

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 543 727**

51 Int. Cl.:

C08B 15/04	(2006.01)	C13K 1/00	(2006.01)
C08B 15/06	(2006.01)		
C08J 11/16	(2006.01)		
C10L 5/44	(2006.01)		
D21C 3/02	(2006.01)		
B01J 19/08	(2006.01)		
C08J 3/28	(2006.01)		
A23K 1/14	(2006.01)		
C08H 8/00	(2010.01)		
C12P 19/00	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.04.2009 E 09739593 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.07.2015 EP 2276795**

54 Título: **Procesamiento de biomasa**

30 Prioridad:

30.04.2008 US 49405 P
18.06.2008 US 73674 P
19.12.2008 US 139453 P
03.04.2009 US 417900

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.08.2015

73 Titular/es:

XYLECO, INC. (100.0%)
271 Salem Street, Unit L
Woburn, MA 01801, US

72 Inventor/es:

MEDOFF, MARSHALL

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 543 727 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procesamiento de biomasa

Campo técnico

Esta invención se refiere a un método para preparar un material de alimentación.

5 Antecedentes

La biomasa, particularmente residuos de biomasa, está disponible en abundancia. Sería útil derivar productos a partir de la biomasa.

Compendio

10 La presente invención se refiere a un método para preparar un material de alimentación, método que comprende: cambiar la estructura molecular de los polisacáridos de una biomasa que contiene polisacáridos en la forma de celulosa exponiendo la biomasa a un haz de electrones de un dispositivo de irradiación de haces de electrones que tiene una potencia de al menos 1 kW y hasta 500 kW, para producir un material de alimentación que tiene una disponibilidad de nutrientes mayor que la disponibilidad de nutrientes de la biomasa, y en donde el método no comprende el uso de un microorganismo.

15 En un aspecto, la presente invención incluye métodos para preparar materiales de alimentación para animales (p.ej., seres humanos y animales, que incluyen, pero no se limitan a, animales para alimento, mascotas, animales de zoológico, etc.), y para plantas (p.ej., plantas o cultivos agrícolas o plantas acuáticas, en particular en una solución hidropónica o en acuicultura), y organismos acuáticos (p.ej., peces, crustáceos, moluscos y similares).

20 Estos métodos incluyen obtener un primer material que incluye biomasa (p.ej., biomasa vegetal, biomasa animal y biomasa residual municipal) que contiene polisacáridos en la forma de celulosa. La estructura molecular de los polisacáridos del primer material es modulada después (p.ej., aumentada, disminuida o mantenida) para producir un segundo material con una mayor disponibilidad de nutrientes (p.ej., proteína, carbohidrato, grasa, vitamina, y/o mineral) que el primer material. Los métodos pueden incluir opcionalmente proporcionar el segundo material a animales (p.ej., seres humanos y/o animales no humanos).

25 En algunas realizaciones, los métodos descritos en la presente memoria se pueden usar para generar materiales adecuados para el uso en el mantenimiento o promoción del crecimiento de organismos acuáticos (p.ej., en acuicultura), y/o plantas y árboles (p.ej., en agricultura, hidroponía y silvicultura).

30 En algunas implementaciones, la biomasa se puede seleccionar del grupo que consiste en papel, productos de papel, residuos de papel, madera, aglomerado, serrín, desechos agrícolas, aguas residuales, forraje, hierbas, cáscaras de arroz, bagazos, algodón, yute, cáñamo, lino, bambú, sisal, abacá, paja, mazorcas de maíz, forraje de maíz, pasto varilla, alfalfa, heno, cáscaras de arroz, pelo de coco, algodón, algas marinas, algas y mezclas de los mismos. En algunos casos, la biomasa tiene fibras internas y ha sido cizallada hasta un punto en que las fibras internas son sustancialmente expuestas, y/o en donde la biomasa tiene un área superficial BET mayor que aproximadamente 0,25 m²/g y una densidad aparente menor que aproximadamente 0,5 g/cm³.

