de plásticos, tal como plástico PEAD, plástico PET y plástico PVC de forma que una corriente que contiene una mezcla de plásticos se puede clasificar en corrientes según el tipo de plástico. Por ejemplo, tras la detección de un material particular en una corriente de una mezcla de residuos, un sistema de clasificación óptica o un sistemas de clasificación mediante rayos X puede utilizar aire dirigido hacia las boquillas para expulsar el material buscado/identificado para producir uno o más productos reciclados tales como PET reciclable, PEAD reciclable, película plástica reciclable, plásticos nº 3 al 7 reciclables, vidrio reciclable y/o productos de papel reciclable.

Más particularmente, por ejemplo, una mezcla de residuos se puede introducir en un transportador, cuya velocidad se selecciona de forma que la mezcla de residuos se lanza por el extremo del transportador. El sensor óptico o el sistema de rayos X se programa mediante un programa informático en un sistema informático para detectar la forma, tipo de material, color o niveles de translucencia de objetos particulares. Por ejemplo, el sistema informático conectado al sensor óptico o sistema de rayos X se puede programar para detectar el tipo de material plástico asociado con botellas de plástico, como PET, PEAD, y PVC. Los objetos que tienen las características de material preprogramadas se detectan mediante los sensores ópticos o el sistema de rayos X cuando atraviesan un haz de luz o de rayos X y el sistema informático conectado al sensor envía una señal que activa una boquilla de aire para eyección a alta presión. La boquilla de aire de eyección libera una corriente de aire que golpea los objetos detectados de forma descendente para sacarlos de su trayectoria normal en dirección a una primera tolva y/o un primer transportador. Otros materiales y objetos

- continúan su desplazamiento a lo largo de la trayectoria hasta una segunda tolva y/o un segundo transportador. En la presente invención, cualquiera de las diferentes corrientes generadas en un primer sistema de clasificación óptica/rayos X se puede procesar opcionalmente en al menos un sistema de clasificación óptica/rayos X
- 5 adicional para producir una cualquiera de una corriente de material plástico clasificada por tipo (por ejemplo, PET, PEAD o PVC), vidrio clasificado por color, papel. El resto de la corriente residual procedente de uno o más clasificadores ópticos/rayos X es típicamente una corriente de material particulado rico en material orgánico.
- 10 En cualquiera de las diversas realizaciones, la primera corriente hundido (4) procedente de la primera etapa de fraccionamiento enriquecida en biorresiduos se puede fraccionar con un tamiz y que tiene un tamaño de malla de aproximadamente 5 mm a aproximadamente 20 mm, de aproximadamente 5 mm a aproximadamente 15 mm, de aproximadamente 8 mm a aproximadamente 12 mm, o aproximadamente 10
- 15 mm para formar (i) una tercera corriente hundido (13) enriquecida en compuestos inertes y que tiene un contenido en material inorgánico de al menos un 50 % en peso, al menos un 55 % en peso, o al menos un 60 % en peso, tal como aproximadamente un 65 % en peso y un contenido en materia orgánica de menos de 50 % en peso, menos de 45 % en peso o menos de 40 % en peso, tal como aproximadamente 35 %
- 20 en peso y (ii) una tercera corriente pasante (12) de biorresiduo en bruto que tiene un contenido en materia orgánica de al menos un 40 % en peso, al menos un 45 % en peso, al menos un 50 % en peso, al menos un 55 % en peso o al menos un 60 % en peso y que tiene un tamaño promedio de partícula de entre aproximadamente 5 mm y aproximadamente 80 mm, entre aproximadamente 10 mm y aproximadamente 80 mm,
- 25 o entre aproximadamente 15 mm y aproximadamente 80 mm, y que comprende además un componente reciclable que comprende plástico. La tercera corriente de hundido (13) rica en material inorgánico se puede purgar del proceso de forma opcional o se puede procesar adicionalmente para la recuperación de vidrio.
- 30 En el procedimiento de la invención, cualquiera de las diferentes corrientes de biorresiduo se puede procesar mediante separación por densidad para formar una primera o segunda corriente de rechazo densa y una corriente de biorresiduo intermedia. La primera corriente de rechazo densa (15) está enriquecida en compuestos inorgánicos, vidrio y metal, y tiene una densidad elevada en gramos por
- 35 centímetro cúbico, en comparación con la corriente de biorresiduo intermedia. La

primera corriente de rechazo se puede purgar del proceso, o bien se puede procesar adicionalmente para la recuperación del metal y/o vidrio incluidos mediante cualquiera de los diferentes métodos descritos en la presente invención. Los métodos de separación por densidad adecuados son conocidos en la técnica e incluyen, sin limitación, separadores de aire como separadores por aire lineales (disponibles, por ejemplo, de Nihot) y separadores por aire rotatorios. Los separadores por aire lineales separan una corriente de alimentación en fracciones ligera y pesada donde los materiales ligeros se separan de los materiales pesados en una unidad de separación con control del flujo de aire. Los materiales ligeros se separan de la corriente de aire en la unidad de separación y se transportan fuera de la unidad de separación y la fracción pesada queda hundido en la unidad de separación. La eficacia de separación varía con la composición de la corriente de alimentación, pero típicamente de aproximadamente 70 % en peso a aproximadamente 80 % en peso o de aproximadamente 75 % en peso a aproximadamente 85 % en peso del material inerte (por ejemplo, material inorgánico) se separa de la fracción pesada y al menos un 95 % en peso o al menos un 98 % en peso del papel y el cartón se separa de la fracción ligera. La separación por aire rotatoria comprende un equipo que tiene una abertura provista de manguito a través de la cual se insufla aire, estando rodeado el manguito por un tamiz de forma cilíndrica que gira pasada la abertura. El material a separar se deposita sobre el tamiz en la zona de la abertura del manguito, y el material fino se arrastra a través del tamiz como una corriente pasante (según lo permita el tamaño de la abertura del tamiz) y se transporta mediante el flujo de aire a un primer punto de recogida. El material retenido se arrastra al tamiz y se transporta por el tamiz más allá del manguito hasta el lado opuesto del separador donde se recoge en un segundo punto de recogida. El material tamizado denso (como la gravilla) no se transporta por el tamiz, sino que en su lugar se cae del tamiz en el lado de la alimentación del equipo y se recoge en un tercer punto.

La primera corriente ligera (14) es una corriente enriquecida en biorresiduos en la que la corriente ligera se puede fraccionar con un tamiz tal como se describe en la presente invención y que tiene un tamaño de malla de entre 25 mm y 50 mm para formar (i) una cuarta corriente de biorresiduos hundido (16) que tiene un contenido en materia orgánica de al menos un 65 % en peso, al menos un 70 % en peso, al menos un 75 % en peso o al menos un 80 % en peso, tal como de aproximadamente 70 % en peso a aproximadamente 85 % en peso o de aproximadamente 70 % en peso a

aproximadamente 80 % en peso y que tiene un tamaño de partícula promedio menor de aproximadamente 50 mm, y (ii) una cuarta corriente de pasante (17) que comprende material orgánico y está enriquecida en material reciclable (por ejemplo, papel, cartón, plástico, y sus combinaciones) en comparación con la corriente de biorresiduos hundida.

En el procedimiento de la invención, la cuarta corriente de pasante (17) se puede clasificar mediante clasificación óptica y/o clasificación mediante rayos X para recuperar una corriente enriquecida en biorresiduos (19) y una corriente recuperada enriquecida en plástico (18), en comparación con la cuarta corriente pasante (17).

En la cuarta corriente de hundido (16) se fraccionan mediante clasificación óptica o de rayos X. En una realización preferida de la presente invención, se utiliza la clasificación mediante rayos X. Con este sistema de clasificación se eliminan inertes de la cuarta corriente de hundido (16). Dicha corriente de inertes, principalmente compuesta de piedras, huesos, arenas, es eliminada del proceso.

La corriente limpia se une con la corriente rica en materia orgánica (19) y son sometidas a un proceso de molienda para reducir su tamaño a un promedio de partícula menor de 25 mm aproximadamente.

La corriente de biorresiduo (20) es la corriente de biorresiduo limpia para su conversión en monosacáridos. Dicha corriente tiene un contenido en material orgánico de aproximadamente 70 % en peso a aproximadamente 90 % en peso o de aproximadamente 75 % en peso a aproximadamente 90 % en peso.

En otra etapa del fraccionamiento del biorresiduo en bruto de la presente invención, la cuarta corriente pasante (17) enriquecida en material reciclable, se fracciona adicionalmente mediante clasificación óptica para recuperar corrientes que comprenden una corriente rica en material orgánico (19) y una corriente de recirculación que está enriquecida en material reciclable (18). En cualquiera de las realizaciones del procedimiento de la invención, papel, cartón, vidrio, metales y/o plásticos se pueden recuperar como fracciones o corrientes individuales. La corriente rica en material orgánico se caracteriza por un tamaño de partícula mayor de 50 mm, y más preferiblemente de entre 50 mm y 80 mm. Esta corriente preferentemente se

moltura como se ha descrito en la presente invención para reducir el tamaño de partícula a menos de 25 mm. La corriente molida o no se combina a continuación con la corriente de biorresiduos limpia para su conversión en monosacáridos. La corriente enriquecida en material reciclable (18), o sus fracciones individuales, se transportan hasta el fraccionamiento de material reciclable por separación balística mediante clasificación óptica y clasificación manual como se ha descrito en la presente invención para la recuperación o purificación de plásticos, metales, vidrio, papel y cartón.

5

10 En otra etapa del fraccionamiento del biorresiduo en bruto de la presente invención, (i) la corriente de biorresiduo en bruto se puede fraccionar con un tamiz que tiene un tamaño de malla de entre 5 mm y 20 mm, más preferiblemente de aproximadamente 5 mm a aproximadamente 15 mm para formar una tercera corriente hundido (13) y una tercera corriente de biorresiduo pasante (12) y (ii) la tercera corriente de biorresiduo pasante (12) se fracciona mediante separación por densidad para formar una primera corriente de rechazo densa (15) y una primera corriente de biorresiduo ligera (14) tal como se describe en la presente invención.. La primera corriente de biorresiduo ligera se fracciona con un tamiz que tiene un tamaño de malla de entre 25 mm y 50 mm, para formar una cuarta corriente de hundido y una cuarta corriente pasante en la que

15

20 la cuarta corriente de pasante (17) está enriquecida en material reciclable en comparación con la cuarta corriente hundido (16) y la cuarta corriente hundido (16) está enriquecida en biorresiduos en comparación con la cuarta corriente de pasante (17). La cuarta corriente de pasante se fracciona mediante clasificación óptica y/o clasificación por rayos X para recuperar una corriente rica en material reciclable a partir de la cuarta corriente de pasante. Las corrientes de producto reciclado que comprenden plásticos, metales, vidrio, papel y/o cartón se pueden generar mediante clasificación óptica y/o clasificación por rayos X, o la cuarta corriente de pasante limpia (o fracciones de la misma) se pueden transportar hasta el fraccionamiento de material rodante por separación balística mediante clasificación óptica y clasificación manual

25

30 como se ha descrito en la presente invención para la recuperación o purificación de plásticos, metales, vidrio, papel y cartón.

Las corrientes de rechazo procedentes del área de limpieza del biorresiduo; tercera corriente de hundido (13) y la corriente (22) pueden ser enviadas a un área de recuperación de vidrio. Estas corrientes de rechazo, que pueden tener un contenido en

35

vidrio de entre 10 y 40% en peso o entre 20 y 50%, son divididas por un separador óptico o un separador por rayos X generando al menos dos corrientes. En esta etapa se generan al menos dos corrientes, una de ellas enriquecida en uno o más tipos de vidrio si se compara con la corriente de alimentación y con la otra corriente de salida, 5 teniendo un contenido en vidrio de entre 50 y 99% en peso, preferiblemente de entre 60 y 90% o de entre 70 y 80%. Las fracciones de rechazo procedentes del área de limpieza del biorresiduo, enriquecidas en uno o más tipos de vidrio son sometidas a una etapa de acondicionamiento previa al separador óptico o de rayos X. Esta etapa de acondicionamiento puede comprender una separación por densidad, una 10 separación por tamaño o una combinación de ambas, incrementando así el porcentaje de vidrio que entra en la etapa de recuperación.