35 Las composiciones preparadas usando cualquiera de los métodos descritos en la presente memoria pueden incluir unidades de sacárido dispuestas en una cadena molecular, en donde de aproximadamente 1 de cada 2 a aproximadamente 1 de cada 250 unidades de sacárido comprende un grupo ácido carboxílico, o un éster o una sal del mismo, y la composición es adecuada para el consumo como material de alimentación.

40 En algunas implementaciones, la composición incluye una pluralidad de tales cadenas. En algunos casos, aproximadamente 1 de cada 5 a aproximadamente 1 de cada 250 unidades de sacárido de cada cadena comprende un grupo ácido carboxílico, o un éster o sal del mismo, en particular de aproximadamente 1 de cada 8 a aproximadamente 1 de cada 100 o de aproximadamente 1 de cada 10 a aproximadamente 1 de cada 50 unidades de sacárido de cada cadena comprende un grupo ácido carboxílico, o un éster o sal del mismo. Cada cadena puede incluir entre aproximadamente 10 y aproximadamente 200 unidades de sacárido. Cada cadena incluye celulosa, y cada cadena puede incluir unidades de sacárido que incluyen grupos seleccionados del grupo que consiste en grupos nitroso, grupos nitro y grupos nitrilo. Las unidades de sacárido pueden incluir unidades de sacárido de 5 o 6 carbonos. El peso molecular medio de la composición en relación a estándares de PEG está entre 1.000 y 1.000.000, en particular menos que 10.000.

50 Mediante "adecuada para el consumo como material de alimentación" los autores de la invención quieren decir que la composición no es tóxica, bajo las condiciones de su uso pretendido, para el ser vivo al que se alimenta, y proporciona algún valor nutricional al ser, p.ej., energía y/o nutrientes.

En algunas realizaciones, la materia prima de biomasa es pretratada. En algunas realizaciones, los métodos descritos en la presente memoria pueden incluir un pretratamiento para reducir una o más dimensiones de trozos individuales de biomasa. Por ejemplo, el pretratamiento puede incluir reducir una o más dimensiones de trozos

individuales de biomasa, puede incluir, p.ej., cizallar, cortar, machacar, destrozarse o moler.

Se puede utilizar presión en todos los métodos descritos en la presente memoria. Por ejemplo, al menos uno de los métodos de tratamiento, p.ej., radiación, puede ser realizado sobre la biomasa bajo una presión mayor que aproximadamente 0,25 MPa (2,5 atmósferas), tal como mayor que 0,5 o 1 MPa (5 o 10 atmósferas).

5 Los ejemplos de biomasa (denominada también “materia prima de biomasa” o “materia prima”) incluyen materiales celulósicos o lignocelulósicos tales como papel, productos de papel, desechos de papel, madera, aglomerado, serrín, desechos agrícolas, aguas residuales, forraje, hierbas, cáscaras de arroz, bagazos, algodón, yute, cáñamo, lino, bambú, sisal, abacá, paja, mazorcas de maíz, forraje de maíz, pasto varilla, alfalfa, heno, cáscaras de arroz, pelo de coco, algodón, mandioca, y celulosas sintéticas y/o mezclas de estos.

10 En algunos casos, la biomasa puede incluir materiales de desechos orgánicos tales como desechos o excrementos de animales o desechos o excrementos humanos (p.ej., estiércol y aguas residuales). En algunos casos, la biomasa puede incluir cualquier combinación de cualquiera de estos. Se describen en la presente memoria otros materiales de biomasa. Aún otros materiales que incluyen celulosa se describen en las patentes, solicitudes de patente y publicaciones que han sido incorporadas por referencia en la presente memoria. En algunos casos, la biomasa puede estar, p.ej., en disolución, seca y congelada.

15 En algunos casos, la biomasa puede ser o puede incluir un material natural o sintético.

La irradiación se realiza utilizando una radiación ionizante que es un haz de electrones. La radiación ionizante es radiación de haz de electrones. Por ejemplo, la radiación puede ser aplicada en una dosis total de entre aproximadamente 10 Mrad y aproximadamente 150 Mrad, tal como en una tasa de dosis de aproximadamente 0,5 a 20 aproximadamente 10 Mrad/día, o 1 Mrad/s a aproximadamente 10 Mrad/s. En algunas realizaciones, irradiar incluye aplicar dos o más fuentes de radiación, tal como rayos gamma y un haz de electrones.