En esta invención, las corrientes enriquecidas en biorresiduos generadas a partir de la corriente hundido de la primera etapa de fraccionamiento y que tienen un tamaño 15 promedio de partícula superior a aproximadamente 25 mm se molturan preferentemente para reducir el tamaño de partícula a menos de aproximadamente 25 mm para maximizar la relación entre el área superficial y la relación en peso para aumentar la eficacia de la hidrólisis a glucosa. Se puede utilizar cualquier dispositivo de molienda adecuado, tal como una picadora, molino de martillos, trituradora, molino 20 de cuchillas, cortadora, molino de disco, molino centrífugo o un homogeneizador. La corriente de biorresiduos molturada recuperada se combina con la corriente de biorresiduos limpia y posteriormente se convierte en glucosa mediante hidrólisis.

La corriente de biorresiduos limpia puede comprender un contenido en materia 25 orgánica de entre un 70 % en peso a un 90 % en peso o preferiblemente de entre un 75 % en peso a un 90 % en peso. La corriente de biorresiduos limpia comprende un componente orgánico soluble y un componente orgánico insoluble. El componente orgánico soluble comprende de aproximadamente 2 % en peso a aproximadamente 10 % en peso de glucano, más preferiblemente de aproximadamente 2 % en peso a 30 aproximadamente 5 % en peso de glucano y de aproximadamente 0,05 % en peso a aproximadamente 1 % en peso de xilano. El componente insoluble comprende de aproximadamente 5 % en peso a aproximadamente 20 % en peso de glucano, preferiblemente de aproximadamente 8 % en peso a aproximadamente 20 % en peso de glucano, de aproximadamente 1 % en peso a aproximadamente 10 % en peso de 35 xilano, preferiblemente de aproximadamente 2 % en peso a aproximadamente 5 % en

- peso de xilano, de aproximadamente 20 % en peso a aproximadamente 40 % en peso de celulosa, preferiblemente de aproximadamente 25 % en peso a aproximadamente 35 % en peso de celulosa y de aproximadamente 5 % en peso a aproximadamente 15 % en peso de lignocelulosa. La corriente de biorresiduos limpia comprende además
- 5 menos de aproximadamente un 40 % en peso de ceniza (materiales inorgánicos), preferiblemente menos de aproximadamente un 35 % en peso, un 30 % en peso, un 25 % en peso, un 20 % en peso o menos de aproximadamente un 15 % en peso de ceniza (materiales inorgánicos).
- 10 La corriente de biorresiduos limpia generada a partir de la corriente hundido de la primera etapa de fraccionamiento, la corriente de material fino enriquecida en materia orgánica y/o corriente de material planar (papel y cartón) generada a partir de la corriente de pasante de la primera etapa de fraccionamiento, denominadas
- 15 de hidrólisis para conseguir una corriente acuosa que comprende glucosa. La corriente de glucosa se puede purificar para eliminar las impurezas y los monosacáridos C5 (por ejemplo, xilosa). En realizaciones adicionales de la presente invención, la corriente de glucosa se puede poner en contacto con una fuente de al menos un organismo de fermentación para formar un producto de fermentación.
- 20
- En la conversión de biorresiduos de la presente invención, se combinan los biorresiduos limpios, o se impregnan, con al menos una corriente acuosa con agitación para formar una suspensión de biorresiduo limpia que tiene un contenido de agua de entre un 50 a un 90 % en peso, preferiblemente de entre un 60 a un 80 % en peso,
- 25 más preferiblemente de entre un 70 a un 80 % en peso.
- El biorresiduo limpio se puede impregnar con un ácido para proporcionar un pH de 1, 2, 3, 4, 5 o 6, y cualquiera de sus intervalos, para (i) favorecer la solubilización de al menos una parte del almidón, dextrina, disacáridos y/o monosacáridos contenidos en
- 30 el biorresiduo, (ii) para proporcionar condiciones adecuadas para la celulosa, hemicelulosa y lignocelulosa y/o para esterilizar la suspensión. Como se usa en la presente invención, la dextrina se refiere a mezclas de bajo peso molecular de polímeros de glucosa producidos por la hidrólisis del almidón y unidos mediante enlaces  $\alpha$ -1,4 y  $\alpha$ -1,6. La concentración de ácido en la corriente de biorresiduo limpio
- 35 impregnada con ácido se puede ajustar a entre 0,01 y 0,15 kg de ácido por kg de

biorresiduo limpio sobre una base sólida. Se pueden usar ácidos minerales (por ejemplo ácido sulfúrico y ácido clorhídrico) o ácidos orgánicos, y se prefieren generalmente ácidos minerales.

- 5 Como alternativa, el biorresiduo limpio se puede impregnar opcionalmente con una base. En realizaciones particulares, la base es amoníaco y la concentración de amoníaco se ajusta a 0,1, 0,5, 1, 1,5, 2 o 2,5 kg de amoníaco por kg de biorresiduo limpio en base sólida, o se ajusta entre 0,1 y 2,5 kg de base por kg de biorresiduo limpio. En la impregnación con base, la concentración de agua del biorresiduo limpio  
10 se ajusta a entre 0,3 y 2,5 kg de agua por kg de biorresiduo limpio en base sólida, preferiblemente de entre 1 y 2 kg de agua por kg de biorresiduo limpio en base sólida.

Se puede llevar a cabo la impregnación del biorresiduo limpio mediante cualquier medio conocido en la técnica para conseguir una mezcla sustancialmente homogénea,  
15 incluyendo tanques de mezcla agitada (seguido por una etapa de deshidratación), mezcladores en línea, mezcladores de tipo amasado, mezcladores de paletas, mezcladores de cintas. En un método, los biorresiduos limpios se pulverizan con agua (que comprende opcionalmente ácido o base) con mezclado en un mezclador de cizalladura elevada, tal como un mezclador de cinta o una de tipo amasado. El  
20 material impregnado se mantiene normalmente durante un periodo suficiente de tiempo antes del pretratamiento a presión y temperatura elevada (por ejemplo, tal como mediante contacto con vapor) para permitir equilibrio de humedad y temperatura, tal como aproximadamente de 1 a 20 minutos. En otro método, una suspensión que comprende biorresiduos limpios, agua (que comprende opcionalmente ácido o base)  
25 se forma mezclando a un contenido de humedad de al menos 60 % en peso, preferiblemente de entre un 70 % en peso y un 90 % en peso. La suspensión se deshidrata después para dar como resultado biorresiduos limpios impregnados. El contenido final en humedad del biorresiduo limpio impregnado es de entre un 20 % en peso a un 80 % en peso, preferiblemente de entre un 30 % en peso y un 70 % en  
30 peso, y más preferiblemente de entre un 40 % en peso y un 60 % en peso.

En la suspensión de biorresiduos o la suspensión de biorresiduos con pH ajustado se procesa mediante al menos una etapa de separación sólido-líquido para formar una corriente líquida que comprende componentes solubles de biorresiduos (por ejemplo,  
35 monosacáridos, disacáridos, dextrinas y almidón soluble) y una corriente de biomasa

sólida que comprende biorresiduos insolubles (por ejemplo, celulosa, hemicelulosa, lignocelulosa, cantidades menores de dextrina y almidón insoluble). Cualquier técnica de separación sólido-líquido conocida en la técnica, tal como filtración o centrifugación, es adecuada para dicha separación sólido-líquido.

5

En una realización particular de la invención, al menos una parte de la corriente líquida se puede recircular a la etapa de impregnación. Adicionalmente, al menos una parte de la corriente líquida puede comprender al menos una parte de una corriente de lavado acuoso para lavar el material fino con fibra orgánica pretratado y las corrientes de biorresiduos limpias (como se ha descrito en la presente invención). En otra realización particular, al menos una parte de la corriente líquida puede comprender al menos una parte de la corriente de lavado acuoso para lavar la corriente de material fino enriquecida en biorresiduos generada a partir de la corriente fraccionada enriquecida en material rodante. Adicionalmente, el pH de al menos una parte de la corriente líquida se puede ajustar a un intervalo adecuado para hidrólisis enzimática y enviarse a la etapa de hidrólisis enzimática (como se ha descrito en la presente invención).

En la hidrólisis de biorresiduos limpios descrita en la presente la invención, la corriente de biomasa sólida (impregnada opcionalmente con agua, ácido o base) se pone en contacto opcionalmente con vapor a una temperatura y presión elevadas seguido por una rápida despresurización en una etapa de pretratamiento con vapor para potenciar la accesibilidad de los componentes celulósicos de las enzimas. Más particularmente, la corriente de biomasa sólida puede someterse a unas condiciones de presión y temperatura elevadas para romper los complejos de celulosa-hemicelulosa y celulosa-hemicelulosa-lignina. Tras un periodo de tiempo de contacto, la presión de la corriente de biomasa sólida se reduce y/o el alimento tratado se descarga a un ambiente de presión reducida, tal como la presión atmosférica, para generar una corriente de biomasa sólida tratada con vapor tratado, y evaporar rápidamente y ventear el vapor. El cambio en la presión da como resultado una rápida expansión del material que ayuda por tanto a desmenuzar la estructura de la fibra de biomasa que incluye, por ejemplo, los enlaces entre la lignina (si está presente) y la hemicelulosa y/o la celulosa en el complejo de celulosa-hemicelulosa o celulosa-hemicelulosa-lignina (denominado colectivamente "complejos de celulosa"). Más particularmente, por medios fisicoquímicos, el tratamiento con vapor disocia normalmente la celulosa de la

- hemicelulosa y lignina (si está presente) proporcionando celulosa adecuada para la hidrólisis enzimática de la glucosa. El tratamiento con vapor disocia normalmente la hemicelulosa desde el complejo, generalmente en la forma de hemicelulosa solubilizada en una fase líquida de la biomasa celulósica tratada. Una parte de la hemicelulosa contenida en la biomasa celulósica, tal como de aproximadamente 10 % en peso a aproximadamente 20 % en peso, se solubiliza en una fase líquida de la biomasa celulósica tratada. De esta manera, el tratamiento con vapor proporciona hemicelulosa adecuada para la hidrólisis enzimática de los monosacáridos.
- 10 La biomasa sólida o la biomasa impregnada se puede poner en contacto con vapor a una temperatura de entre 100 °C y 250 °C, preferiblemente de 150°C a 250°C y más preferiblemente de 175 °C a 220 °C, aún más preferiblemente de 175 °C a 200 °C y a una presión de entre 100 kPa y 4.000 kPa, preferiblemente de 300 kPa a 2500 kPa, más preferiblemente de 400 kPa a 1750 kPa, y aún más preferiblemente de 1000 kPa
- 15 a 1400 kPa. El tiempo de contacto total es de entre 1 a 20 nm, En el caso de temperatura y presión elevadas, el tiempo de contacto total es de 1 a 5 minutos, y aún más preferiblemente de 1 a 2 minutos. En algunas realizaciones de la invención, la presión es de aproximadamente 600 kPa y el tiempo de contacto es de aproximadamente 8 minutos. En la presente invención, transcurrido el tiempo de
- 20 contacto, la presión se reduce a menos de aproximadamente 35 kPa, por ejemplo a 30 kPa, 25 kPa, 20 kPa, 15 kPa, 10 kPa o 5 kPa, ligeramente por encima de la presión ambiente, o aproximadamente a la presión ambiente para formar la biomasa insoluble pretratada con vapor (i) en una única etapa de reducción de la presión o (ii) de
- 25 kPa a aproximadamente 1205 kPa, de aproximadamente 690 kPa a aproximadamente 1380 kPa, de aproximadamente 690 kPa a aproximadamente 1205 kPa, de aproximadamente 690 kPa a aproximadamente 1035 kPa, o de aproximadamente 1035 kPa a aproximadamente 1205 kPa en una primera etapa de reducción de presión y mantenerla durante un periodo de tiempo de aproximadamente 0,5 minutos a
- 30 aproximadamente 20 minutos, seguido por una reducción a menos de aproximadamente 35 kPa en una segunda etapa.

La corriente de biomasa sólida (opcionalmente impregnada con un ácido o base) se puede introducir en un recipiente que comprende una zona de contacto para el

35 tratamiento con vapor. La corriente de biomasa sólida está normalmente en la forma

de una suspensión, o torta. Por ejemplo, la corriente de biomasa sólida puede presionarse para formar una torta, o un aglomerado de sólidos tratados para su introducción en el recipiente de tratamiento con vapor. La forma y configuración precisas del recipiente no son muy críticas y pueden seleccionarse por un experto en

5 la técnica dependiendo de las circunstancias concretas (por ejemplo, las propiedades de la biomasa celulósica y las condiciones de funcionamiento). En general, el recipiente incluye una entrada para la introducción de la corriente de la biomasa sólida y una o más salidas para liberar la biomasa celulósica tratada y/o los diversos componentes generados durante el tratamiento con vapor. Una vez que la corriente de

10 biomasa sólida está contenida en el recipiente, el recipiente se presuriza y la corriente de biomasa sólida se calienta mediante inyección directa de vapor. En cualquiera de los diversas realizaciones de pretratamiento con vapor de la invención, una corriente de vapor o gas puede ventearse continua o periódicamente desde el recipiente de pretratamiento con vapor para purgar los compuestos orgánicos volátiles ("COVs")

15 generados como subproductos del tratamiento con vapor de la celulosa, hemicelulosa y lignocelulosa que se sabe que son compuestos inhibidores de la fermentación y/o enzimáticos. Dichos inhibidores incluyen, por ejemplo, ácido acético, furfural e hidroximetilfurfural ("HMF"). En realizaciones particulares de la invención, el calentamiento de la corriente de biomasa sólida puede llevarse a cabo indirectamente,

20 tal como aplicando vapor a un recipiente encamisado. Típicamente, la corriente de biomasa sólida se mantiene a una temperatura y presión objetivo, tal como mediante el control de la presión, durante un tiempo suficiente para proporcionar un calentamiento adecuado. En realizaciones particulares de la presente invención, tras un periodo de presurización del recipiente y calentamiento de la corriente de la

25 biomasa sólida, la corriente de biomasa sólida se libera o transfiere desde el recipiente de contacto hasta un recipiente receptor que tiene una presión reducida y controlada. En otras realizaciones particulares de la presente invención, tras un periodo de presurización del recipiente y del calentamiento de la corriente de biorresiduo sólido, la presión y la temperatura del recipiente se reduce hasta una presión y temperatura

30 intermedias y se mantiene durante un periodo de tiempo en aquellas condiciones, seguido por una reducción de la presión o por una presión ligeramente superior a la presión atmosférica. En otras realizaciones particulares de la presente invención, tras un periodo de presurización del recipiente y calentamiento de la corriente de la biomasa sólida, la presión y la temperatura en el recipiente se reduce a presión

35 atmosférica o a una presión ligeramente superior a la presión atmosférica. En

cualquiera de las realizaciones de la presente invención, como se ha señalado, la súbita disminución de la presión durante esta liberación promueve la rotura del complejo de celulosa. Esto es, la súbita disminución en la presión produce un rápido aumento en el volumen del vapor y los gases atrapados en el interior de la estructura porosa de la biomasa lo que da como resultado velocidades del gas incidente muy rápidas y/o una rápida vaporización del agua calentada que bien ha ocupado o se ha forzado al interior de la estructura fibrosa. En los casos en los que la presión diferencial es suficientemente elevada y donde el cambio de presión se produce rápidamente, la rápida vaporización asociada y la velocidad del gas se produce esencialmente de forma instantánea en un método conocido en la técnica como explosión de vapor. En cualquiera de las realizaciones de la presente invención, la etapa de despresurización genera una corriente de vapor súbita que comprende diversos COVs tal como se ha descrito anteriormente.

En una realización particular en el tratamiento con amoníaco de la presente invención, el biorresiduo limpio se impregna en primer lugar con agua antes de añadirlo a un reactor de pretratamiento. La temperatura puede ajustarse opcionalmente entre 30 °C y 80 °C, preferiblemente de entre 40 °C y 60 °C. El biorresiduo limpio impregnado con agua se añade a continuación a un reactor de pretratamiento. El biorresiduo limpio impregnado con agua se puede someter a un vacío parcial en el reactor de pretratamiento para eliminar al menos una parte del aire atrapado. Amoníaco anhidro se precalienta para proporcionar la presión y temperatura deseadas. El amoníaco presurizado y calentado se añade a continuación al reactor de pretratamiento y se pone en contacto con el biorresiduo limpio impregnado con agua. El calor de disolución del amoníaco da como resultado un aumento en la temperatura. Un experto en la materia puede determinar la selección de la combinación de (1) temperatura y presión del amoníaco anhidro y (2) el contenido en agua del biorresiduo limpio pretratado con agua y la temperatura necesaria para conseguir un intervalo de presión y temperatura predeterminado. El tiempo de contacto es de forma adecuada entre 5 y 20 minutos. La temperatura es de manera adecuada de entre 100 °C y 250 °C, preferiblemente de entre 120 °C y 200 °C, más preferiblemente de entre 140 °C y 180 °C. La presión es de manera adecuada de 300 kPa manométrica a 2500 kPa manométrica, preferiblemente de 500 kPa manométrica a 2000 kPa manométrica, de 700 kPa manométrica a 1700 kPa manométrica, o de 850 kPa manométrica a 1400 kPa manométrica. La presión se libera rápidamente después de un tiempo de contacto

adecuado para expandir las fibras celulósicas.

En la presente invención, el biorresiduo limpio pretratado se acondiciona para formar una suspensión antes de entrar en contacto con una fuente de enzimas. En algunas realizaciones, la biomasa limpia pretratada se pone en contacto con una corriente acuosa enfriada, que comprende opcionalmente ácido o base, para proporcionar una suspensión que comprende monosacáridos estabilizados, polisacáridos solubilizados, compuestos insolubles que comprenden celulosa, hemicelulosa y/o lignocelulosa, y material no fermentable. Cuando se realiza pretratamiento con ácido, la corriente acuosa enfriada puede ser de forma adecuada agua con amoníaco y, cuando se realiza pretratamiento con base, tal como la expansión de las fibras con amoníaco, la corriente acuosa enfriada puede ser de manera adecuada una corriente de ácido mineral o una corriente acuosa. En cualquiera de las realizaciones, la corriente acuosa enfriada tiene una temperatura menor de 20 °C, menor de 15 °C o menor de 10 °C; la concentración de sólidos de la suspensión de biorresiduo limpio pretratado es de entre un 15 % y un 35 % en peso, preferiblemente de entre 20 % en peso y un 30 % en peso, más preferiblemente de entre 25 % en peso y 35 % en peso; el pH de la suspensión de biorresiduo limpio pretratado es de entre 4 y 6 , preferiblemente de entre 4,5 a 5,5; y la temperatura de la suspensión de biorresiduo limpio pretratado es de entre 30 °C y 70 °C, preferiblemente de entre 40 °C y 60 °C.

El biorresiduo limpio pretratado acondicionado que comprende un componente no fermentable se combina con una fuente de enzimas que comprende al menos celulasa para generar un hidrolizado que comprende glucosa y para retirar al menos una corriente de material no fermentable.

El material no fermentable comprende una mezcla de componentes incluyendo uno o más de alambre, plástico, cuerda, vidrio, suciedad, hormigón, ladrillo, objetos metálicos (por ejemplo grapas, tuercas, pernos, uñas, etc.), y cargas de papel. Los componentes no fermentables pueden comprender una mezcla de material molturado y no molturado. Por ejemplo, al menos una parte del material no fermentable que procede de la corriente pasante de la primera etapa de fraccionamiento se puede molturar para producir piezas de alambre, plástico, cuerda, vidrio, así como otros materiales no fermentables. Al menos una parte del material no fermentable que procede de la corriente de hundido de la primera etapa de fraccionamiento se puede

no molturar e incluir piezas de alambre, plástico y cuerda, telas (por ejemplo, trapos), así como piezas de alambre, plástico, cuerda, vidrio, y otro material no fermentable.

Al menos una parte del material no fermentable comprende normalmente cargas y otros compuestos utilizados en el procesado de papel que se separan del papel y el cartón durante el pretratamiento y la hidrólisis enzimática. Las cargas de papel incluyen arcilla (por ejemplo, arcilla de caolín – insoluble en agua), carbonato de calcio (ligeramente solubles en agua y soluble en ácido diluido) y otros componentes que contienen calcio, partículas de tinta, dióxido de titanio (insoluble en agua y ácido diluido), talco (insoluble en agua y ligeramente soluble en ácido mineral diluido), componentes que contienen magnesio, componentes que contienen sodio, componentes que contienen potasio, componentes que contienen fósforo y componentes que contienen aluminio. Estos componentes se pueden denominar colectivamente como "ceniza". Dichas partículas de ceniza tienen normalmente un tamaño de partícula promedio en el intervalo de aproximadamente 1 micrómetro a aproximadamente 5 micrómetros. El papel contiene además "adhesivos" generalmente compuestos por agregados poliméricos y puede incluir una mezcla de, por ejemplo, colas, plásticos de fundido en caliente, revestimientos de látex y adhesivos. Los adhesivos tienen normalmente un tamaño promedio de partícula en el intervalo de aproximadamente 1 micrómetro a aproximadamente 100 micrómetros. El componente celulósico del papel y el cartón se caracteriza en general por una longitud promedio de la fibra de aproximadamente 0,8 mm a aproximadamente 1,2 mm para fibras de madera dura, de aproximadamente 3 mm a aproximadamente 7 mm para fibras de madera blanda, y de aproximadamente 1 mm a aproximadamente 3 mm para fibras vegetales no de madera.

El componente de material no fermentable se caracteriza por un intervalo de densidad. Alguna parte de los componentes son menos densos que la suspensión de hidrólisis enzimática y se separan (flotan) hacia la superficie. Los ejemplos de algunos de dichos componentes incluyen plásticos y adhesivos. Alguna parte de los componentes tiene aproximadamente la misma densidad que la suspensión enzimática y tienden a permanecer suspendidos en una suspensión agitada de hidrólisis enzimática. Los ejemplos de algunos de dichos componentes incluyen polvo y cenizas (por ejemplo, componentes de ceniza que tienen tamaños de partícula de aproximadamente 100 micrómetros o menos). Alguna parte de los componentes tiene mayor densidad que la

suspensión enzimática y tienden a separarse (hundirse) hacia el fondo de la suspensión de hidrólisis enzimática. Los ejemplos de algunos de dichos componentes incluyen metales y rocas.

- 5 Las celulasas son una clase de enzimas producidas principalmente por hongos, bacterias, y protozoos que catalizan la celulolisis (hidrólisis) de la celulosa en glucosa, celobiosa, celotriosa, celotetrosa, celopentosa, celohexosa, y celodextrinas de cadena más larga. Se pueden emplear combinaciones de los tres tipos básicos de celulasas. Por ejemplo, se pueden añadir endocelulasas para hidrolizar aleatoriamente los
- 10 enlaces  $\beta$ -1,4,-D-glucosídicos a fin de perturbar la estructura cristalina de la celulosa y exponer las cadenas de celulosa individuales. Se pueden añadir exocelulasas para escindir dos unidades (celobiosa), tres unidades (celotriosa), o cuatro unidades (celotetrosa) de las cadenas expuestas, mientras que se puede añadir  $\beta$ -glucosidasa para hidrolizar estos compuestos a glucosa, que está disponible para la fermentación.
- 15 Los ejemplos de celulasas adecuadas incluyen, por ejemplo, Cellic<sup>®</sup> CTec2, Cellic<sup>®</sup> CTec3, CELLUCLAST<sup>®</sup>, CELLUZYME<sup>®</sup>, CEREFLO<sup>®</sup> y ULTRAFLO<sup>®</sup> (disponible de Novozymes A/S), LAMINEX<sup>®</sup>, SPEZYME<sup>®</sup>CP (Genencor Int.), y ROHAMENT<sup>®</sup> 7069 W (Rohm GmbH), y GC-220 (Genencor International). La corriente líquida se esteriliza preferentemente para destruir microbios antes de su combinación con el vapor de la
- 20 corriente de biomasa sólida pretratada. La esterilización se puede llevar a cabo mediante, por ejemplo, tratamiento de temperatura, radiación UV, o una de sus combinaciones.

Por lo general, se forma una suspensión a partir del biorresiduo limpio pretratado

25 acondicionado en condiciones favorables para la actividad de la celulasa. Más particularmente, el pH y la temperatura de la suspensión se ajusta como se ha descrito anteriormente y el contenido de sólidos en suspensión se ajusta entre un 15 % en peso y un 35 % en peso, preferiblemente de entre un 25 % en peso a 30 % en peso, con uno o más entre agua de proceso o corrientes de lavado acuoso descritas en la

30 presente invención. La carga de celulasa en la suspensión de forma adecuada se puede variar con el contenido de celulosa, pero la carga típica se puede expresar como de entre 5 mg a 50 mg de celulasa por gramo de celulosa, más preferiblemente de entre 10 mg a 30 mg de celulasa por gramo de celulosa. Expresado de otra forma, la carga de celulasa es de aproximadamente 5 a aproximadamente 50 mg de proteína

35 enzimática por gramo de celulosa en la biomasa celulósica tratada.

La celulosa puede combinarse con la suspensión de biomasa tratada mediante cualquier medio conocido en la técnica para conseguir una mezcla sustancialmente homogénea, incluyendo tanques de mezcla agitada, mezcladores en línea, 5 mezcladores de tipo amasado, mezcladores de paletas, mezcladores de cintas, o en reactores de licuefacción tales como reactores que tienen al menos una sección de mezcla y al menos una sección de flujo pistón. El reactor de hidrólisis enzimática es normalmente un recipiente agitado diseñado para mantener la mezcla de suspensión-celulosa de la biomasa a una temperatura adecuada para la hidrólisis de la celulosa 10 mediante la celulosa, donde el volumen es suficiente para proporcionar el tiempo de mantenimiento necesario para un rendimiento significativo de los azúcares monosacáridos hexosas derivados de la celulosa ("C6"), por ejemplo, glucosa. En la presente invención, el recipiente de hidrólisis enzimática puede aislarse y/o calentarse con una camisa de calentamiento para mantener la temperatura de la hidrólisis. El 15 tiempo de ciclo de la hidrólisis enzimática total es de 48 horas a 144 horas, y sus intervalos están comprendido en el alcance de la presente invención. Los rendimientos de glucosa, basados en el contenido de celulosa total de la suspensión de la biomasa son normalmente de aproximadamente 30 % a aproximadamente 90 %, de aproximadamente 40 % a aproximadamente 80 % de aproximadamente 30 % a 20 aproximadamente 70 % o de aproximadamente 60 % a aproximadamente 75 % del valor teórico.

Para las suspensiones de biomasa tratada muy viscosas, tales como las que tienen una viscosidad superior a 20000 cP, o aproximadamente 500000 cP, la mezcla con 25 enzimas puede llevarse a cabo en dos etapas. En una primera etapa, la celulosa puede mezclarse con la biomasa en un mezclador particularmente adecuado para el procesado de materiales muy viscosos, por ejemplo, un mezclador de tipo amasado, un mezclador de paletas (de eje simple o doble), o un mezclador de cintas (de eje simple o doble). Los mezcladores de elevada viscosidad son particularmente 30 adecuados para el método de la presente invención debido a que la vigorosa agitación de la celulosa con la suspensión viscosa de la biomasa tratada permite una rápida reducción de la viscosidad en la posterior etapa de licuefacción donde la viscosidad se reduce preferentemente a menos de aproximadamente 20000 cP, menos de aproximadamente 15000 cP, menos de aproximadamente 10000 cP o incluso menos 35 de aproximadamente 5000 cP. El mezclador de elevada viscosidad puede tener

opcionalmente una camisa para recibir un medio de enfriamiento o calentamiento a fin de mantener la temperatura de la biomasa tratada durante la adición de celulasa. De manera opcional, puede incorporarse un medio de enfriamiento y calentamiento en los componentes del mezclador interno (tal como en los ejes de rotación, paletas) para

5 potenciar adicionalmente el intercambio de calor. La adición de la celulasa puede llevarse a cabo mediante uno o más puntos de adición, por ejemplo, boquillas de pulverización múltiples, posición próxima a la entrada de la biomasa tratada. En una segunda etapa, la mezcla de biomasa-celulasa tratada puede procesarse en un tanque de mezcla o en un biorreactor de licuefacción de fibra. La mezcla de biomasa-celulasa

10 tratada puede procesarse en un biorreactor de licuefacción de fibras para reducir adicionalmente la viscosidad antes de su transferencia a un reactor de hidrólisis de la celulosa. El biorreactor de licuefacción de fibras puede ser tanto de un diseño de mezcla continua o un diseño con al menos una sección de mezcla continua y al menos una sección de flujo pistón. De manera opcional, dos o más biorreactores de

15 licuefacción de fibras pueden hacerse funcionar en serie. El biorreactor de licuefacción de fibras comprende alternar zonas de mezcla y zonas de flujo pistón próximas y la mezcla de biomasa-celulasa tratada fluye tanto hacia abajo a través de la torre por gravedad o se mueve hacia arriba mediante bombeo. La mezcla de biomasa-celulasa tratada se procesa normalmente en un biorreactor de licuefacción de fibras hasta que

20 la viscosidad de la mezcla es menor de aproximadamente 10000 cP, menos de aproximadamente 9000 cP, menos de aproximadamente 8000 cP, menos de aproximadamente 7000 cP o menos de aproximadamente 5000 cP donde después se transfiere a un reactor de hidrólisis de la celulosa.

25 La hidrólisis enzimática transcurre con la eliminación paralela de material no fermentable de la suspensión. Los métodos de eliminación adecuados incluyen, sin limitación, flotación, eliminación de espumas, filtración, cribado, clasificación hidráulica, rastrillos, eliminación de sólidos densos desde una rampa abatible de material residual que sale de la parte inferior del recipiente de hidrólisis enzimática, pinzas, trampillas de

30 residuos, tubos de extracción.

Al menos una parte del material no fermentable se puede separar en dirección a la superficie de la suspensión de hidrolizado enzimático. Al menos una parte del material no fermentable flotante se puede eliminar mediante eliminación de espumas. Los

35 eliminadores de espuma adecuados con conocidos en la materia e incluyen

eliminadores de espuma flotantes de presa en el que el material flotante pasa por encima de una presa y se recoge. Otros eliminadores de espuma incluyen eliminadores de espuma oleofílicos, donde el material flotante se adhiere a un elemento rotatorio, tal como un tambor o cinta, en contacto con la capa superficial, y el  
 5 material que se adhiere al elemento se elimina y se recoge. Otros eliminadores de espuma adicionales incluyen los eliminadores de espuma de tubo y los eliminadores de espuma de membrana. Cualquiera de los diferentes eliminadores de espuma se puede utilizar junto con un rastrillo para residuos u otro medio para eliminar objetos flotantes tales como trozos de plástico y de tela. La fracción líquida recogida se puede  
 10 procesar opcionalmente en un concentrador de aceite o separador de aceite-agua para eliminar el material acuoso residual para su reciclado al recipiente de hidrólisis enzimática y/o purga del proceso.

La eliminación de espumas se puede utilizar junto con la flotación para mejorar la  
 15 eficacia de eliminación de espumas. La flotación se puede llevar a cabo de forma adecuada burbujeando aire presurizado a través de la suspensión para hacer que la materia particulada no fermentable suspendida flote hacia la superficie. La flotación también se puede llevar a cabo mediante flotación por gas disuelto, donde el gas disuelto se libera a presión atmosférica en el tanque de hidrólisis y también se puede  
 20 utilizar para fraccionar el material no fermentable suspendido y el gas puede ser aire. En algunas realizaciones de la presente invención, el gas es dióxido de carbono generado durante la fermentación. Se cree que el uso de gases residuales de fermentación que comprende monóxido de carbono para la flotación mejora el rendimiento de glucosa en comparación con la flotación por aire al reducir la oxidación  
 25 de los monosacáridos.

Al menos una parte del material no fermentable puede quedar suspendido en la suspensión de hidrolizado enzimático. Al menos una parte del material no fermentable suspendido se puede eliminar por recirculación a través de un tamiz o filtro que tiene  
 30 aberturas de 2 mm a 30 mm, preferiblemente de 8 mm a 20 mm o de 4 mm a 10 mm en la que al menos una parte del material no fermentable queda retenido en el tamiz o filtro y se separa de la suspensión enzimática, en la que el resto de suspensión enzimática atraviesa el tamiz. El filtrado de suspensión enzimática que atraviesa el tamiz puede contener material fino no fermentable como ceniza, componentes  
 35 adhesivos y polvo. La fracción gruesa puede contener azúcares solubles que pueden

ser recuperados en una etapa de lavado de sólidos. La fracción fina es filtrada una segunda vez por una criba con luz de malla de entre 1 mm y 0,1 mm, donde la fracción soluble pasa a través de la criba y los sólidos no fermentables, como plásticos y fibras, son retenidos en la criba y/o pasan a través de la criba y son reciclados al recipiente de hidrólisis enzimática. La fracción retenida en la segunda criba comprende sólidos finos insolubles no fermentables y puede contener monosacáridos solubles, polisacáridos y enzima. La fracción retenida puede lavarse con alguna de las corrientes acuosas obtenidas en algún punto del proceso de la presente invención para recuperar azúcares solubles y enzima. Algunos ejemplos de aparatos adecuados para la separación sólido líquido son el filtro prensa, filtro rotatorio, filtros de bandas, centrifugas o la combinación de ellos. Al menos una parte del material no fermentable denso se puede separar en dirección al fondo de la suspensión de hidrolizado enzimático. El recipiente de hidrólisis enzimática tiene un fondo cónico con una salida en la elevación inferior y al menos una salida en una elevación superior, tal como en la transición entre la pared lateral y el fondo cónico. Al menos una parte del material denso se puede eliminar del recipiente de hidrólisis enzimática haciendo pasar la suspensión por la salida situada en la elevación inferior a través de un tamiz que tiene aberturas de 4 mm a 30 mm, preferiblemente de 4 mm a 20 mm o de 4 mm a aproximadamente 10 mm para recoger el material no fermentable denso sobre el tamiz como una corriente pasante y reciclar el filtrado al recipiente de hidrólisis enzimática. En algunas realizaciones de la presente invención, se utiliza un transportador con deshidratación para eliminar el material denso (pesado) no fermentable de la salida situada en el fondo del recipiente de hidrólisis enzimática con una corriente acuosa reciclada para recuperación. Adicionalmente, el recipiente de hidrólisis enzimática comprende una cubeta con pinzas en la sección inferior en cuyo interior el material no fermentable denso se separa y un elevador de cubeta para extraer la cubeta para su limpieza.

Puede utilizarse otro equipo auxiliar para eliminar el material no fermentable del recipiente de hidrólisis enzimática. Por ejemplo, se pueden usar rastrillos para eliminar residuos como alambres, plástico, cuerda, tela, etc.

De manera opcional, enzimas adicionales tales como una hemicelulasa (por ejemplo, una xilanasa para hidrolizar adicionalmente los diversos tipos de hemicelulosas a xilosa), una  $\alpha$ -amilasa (para licuar el almidón libre que se encuentra atrapado

anteriormente en las matrices de celulosa, hemicelulosa y/o lignocelulosicas, una  $\beta$ -amilasa, una glucoamilasa (para convertir el almidón licuado en azúcares C6), una arabinoxilanasas, una pululanasa, y/o una proteasa (para hidrolizar los enlaces peptídicos y liberar gránulos de almidón embebidos en la matriz de proteínas ) se  
5 pueden añadir a la biomasa celulósica tratada para generar azúcares C6 adicionales y/o azúcares pentosa ("C5"). Los ejemplos no limitantes de azúcares C6 incluyen glucosa, galactosa, manosa, y fructosa y los ejemplos no limitantes de azúcares C5 incluyen xilosa, arabinosa y ribosa. Las enzimas opcionales se pueden mezclar con la biomasa celulósica tratada en cualquier momento de la hidrólisis incluyendo con la  
10 celulosa durante una mezcla de elevada viscosidad, en una o más ubicaciones del biorreactor de licuefacción de fibras y/o en el reactor de hidrólisis de la celulosa.

Una hemicelulasa, tal como se usa en la presente invención, se refiere a un polipéptido que puede catalizar la hidrólisis de la hemicelulosa en polisacáridos  
15 pequeños tales como oligosacáridos, o monosacáridos incluyendo xilosa y arabinosa. Las hemicelulasas incluyen, por ejemplo, las siguientes: endoxilanasas,  $\beta$ -xilosidasas,  $\alpha$ -L-arabinofuranosidasas,  $\alpha$ -D-glucuronidasas, feruloil esterasas, coumaroil esterasas,  $\alpha$  galactosidasas,  $\beta$ -galactosidasas,  $\beta$ -mananasas, y  $\beta$ -manosidasas. Se puede obtener una xilanasas de cualquier fuente adecuada, incluyendo organismos  
20 fúngicos y bacterianos, tales como *Aspergillus*, *Disporotrichum*, *Penicillium*, *Neurospora*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Humicola*, *Thermomyces*, *Myceliophthora*, *Cryosporium*, y *Bacillus*. Las preparaciones comercialmente disponibles que comprenden xilanasas incluyen SHEARZYME®, BIOFEED WHEAT®, BIO-FEED Plus®L, ULTRAFLO®, VISCOZYME®, PENTOPAN MONO®BG, y PULPZYME®HC  
25 (Novozymes A/S), y LAMINEX® y SPEZYME®CP (Genencor Int.) un ejemplo de una hemicelulasa adecuada para el uso en la presente invención incluye VISCOZYME® (disponible de Novozymes A/S, Dinamarca).

Generalmente, son aplicables cualquiera de las clases de las proteasas por ejemplo,  
30 ácidas, básicas o neutras, y están comercialmente disponibles proteasas de, por ejemplo, Novozymes, Genencor y Solvay. Los ejemplos incluyen, por ejemplo, GC106 (disponible de Genencor International), AFP 2000 (disponible de Solvay Enzymes, Inc.), FermGen™ (que es una proteasa alcalina disponible de Genencor International), y Alcalase® (que es una proteasa ácida disponible de Novozymes Corporation). Una  
35 pululanasa comercialmente disponible es Promozyme® D2, disponible de Novozymes

Corporation. Las composiciones comercialmente disponibles que comprenden glucoamilasa incluyen: AMG 200L, AMG 300 L, AMG E, SAN® SUPER, SAN® EXTRA L, SPIRIZYME® PLUS, SPIRIZYME® FUEL, SPIRIZYME® FG y SPIRIZYME® E (disponibles todas de Novozymes); OPTIDEX® 300 y DISTILLASE® L-400 (disponibles de Genencor Int.); y G-ZYME™ G900, G-ZYME™ 480 Etanol y G990 ZR (disponibles de Genencor Int.). Los ejemplos de  $\alpha$ -amilasas ácidas comerciales de la invención incluyen TERMAMYL® SC, LIQUOZYME® SC DS, LIQUOZYME® SC 4X, y SAN™ SUPER (disponibles todas de Novozymes AJS, Dinamarca); y DEX-LO®, SPEZYME® FRED, SPEZYME® AA, y SPEZYME® DELTAAA (disponibles todas de Genencor).

Son útiles también los complejos multienzimáticos que contienen múltiples carbohidrasas, tales como Viscozyme® L, disponible de Novozymes Corporation, que contienen arabanasa, celulasa,  $\beta$ -glicanasa, hemicelulasa, y xilanasa.

15

En la presente invención, los monosacáridos pueden extraerse o separarse de otra forma a partir de la biomasa hidrolizada. La biomasa hidrolizada se puede introducir en un aparato de recuperación de azúcares que comprende un equipo de separación de sólidos/líquidos adecuado tal como, por ejemplo, una criba, filtro, centrífuga, sedimentador, percolador, columna de extracción, recipiente de flotación, o una de sus combinaciones, para generar una fracción líquida que comprende azúcares monosacáridos y una fracción de sólidos, donde la fracción de sólidos puede de forma adecuada estar en forma de torta o suspensión. La fracción de sólidos puede lavarse una o más veces para la recuperación de monosacáridos adicionales. Los monosacáridos pueden recuperarse de la fracción sólida mediante contacto en contracorriente de la fracción sólida con un líquido de lavado en un aparato adecuado para formar una corriente de lavado que comprende los monosacáridos extraídos. La fracción líquida se combina con un medio líquido y/o las corrientes de lavado para formar una fracción de monosacáridos. La composición precisa del medio líquido y del líquido de lavado no son estrictamente críticas. Sin embargo, en realizaciones preferidas de la presente invención, el medio líquido y el líquido de lavado pueden procesar agua si se desea una fracción de monosacárido de pureza relativamente elevada. Aunque la composición precisa de la fracción de monosacáridos varía con la composición de la biomasa, generalmente, las composiciones de monosacáridos comprenden al menos aproximadamente 5 % en peso, al menos aproximadamente

35

6 % en peso, al menos aproximadamente 7 % en peso, al menos aproximadamente 8 % en peso, al menos aproximadamente 9 % en peso, o al menos aproximadamente 10 % en peso de monosacáridos. La fracción de sólidos residuales comprende una celulosa no hidrolizada, hemicelulosa no hidrolizada, lignocelulosa no hidrolizada, polisacáridos (por ejemplo, gránulos de almidón), monosacáridos arrastrados y lignina. La fracción de sólidos residuales puede reciclarse adecuadamente para la recuperación de azúcares y de los sustratos azucarados.

La corriente de monosacáridos puede concentrarse para producir un concentrado o jarabe con un contenido de al menos un 25% en peso, al menos un 40% en peso o al menos un 60% en peso. Los métodos para concentrar esta corriente pueden ser los conocidos en el estado del arte e incluyen evaporadores, ósmosis reversa o la combinación de estos, entre otros. Esta, corriente de monosacáridos se puede concentrar en dos pasos hasta concentraciones de sólidos desde 50% aproximadamente hasta 70% en peso aproximadamente o desde 40% aproximadamente hasta 80% en peso aproximadamente.

En un primer paso en la concentración de monosacáridos se puede llevar a cabo a una temperatura desde 50°C aproximadamente hasta 100°C o desde 70°C hasta 80°C aproximadamente. En otra realización de la presente invención alguna de las dos etapas de evaporación o las dos se llevan a cabo en condiciones de vacío.

Cualquiera de diversas corrientes de biomasa sólida tratadas con enzimas, las corrientes de suspensión que contienen azúcares fermentables y las corrientes acuosas que contienen azúcares fermentables pueden utilizarse con los microorganismos adecuados como sustrato para la producción de productos de fermentación. Se conocen en la materia una amplia variedad de microorganismos de fermentación, y se pueden descubrir otros, producidos mediante mutación, o diseñados mediante ingeniería genética mediante medios recombinantes. Los microorganismos de fermentación comprendidos en el alcance de la presente invención incluyen levaduras, bacterias, hongos filamentosos, microalgas, y sus combinaciones. Los ejemplos de productos de fermentación en el alcance de la presente invención incluyen, por ejemplo, ácidos, alcoholes, alcanos, alquenos, aromáticos, aldehídos, cetonas, triglicéridos, ácidos grasos, biopolímeros, proteínas, péptidos, aminoácidos, vitaminas, antibióticos, farmacéuticos, y sus combinaciones.

Los ejemplos no limitantes de alcoholes incluyen metanol, etanol, propanol, isopropanol, butanol, etilenglicol, propanodiol, butanodiol, glicerol, eritritol, xilitol, sorbitol, y sus combinaciones. Los ejemplos no limitantes de ácidos incluyen ácido acético, ácido láctico, ácido propiónico, ácido 3-hidroxipropiónico, ácido butírico, ácido glucónico, ácido itacónico, ácido cítrico, ácido succínico, ácido levulínico, y sus combinaciones. Los ejemplos no limitantes de aminoácidos incluyen ácido glutámico, ácido aspártico, metionina, lisina, glicina, arginina, treonina, fenilalanina, tirosina, y sus combinaciones. Otros ejemplos de productos de fermentación incluyen metano, etileno, acetona y enzimas industriales.

10

Los organismos de fermentación pueden ser microorganismos naturales o microorganismos recombinantes, e incluyen *Escherichia*, *Zymomonas*, *Saccharomyces*, *Candida*, *Pichia*, *Streptomyces*, *Bacillus*, *Lactobacillus*, y *Clostridium*. El organismo de fermentación puede ser *Escherichia coli* recombinante, *Zymomonas mobilis*, *Bacillus stearothermophilus*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Clostridia thermocellum*, *Thermoanaerobacterium saccharolyticum*, o *Pichia stipites*. En algunas realizaciones de la presente invención, el microorganismo es una microalga, definida como un organismo microbiano eucariota que contiene un cloroplasto o plástido, y que opcionalmente es capaz de llevar a cabo la fotosíntesis, o un organismo microbiano procarionta capaz de llevar a cabo la fotosíntesis. Las microalgas incluyen fotoautótrofos obligados, que no pueden metabolizar una fuente de carbono fija como energía, así como heterótrofos, que pueden vivir únicamente de una fuente de carbono fija. Las microalgas incluyen organismos unicelulares que se separan de células hermanas que se acortan tras la división celular, tales como *Chlamydomonas*, así como microbios tales como, por ejemplo, *Volvox*, que es un microbio fotosintético multicelular simple de dos tipos de células distintos. Las microalgas incluyen células tales como *Chlorella*, *Dunaliella*, y *Prototheca*. Las microalgas incluyen también otros organismos fotosintéticos microbianos que presentan adhesión célula-célula, tales como *Agmenellum*, *Anabaena*, y *Pyrobotrys*. Las microalgas incluyen también microorganismos heterotróficos obligados que han perdido la capacidad de llevar a cabo la fotosíntesis, tal como en determinadas especies de algas de dinoflagelados y especies del género *Prototheca*.

Los ejemplos no limitantes de organismos fermentativos y su producto asociado incluyen lo siguiente. Se conoce la fermentación de hidratos de carbono para dar

35

acetona, butanol y etanol mediante: (i) *Clostridia* solventogénico tal como se describe por Jones y Woods (1986) Microbiol. Rev. 50:484-524; (ii) una cepa mutante de *Clostridium acetobutylicum* como se describe en la patente de Estados Unidos N° 5.192.673; y (iii) se conoce una cepa mutante de *Clostridium beijerinckii* como se describe en la patente de Estados Unidos N° 6.358.717. Se ha descrito la fermentación de hidratos de carbono a etanol mediante cepas modificadas de *E. coli* por Underwood et al., (2002) Appl. Environ. Microbiol. 68:6263-6272 y por una cepa modificada genéticamente de *Zymomonas mobilis* que se describe en el documento US 2003/0162271 A1. Se conoce la preparación de ácido láctico por cepas recombinantes de *E. coli* (Zhou et al., (2003) Appl. Environ. Microbiol. 69:399 -407), cepas naturales de *Bacillus* (US20050250192), y *Rhizopus oryzae* (Tay y Yang (2002) Biotechnol. Bioeng. 80:1-12). Las cepas recombinantes de *E. coli* se han usado como biocatalizadores en la fermentación para producir 1,3 propanodiol (patente de Estados Unidos, N°s 6.013.494 y 6.514.733) y ácido adípico (Niu et al., (2002) Biotechnol. Prog. 18:201-211). Se ha producido ácido acético utilizando *Clostridia* recombinante (Cheryan et al., (1997) Adv. Appl. Microbiol. 43:1-33) y se han identificado recientemente cepas recombinantes (Freer (2002) World J. Microbiol. Biotechnol. 18:271-275). Se describe la producción de ácido succínico por *E. coli* recombinante y otras bacterias en la patente de Estados Unidos N° 6.159.738 y mediante *E. coli* recombinante en Lin et al., (2005) Metab. Eng. 7:116-127). Se ha producido ácido pirúvico mediante la levadura *Torulopsis glabrata* mutante (Li et al., (2001) Appl. Microbiol. Technol. 55:680-685) y por *E. coli* mutante (Yokota et al., (1994) Biosci. Biotech. Biochem. 58:2164-2167). Se han usado cepas recombinantes de *E. coli* para la producción de ácido parahidroxycinnámico (documento US20030170834) y ácido quínico (documento US20060003429).

Se ha llevado a cabo la producción de aminoácidos mediante fermentación utilizando cepas auxotróficas y cepas resistentes análogas de aminoácidos de *Corynebacterium*, *Brevibacterium*, y *Serratia*. Por ejemplo, se describe la producción de histidina utilizando una cepa resistente a un análogo de histidina en la publicación de patente japonesa N° 8596/81 y se describe utilizar una cepa recombinante en el documento EP 136359. Se describe la producción de triptófano utilizando una cepa resistente a un análogo de triptófano en las publicaciones de patentes japonesas N°s 4505/72 y 1937/76. Se describe la producción de isoleucina utilizando una cepa resistente a un análogo de isoleucina en las publicaciones de patente japonesas N°s 38995/72,

6237/76, 32070/79. Se describe la producción de fenilalanina utilizando una cepa resistente a un análogo de fenilalanina en la publicación de patente japonesa N° 10035/81. Se han descrito la producción de tirosina utilizando una cepa que requiere fenilalanina para el crecimiento, resistente a tirosina (Agr. Chem. Soc. Japan 50 (1) 5 R79-R87 (1976), o una cepa recombinante (documento EP263515, EP332234), y la producción de arginina utilizando una cepa resistente a un análogo de L-arginina (Agr. Biol. Chem. (1972) 36:1675-1684, publicaciones de patente japonesas N°s 37235/79 y 150381/82). También se ha producido fenilalanina mediante las cepas de *Eschericia coli* ATCC 31882, 31883, y 31884. Se describe la producción de ácido glutámico en 10 una bacteria *Coryneform* recombinante en la patente de Estados Unidos N° 6.962.805. Se describe la producción de treonina por una cepa mutante de *E. coli* en Okamoto e Ikeda (2000) J. Biosci Bioeng. 89:87-79. Se ha producido metionina por una cepa mutante de *Corynebacterium liliium* (Kumar et al, (2005) Bioresour. Technol. 96: 287-294). Se conoce también la producción de péptidos, enzimas, y otras proteínas por 15 microorganismos como se describe en las patentes de Estados Unidos N° 6.861.237, 6.777.207 y 6.228.630. La producción de triglicéridos, ácidos grasos y ésteres de ácidos grasos (por ejemplo, biodiesel) por microalgas es también conocida como se describe en las patentes de Estados Unidos N° 7.883.882, 8.187.860, 8.278.090 y 8.222.010, y en las solicitudes de patente estadounidense publicadas números 20 20100303957, 20110047863 y 20110250658.

La selección de condiciones de fermentación adecuadas puede llevarse a cabo de forma adecuada por los expertos en la técnica basándose en (i) la identidad de los 25 microorganismos o una combinación de microorganismos, (ii) las características del medio del sustrato para la fermentación y (iii) el producto de fermentación asociado. La fermentación puede ser aerobia o anaerobia. Las fermentaciones únicas y multietapa están comprendidas en el alcance de la presente invención. El medio del sustrato de fermentación puede estar suplementado con nutrientes adicionales necesarios para un crecimiento microbiano. Los suplementos pueden incluir, por ejemplo, extracto de 30 levadura, vitaminas, promotores del crecimiento, aminoácidos específicos, fuentes de fosfato, fuentes de nitrógeno, agentes quelantes, sales, y elementos traza. Se pueden incluir también los componentes necesarios para la producción de un producto específico preparado mediante un microorganismo específico, tal como un antibiótico para mantener un plásmido o un cofactor necesario en una reacción catalizada por 35 enzimas. También se pueden incluir azúcares adicionales para aumentar la

concentración de azúcar total. Se consiguen condiciones de fermentación adecuadas ajustando estos tipos de factores para el crecimiento y para la producción del producto de la fermentación objetivo por un microorganismo. La temperatura de fermentación puede ser cualquier temperatura adecuada para el crecimiento y la producción de los

5 nutrientes de la presente invención, tal como entre aproximadamente 20 °C a aproximadamente 35 °C. El pH de la fermentación puede ajustarse o controlarse mediante la adición de un ácido o base a la mezcla de fermentación. En dichos casos, cuando se usa amoníaco para controlar el pH, este sirve convenientemente también como fuente de nitrógeno. La mezcla de fermentación puede mantenerse

10 opcionalmente para tener un contenido en oxígeno disuelto durante el curso de la fermentación para mantener un crecimiento celular y para mantener un metabolismo celular para la producción de nutrientes. Se puede controlar la concentración del oxígeno del medio de fermentación utilizando métodos conocidos tal como mediante el uso de un electrodo de oxígeno. Se puede añadir oxígeno al medio de fermentación

15 utilizando métodos conocidos en la técnica tal como mediante agitación y aireación del medio mediante agitación, aplicación se sacudidas o uso de borboteadores. Se puede producir la fermentación posteriormente a la hidrólisis enzimática o se puede producir concurrentemente con la hidrólisis enzimática mediante Sacarificación y Fermentación Simultánea (SSF). SSF puede mantener los niveles de azúcares producidos mediante

20 hidrólisis reduciendo de este modo la inhibición potencial del producto de las enzimas de la hidrólisis, reduciendo la disponibilidad de azúcar para los microorganismos contaminantes, y mejorando la conversión de la biomasa tratada a monosacáridos y/u oligosacáridos.

25 Los organismos fermentadores del azúcar hexosa incluyen levaduras. Cualquier variedad de levaduras se puede emplear como levadura en el presente método. Las levaduras típicas incluyen cualquiera de una variedad de las levaduras comercialmente disponibles, tales como cepas comerciales de *Saccharomyces cerevisiae*. Las cepas adecuadas disponibles comercialmente incluyen ETHANOL

30 RED (disponible de Red Star/Lesaffre, EE.UU.); BioFenn HP y XR (disponible de North American Bioproducts); FALI (disponible de Fleischmann's Yeast); SUPERSTART (disponible de Lallemand); GERT STRy (disponible de Gert StrandAB, Suecia); FERMIOL (disponible de DSM Specialties); y Thennosac (disponible de Alltech). En algunas realizaciones, el organismo fermentador de hexosa es una levadura

35 recombinante que tiene al menos un transgén que expresa una enzima útil para

convertir mono y/u oligosacáridos en etanol.

En las realizaciones particulares de la presente invención dirigidas a la generación de compuestos orgánicos, preferiblemente etanol, por levaduras, el medio de fermentación tiene un pH de aproximadamente 3,5 a aproximadamente 6, de  
5 aproximadamente 3,5 a aproximadamente 5 o de aproximadamente 4 a aproximadamente 4,5. Si se requiere un ajuste del pH, se pueden usar ácidos minerales tales como ácido sulfúrico, ácido clorhídrico o ácido nítrico, o bases tales como amoníaco (hidróxido amónico) o hidróxido de sodio. Para potenciar la eficacia de  
10 la fermentación del etanol y un aumento del rendimiento del etanol se pueden añadir nutrientes adicionales para potenciar la proliferación de la levadura. Dichos nutrientes incluyen sin limitación, amino nitrógeno libre (FAN), oxígeno, fosfato, sulfato, magnesio, zinc, calcio, y vitaminas tales como inositol, ácido pantoténico, y biotina. Las fuentes típicas de FAN incluyen urea, sulfato de amonio, amoniaco, aminoácidos,  
15 y grupos nitrógeno  $\alpha$ -amino de péptidos y proteínas. El contenido de FAN añadido es preferentemente de aproximadamente 1,2 a aproximadamente 6 mg N/g de almidón, por ejemplo 1,2, 2,4, 3,6, 4,8 o 6 mg N/g de almidón. En el caso de la urea, se prefiere añadir entre aproximadamente 2,4 a aproximadamente 12 mg de urea por gramo de almidón, por ejemplo, 2,4, 4,8, 7,2, 9,6 o 12 mg de urea por gramo de almidón. Las  
20 levaduras alimentarias que suministran, por ejemplo, vitaminas (tales como vitaminas B y biotina), minerales (tales como sales de magnesio y zinc y micronutrientes y nutrientes se pueden añadir al medio de fermentación. Las levaduras alimentarias pueden incluir una levadura autolisada y extractos de plantas y se añaden normalmente a una concentración de aproximadamente 0,01 a aproximadamente 1 g/l,  
25 por ejemplo, de aproximadamente 0,05 a aproximadamente 0,5 g/l. Pueden añadirse también opcionalmente bactericidas al medio de fermentación. Los ejemplos de bactericidas típicos incluyen virginiamicina nisina, eritromicina, oleandomicina, fiavomicina, y penicilina G. En el caso de virginiamicina, se prefiere una concentración de aproximadamente 1 ppm a aproximadamente 10 ppm.

30

Los organismos fermentadores de azúcar pentosa (por ejemplo, xilosa) adecuados incluyen levaduras. Dichas levaduras incluyen *Pachysolen tannophilus*, *Pichia stipites*, *Candida diddensii*, *Candida utilis*, *Candida tropicalis*, *Candida subtropicalis*, *Saccharomyces diastaticus*, *Saccharomycopsis fibuligera* y *Torula candida*. En algunas  
35 realizaciones, el organismo fermentador de pentosa es una levadura recombinante

que tiene al menos un transgén que expresa una enzima útil para convertir mono y/u oligosacáridos en etanol. Por ejemplo, el genoma de *P. stipites* se puede incorporar a *S. cerevisiae* mediante un método de redistribución de genes para producir una levadura híbrida capaz de producir bioetanol a partir de xilosa reteniendo a la vez la capacidad de sobrevivir a elevadas concentraciones de etanol.

En algunas realizaciones de la presente invención, se utilizan organismos capaces de fermentar ambos azúcares de hexosa y pentosa para convertir monosacáridos en etanol. Típicamente, dichos organismos son cepas de *S. cerevisiae* que tienen transgenes que codifican una o más enzimas capaces de convertir los azúcares pentosa a etanol.

En la presente invención donde el medio de fermentación comprende biomasa celulósica tratada con enzimas que comprenden material celulósico no hidrolizado tal como celulosa, hemicelulosa, lignocelulosa, y fragmentos de los mismos, la fuente del organismo de fermentación puede opcionalmente comprender al menos una especie de organismo celulolítico capaz de romper y metabolizar la celulosa no hidrolizada, hemicelulosa y/o lignocelulosa presente en el medio de fermentación a etanol. Se conocen en la técnica dichos organismos celulolíticos e incluyen *Escherichia coli*, *Zymomonas mobilis*, *Bacillus stearothermophilus*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Clostridia thermocellum*, *Thermoanaerobacterium saccharolyticum*, *Pichia stipites* y *Pachysolen tannophilus*. También en el alcance de la presente invención están las bacterias celulolíticas que tienen uno o más transgenes que codifican la ruta productora de etanol. En algunas realizaciones de la presente invención la fuente del organismo de fermentación comprende además al menos una especie de organismo celulolítico capaz de romper la hemicelulosa no hidrolizada presente en la mezcla de licuefacción combinada ajustada y capaz de sintetizar etanol.

Se pueden recuperar los productos de la fermentación utilizando cualquiera de diversos métodos conocidos en la técnica. Por ejemplo, se pueden separar los productos de la fermentación de otros componentes de la fermentación mediante destilación (por ejemplo, destilación azeotrópica extracción líquido-líquido, extracción sólido-líquido, adsorción, arrastre de gas, evaporación por membranas, pervaporación, centrifugación, cristalización, filtración, microfiltración, nanofiltración, intercambio iónico, o electrodiálisis). Como ejemplo específico, metanol, etanol, u otros productos

de fermentación que tengan suficiente volatilidad se pueden recuperar de una mezcla de fermentación mediante destilación. En otro ejemplo, se puede aislar 1-butanol de una mezcla de fermentación utilizando métodos conocidos en la técnica para las fermentaciones de acetona-butanol-etanol ("ABE") (véase por ejemplo, Durre, Appl. Microbiol. Biotechnol. 49:639-648 (1998), Groot et al., Method. Biochem. 27:61-75 (1992), y las referencias citadas en el mismo), por ejemplo, mediante la eliminación de sólidos seguida por aislamiento mediante destilación, extracción líquido-líquido, adsorción, arrastre de gas, evaporación de membranas, o pervaporación. En otro ejemplo más, se puede aislar 1,3-propanediol a partir de una mezcla de fermentación mediante extracción con un disolvente orgánico, destilación, y cromatografía en columna (véase la patente de Estados Unidos N° 5.356.812). En otro ejemplo más, se pueden recoger aminoácidos de la mezcla de fermentación mediante métodos tales como adsorción mediante resina de intercambio iónico y/o cristalización. Un experto en la técnica puede llevar a cabo la selección de un método de separación adecuado para cualquier producto de fermentación concreto.

De acuerdo con la presente invención, cualquiera de las fracciones orgánicas ricas tales como biorresiduos limpios, fibra orgánica, biomasa insoluble aislada, corrientes ricas en material combustible y/o CSR, puede convertirse en productos secundarios mediante métodos de gasificación o métodos de fermentación de gas de síntesis gas conocidos en la técnica. En los métodos de gasificación, la fracción rica orgánica se calienta a elevada temperatura en una atmósfera con aporte oxígeno o en ausencia esencial de oxígeno para producir gas de síntesis (principalmente hidrógeno y monóxido de carbono) que se hace reaccionar posteriormente para formar una corriente de gas que comprende uno o más compuestos de carbono. Por ejemplo, en una etapa de síntesis de Fischer-Tropsch ("FT"), H<sub>2</sub> y CO en gas de síntesis se hacen reaccionar sobre un catalizador (por ejemplo, hierro o cobalto) para formar un amplio rango de cadenas de hidrocarburos de diversas longitudes. La reacción FT se lleva a cabo normalmente a una presión de aproximadamente 20 bar a aproximadamente 40 bar en un intervalo de temperatura tanto de aproximadamente 200 °C a aproximadamente 250 °C o de aproximadamente 300 °C a aproximadamente 350 °C. Se utilizan generalmente catalizadores de hierro en el intervalo de temperatura superior para producir olefinas para un producto de gasolina más ligero y catalizadores de cobalto a intervalo de temperatura inferior para producir cadenas más largas que se pueden craquear hasta diésel. La producción de metanol a partir de gas de síntesis

implica normalmente hacer reaccionar CO, H<sub>2</sub> y una pequeña cantidad de CO<sub>2</sub> sobre un catalizador de óxido de zinc- cobre donde la reacción tiene lugar via reacción por desplazamiento con agua seguido por la hidrogenación de CO<sub>2</sub>. El proceso se lleva a cabo normalmente a una presión de aproximadamente 50 a aproximadamente 100  
5 bares (10 MPa) y comprendida en un intervalo de temperatura de aproximadamente 220 °C a aproximadamente 300 °C. La síntesis de alcoholes mixtos a partir de gas de síntesis es similar a ambas síntesis FT y la de metanol que utiliza catalizadores modificados a partir de aquellos métodos con la adición de metales alcalino para promover la reacción alcohólica mixta, donde la relación molar de H<sub>2</sub> a CO es de  
10 aproximadamente 1:1 a aproximadamente 1,2:1.

En los métodos de fermentación de gas de síntesis, una variedad de microorganismos puede usar gas de síntesis como fuente de energía y carbono para producir productos de fermentación tales como etanol, butanol, acetato, formiato y butirato. Dichos  
15 organismos incluyen *Acetobacterium woodii*, *Butyribacterium methylotrophicum*, *Clostridium carboxidivorans P7*, *Eubacterium limosu*, *Moorella* y *Peptostreptococcus productus*. Por ejemplo, determinados microorganismos anaerobios pueden producir etanol y otros productos útiles de CO mediante fermentación. Por ejemplo: la patente de los EE.UU. con número 5.173.429 describe *Clostridium ljungdahlii* ATCC N ° 49587,  
20 un microorganismo anaerobio que produce etanol a partir de gas de síntesis; la patente de los EE.UU. con número 5.807.722 describe un método y un aparato para convertir el gas de síntesis en ácidos orgánicos y alcoholes utilizando *Clostridium ljungdahlii* ATCC N° 55380; la patente de los EE.UU. con número 6.136.577 describe un método y un aparato para convertir gas de síntesis en etanol utilizando *Clostridium*  
25 *ljungdahlii* ATCC N° 55988 y 55989; La publicación de los EE.UU. N° 20070275447 describe una especie bacteriana de clostridium (*Clostridium carboxidivorans*, ATCC BAA-624, "P7") que puede sintetizar biocombustibles a partir de gas de síntesis; y la patente de los de los EE.UU. con número 7.704.723 describe una especie bacteriana de clostridium (*Clostridium ragsdalei*, ATCC BAA-622, "P11") que puede sintetizar  
30 biocombustibles a partir de gases residuales. La publicación estadounidense 20140120591 describe una especie de *Clostridium tyrobutyricum* acidogénica (ITRI04001) que puede sintetizar ácidos grasos volátiles (por ejemplo, ácido fórmico, ácido acético, ácido láctico, ácido propanoico, ácido butírico, y sus mezclas) a partir de gas de síntesis. Las condiciones de fermentación son habitualmente de presión  
35 atmosférica a 2 bares (200 kPa), y a un intervalo de temperatura de aproximadamente

15 °C a aproximadamente 55 °C, con la selección de condiciones específicas del fermentador y pH dependiendo del microorganismo fermentador.

5 Esta memoria descriptiva escrita utiliza ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el mejor modo, y también permiten a cualquier persona experta en la materia llevar a la práctica la invención, incluyendo la preparación y el uso de cualesquiera dispositivos o sistemas y llevar a cabo cualesquiera métodos incorporados. El alcance patentable de la invención se define mediante las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se le ocurran al experto en la materia. Estos otros ejemplos están previstos para  
10 estar comprendidos en el alcance de las reivindicaciones si tienen elementos que no difieren del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos equivalentes con diferencias poco importantes respecto al lenguaje literal de las reivindicaciones.

## 15 **REALIZACION PREFERENTE DE LA INVENCION**

Realizaciones no limitantes de la presente invención se representan gráficamente en la Figura 1.

20 La Figura 1 representa gráficamente, mediante un diagrama de bloques, el área de Separación y Clasificación del RSU así como de Limpieza del biorresiduos, paso previo necesario para la obtención de un biorresiduo rico en compuestos celulósicos que se convertirán en monosacáridos.

25 La mezcla de Residuos Sólidos Urbanos (1) se procesa opcionalmente mediante una etapa de clasificación manual, mediante triaje manual (101) en la que se retiran residuos grandes o voluminosos y/o materiales peligrosos (M.V.), se obtiene una corriente (2) rica en materiales reciclables (M.R.) (como por ejemplo papel y cartón) y otra corriente (3) que pasa a las siguientes etapas.

30 La corriente (3) se fracciona en una primera etapa de clasificación (102) (por ejemplo, trómel) que tiene una abertura de tamiz de aproximadamente 60 mm a aproximadamente 100 mm para formar una primera corriente de pasante (5) rica en material reciclable y una primera corriente de hundido (4) rica en materia orgánica  
35 fermentable.

La primera corriente de pasante (5) puede ser opcionalmente sometida a una nueva etapa de clasificación por tamaño mediante un trómel (103) para dividirse en una segunda corriente de hundido (6) de tamaño pequeño, y una segunda corriente pasante (7) de tamaño grande.

La corriente (6), se somete a una nueva etapa de separación en un separador balístico (104), que separa el material en función de su densidad, tamaño y forma, clasificándose en una corriente de material fino (8), una corriente de material rodante (9) y una corriente de material planar (10). La corriente de material fino (8) está enriquecida en materia orgánica, mientras que la corriente de rodantes (9) está enriquecida en material plástico reciclable y la de planar (10) está enriquecida en papel y cartón entre otros materiales bidimensionales.

La corriente de finos (8) se une a la primera corriente de hundido (4) para conformar la corriente de biorresiduo bruto y pasan por un separador magnético (105) y por un separador de Foucault (106) y la corriente generada (11) se puede fraccionar con un trómel (107) para formar una tercera corriente hundido enriquecida en compuestos inertes (13) y una tercera corriente de pasante (12) que tiene al menos un 40 % en peso de materia orgánica y que comprende además un componente reciclable que comprende plástico. La corriente de hundido rica en material inorgánico (13) se puede purgar del proceso mediante una etapa de acondicionamiento (126) y la corriente generada (23) es dividida por un separador óptico (127) para la recuperación de vidrio (v).

La tercera corriente de pasante (12) se fracciona mediante separación por densidad, en un densimétrico (108) para formar una primera corriente densa (15) y una primera corriente ligera (14). La corriente ligera (14) se fracciona con un trómel (110) para formar una cuarta corriente de hundido (16) enriquecida en biorresiduos y una cuarta corriente pasante (17) enriquecida en material reciclable. La cuarta corriente pasante (17) se fracciona mediante sistema óptico (113) en una corriente rica en material orgánica (19) que comprenden plásticos, metales, vidrio, papel y/o cartón y en una corriente recuperada enriquecida en plástico (18) que pasa a un sistema de recuperación de material reciclable (114).

35

La primera corriente densa (15) está enriquecida en compuestos inorgánicos, vidrio y metal se pasa por un separador de Foucault (109) para separar los metales de una corriente (22) que se lleva junto con la corriente (13) a una etapa de acondicionamiento (126).

5

La cuarta corriente de hundido (16) enriquecida en biorresiduos se fraccionan mediante sistema de clasificación de rayos X (111) se eliminan inertes (r), principalmente compuestos por de piedras, huesos o arenas y la corriente limpia se une con la corriente rica en materia orgánica (19) y pasan a un molino (112) para reducir su tamaño a un promedio de partícula menor de 25 mm aproximadamente dando lugar a la corriente de biorresiduo (20), corriente de biorresiduo limpia para su conversión en monosacáridos.

10

La corriente de material rodante (9) se somete a una extracción de metales pasando por un separador magnético (115) obteniendo una corriente de material reciclable (21) libre de metales que pasa por un sistema de recuperación de material reciclable (114), junto con la corriente (18) anterior. La corriente de rechazo (24) de dicho proceso puede alimentar, junto con la segunda corriente pasante (7), a la corriente (25) de obtención de CSR, mediante el paso previo por un triaje manual (116). La corriente (25) se separa mediante clasificación por aire como se describe en la presente invención (tal como un separador por aire lineal) (117) para formar una segunda corriente ligera (26) y una segunda corriente densa (27) en la que la corriente ligera está enriquecida en material combustible en comparación con la corriente pesada. La corriente ligera (26) se procesa en una etapa de trituración (118) para adicionalmente reducir el volumen y el tamaño de partícula y formar el CSR (35).

15

20

25

La corriente de material planar (10) se pasa por un separador óptico (119) para obtener una corriente (38) de papel y cartón (P&C) y una corriente resto (34) enriquecida en material combustible planar. Opcionalmente la corriente (10) se puede triturar antes de, después de o en paralelo de la mezcla con la disolución acuosa (36).

30

La corriente de biorresiduo (20) es la corriente de biorresiduo limpia para su conversión en monosacáridos. Esta corriente de biorresiduos limpia (20) comprende material fermentable y está enriquecida en material fermentable. La corriente de biorresiduos molturada limpia se impregnan con una corriente de agua, ácido (solución

35

acuosa) o base (solución acuosa) (36) en un recipiente de impregnación (120) para formar una corriente de biorresiduos impregnados (28) y se utiliza directamente como alimentación del pretratamiento (121) donde se pretrata a presión y temperatura elevadas, tal como mediante contacto con vapor, seguido por una liberación rápida de presión para formar el biorresiduo pretratado (29). La corriente de biorresiduos pretratada (29) se acondiciona (122) mediante mezcla con un medio acuoso (39) para formar una suspensión acuosa de biorresiduos pretratados (30). Cuando la impregnación es con ácido, el medio acuoso (39) es una base enfriada, tal como amoníaco acuoso. Cuando la impregnación es con base, el medio acuoso (39) es una corriente acuosa enfriada o un ácido enfriado, tal como ácido sulfúrico. La suspensión de biorresiduo pretratada (30) se pone en contacto con una fuente de enzimas que comprende al menos una celulasa en un recipiente de hidrólisis enzimática (123) para formar una suspensión de hidrolizado enzimático (31) que comprende azúcares monosacáridos. Una corriente (37) que comprende material no fermentable se extrae del contenido del recipiente de hidrólisis enzimática (123) durante la hidrólisis o después de la misma mediante un aparato de eliminación de material no fermentable (125) representativo de una o más operaciones unitarias de separación. El aparato de eliminación de material no fermentable (125) puede estar integrado o ser externo al recipiente de hidrólisis enzimática (123) y puede utilizarse más de un aparato de eliminación de material no fermentable. Por ejemplo, puede utilizarse uno o más de (i) un eliminador de espumas para eliminar el material no fermentable dispuesto como capa flotante sobre el contenido del recipiente de hidrólisis enzimática, (ii) una criba, tamiz o filtro situado en un circuito de recirculación o en la salida para eliminar el material no fermentable en suspensión del contenido del recipiente de hidrólisis enzimática y/o (iii) una canaleta o trampilla para residuos para eliminar el material no fermentable dispuesto como capa inferior en el recipiente de hidrólisis enzimática para la eliminación del material no fermentable. La suspensión de hidrolizado enzimático (31) se puede combinar con una fuente de levadura en un recipiente de fermentación (124) para formar una mezcla de fermentación (33) que comprende etanol. Una vez que el material no fermentable ha sido eliminado, el hidrolizado (32) puede ser combinado con una fuente de levadura en un recipiente de fermentación (124) para formar una mezcla fermentativa (33) que comprende etanol.

35

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para preparar azúcares monosacáridos a partir de residuos sólidos urbanos que comprende las siguientes etapas:

- 5 a) opcionalmente retirar los materiales voluminosos;
- b) separar los residuos sólidos urbanos mediante una criba de aberturas de entre 60 mm a 100 mm en una primera corriente de hundido (4) y una primera corriente pasante (5),
- 10 c) separar la primera corriente pasante (5) de la etapa (b) mediante al menos una criba de aberturas de entre 170 mm y 380 mm en una segunda corriente de hundido (6) y una segunda corriente pasante (7),
- d) separar la segunda corriente de hundido (6) de la etapa (c) mediante un separador balístico en las siguientes corrientes:
- una corriente (8) que comprende el material fino con diámetro inferior al
  - 15 tamaño de la abertura de la criba de la etapa (b);
  - una corriente (9) que comprende el material rodante; y
  - una corriente (10) que comprende el material planar;
- e) eliminar los materiales metálicos férricos de la primera corriente de hundido (4) de la etapa (b);
- 20 f) eliminar los materiales metálicos no férricos de la corriente obtenida en la etapa (e)
- g) pasar la corriente obtenida en la etapa (f) (11) por una criba de aberturas de 5 a 20 mm para formar la tercera corriente de hundido (13) y una tercera corriente pasante (12);
- h) hacer una separación densimétrica de la tercera corriente pasante (12) de la etapa
- 25 (g) para formar una primera corriente ligera (14) y una primera densa (15);
- i) separar la primera corriente ligera (14) de la etapa (h) mediante una criba de aberturas de entre 25 y 50 mm para formar una cuarta corriente de hundido (16) y una cuarta corriente pasante (17);
- j) eliminar los materiales reciclables de la cuarta corriente pasante (17) de la etapa (i)
- 30 mediante un separador óptico para formar una corriente (19);
- k) eliminar el vidrio, las piedras y otros elementos inertes de la cuarta corriente de hundido (16) de la etapa (i);
- l) reducir el tamaño de partícula de las corrientes obtenidas en las etapas (j) y (k) para formar una corriente de biorresiduo (20);

m) recuperar los metales presentes en la corriente (9) que comprende material rodante de la etapa (d) para obtener una corriente de material reciclable (21) libre de metales;  
n) impregnar la corriente de biorresiduo (20) de la etapa (l) con agua, ácido o base para formar una corriente de biorresiduos impregnados (28);  
5 o) someter a la corriente de biorresiduos impregnados (28) de la etapa (n) a una temperatura de entre 100°C y 250°C y a una presión de entre 100 kPa y 4.000 kPa durante un tiempo de entre 1 y 20 minutos; y posteriormente reducir la presión a menos de 35 kPa para formar la corriente de biorresiduos pretratada (29);  
p) añadir agua, ácido o base a la corriente de biorresiduos pretratada (29) de la etapa  
10 (o) para formar una suspensión de biorresiduo pretratado (30); y  
q) poner en contacto la corriente de la suspensión de biorresiduo pretratado (30) de la etapa (p) con una composición enzimática que comprende al menos una enzima celulasa para formar una suspensión de hidrolizado enzimático (31) que comprende azúcares monosacáridos y material no fermentable, donde el material no fermentable  
15 se retira de la suspensión de hidrolizado enzimático durante la hidrólisis enzimática o después de la misma.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, donde se recupera vidrio en un separador óptico a partir de la tercera corriente de hundido (13) de la etapa (g) y/o la corriente  
20 (22) que comprende los materiales eliminados en la etapa (k).

3. Procedimiento según las reivindicaciones 1 o 2, donde la segunda corriente pasante (7) obtenida en la etapa (c), tras pasar por una clasificación manual se hace pasar por una separación densimétrica para formar una segunda corriente ligera (26) y una  
25 segunda densa (27); y donde la segunda corriente ligera es triturada para dar lugar a un combustible sólido.

4. Procedimiento según la reivindicación 1, donde la composición enzimática de la etapa (q) además comprende al menos una hemicelulasa.  
30

5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, donde en la etapa (n) la corriente de biorresiduo (20) se impregna con ácido y en la etapa (p) se añade una disolución acuosa de amoníaco, resultado un biorresiduo pretratado (30) con un contenido en sólidos de entre 15-30 % en peso, un pH de entre 4 y 6 y una  
35 temperatura de entre 30°C y 70°C.

6. Procedimiento según la reivindicación 5, donde el ácido es un ácido inorgánico y la corriente de biorresiduo pretratado (30) comprende de 0,01 a 0,15 kg de ácido por kg de biorresiduo en base sólida.

5

7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, donde en la etapa (n) la corriente de biorresiduo (20) se impregna con base y en la etapa (p) se añade una disolución ácida, resultado un biorresiduo pretratado (30) con un contenido en sólidos de entre 20% y 30% en peso, un pH de entre 4 y 6 y una temperatura de entre 30°C y 70°C.

10

8. Procedimiento según la reivindicación 7, donde la base es amoníaco y la corriente de biorresiduo pretratado (30) comprende de 0,1 a 2,5 kg de amoníaco por kg de biorresiduo en base sólida.

15

9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, donde la corriente de suspensión de hidrolizado enzimático (31) de la etapa (q), durante o después de la hidrólisis, se deshidrata para formar:

- una segunda corriente (37) de biorresiduos impregnados que tiene un contenido en sólidos de entre 30% y 70% en peso; y
- una corriente acuosa (32);

20

donde al menos una parte de la corriente acuosa se devuelve a la etapa (q) de formación de la corriente de suspensión de hidrolizado enzimático (31).

25

10. Procedimiento según la reivindicación 9, donde la segunda corriente de biorresiduos (37) tiene un contenido en sólidos de entre 40% y 60% en peso.

11. Procedimiento según la reivindicación 9, donde a la corriente acuosa (32) se concentra para formar un jarabe rico en azúcares monosacáridos con un contenido en azúcares monosacáridos de más de un 25% de los azúcares totales.

30

12. Procedimiento según la reivindicación 9, donde se añade una levadura a la corriente acuosa (32) o a la corriente de suspensión de hidrolizado enzimático (31) de la etapa (q) para transformar los azúcares en un compuesto orgánico seleccionado de entre alcoholes o ácidos orgánicos.

35

13. Procedimiento según la reivindicación 12 donde la levadura es *Saccharomyces cerevisiae*.

5 14. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 12 o 13, donde el compuesto orgánico es el etanol.

15. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, donde en la etapa (o) se pone la corriente de biorresiduos impregnados (28) en contacto con vapor de agua a una temperatura de entre 150°C y 250°C y a una presión de entre 400 kPa y 1.750 kPa durante un tiempo de entre 1 minuto a 5 minutos; y

10 - la presión se reduce a un valor de entre 1 a 35 kPa en una sola etapa; o  
- la presión se reduce a una presión de entre un 40% a un 60% en una primera etapa de reducción de presión; se mantiene dicha presión durante un periodo de tiempo de  
15 entre 0,5 minutos a 20 minutos y posteriormente se reduce la presión a entre 1 a 35 kPa en una segunda etapa de reducción de presión.

16. Procedimiento según la reivindicación 15, donde el vapor de agua tiene una temperatura de entre 150°C y 220°C y una presión de entre 625 KPa y 1.450 kPa.

20

17. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, donde en la etapa (a) previamente a la etapa (b) se retiran los materiales voluminosos mediante clasificación manual o mecánica.

25