La biomasa se puede preparar cizallando biomasa (p.ej., una fuente de fibra de biomasa) para proporcionar un material fibroso. Por ejemplo, el cizallamiento puede ser realizado con una cortadora de cuchillas rotatorias. Las fibras del material fibroso pueden tener, p.ej., una relación longitud a diámetro (L/D) media mayor que 5/1. El material fibroso puede tener, p.ej., un área superficial BET mayor que 0,25 m²/g (p.ej., 0,3 m²/g, 0,35 m²/g, 0,4 m²/g, 25 0,5 m²/g, 1 m²/g, 1,5 m²/g, 2 m²/g, 3 m²/g, 10 m²/g, 25 m²/g o mayor que 25 m²/g).

En algunos ejemplos, el material de biomasa pretratado puede incluir además un tampón, tal como bicarbonato de sodio o cloruro de amonio, un electrolito, tal como cloruro de potasio o cloruro de sodio, un factor de crecimiento, tal como biotina, y/o un par de base tal como uracilo, un tensioactivo, un mineral o un agente quelante.

30 El término “material fibroso”, como se emplea en la presente memoria, es un material que incluye numerosas fibras sueltas, discretas y separables. Por ejemplo, se puede preparar un material fibroso a partir de una fuente de fibra de papel Kraft blanqueado por cizallamiento, p.ej., con una cortadora de cuchillas rotatorias.

El término “criba”, como se emplea en la presente memoria, significa un miembro capaz de tamizar material según el tamaño. Los ejemplos de cribas incluyen una placa perforada, cilindro o similar, o una malla de alambre o tela.

35 Los agentes de hinchamiento empleados en la presente memoria son materiales que causan un hinchamiento discernible, p.ej., un aumento de 2,5 por ciento en volumen sobre un estado no hinchado de materiales de biomasa, cuando se aplica a tales materiales como una disolución, p.ej., una disolución acuosa. Los ejemplos incluyen sustancias alcalinas, tales como hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, hidróxido de litio e hidróxidos de amonio, agentes acidificantes, tales como ácidos minerales (p.ej., ácido sulfúrico, ácido clorhídrico y ácido fosfórico), sales, 40 tales como cloruro de cinc, carbonato de calcio, carbonato de sodio, sulfato de benciltrimetilamonio, y aminas básicas orgánicas, tales como etilendiamina.

En algunas realizaciones de los métodos descritos en la presente memoria, no se añaden productos químicos, p.ej., ningún agente de hinchamiento, a la biomasa, p.ej., ninguno antes de la irradiación. Por ejemplo, sustancias alcalinas (tales como hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, hidróxido de litio e hidróxidos de amonio), agentes acidificantes (tales como ácidos minerales (p.ej., ácido sulfúrico, ácido clorhídrico y ácido fosfórico)), sales, tales como cloruro de cinc, carbonato de calcio, carbonato de sodio, sulfato de benciltrimetilamonio, o aminas básicas orgánicas, tales como etilendiamina, se añaden antes de la irradiación u otro procesamiento. En algunos casos, no se añade agua adicional. Por ejemplo, la biomasa antes del procesamiento puede tener menos que 0,5 por ciento en peso de productos químicos añadidos, p.ej., menos que 0,4, 0,25, 0,15 o 0,1 por ciento en peso de productos químicos añadidos. En algunos casos, la biomasa no tiene más que una traza, p.ej., menos que 0,05 por ciento en peso de productos químicos añadidos, antes de la irradiación. En otros casos, la biomasa antes de la irradiación no tiene sustancialmente productos químicos añadidos o agentes de hinchamiento. Evitar el uso de tales productos químicos puede también ser extendido completamente, o en todo momento.

El término “comestible”, como se emplea en la presente memoria, significa listo para ser comido como alimento.

55 Un “material cizallado”, como se emplea en la presente memoria, es un material que incluye fibras discretas en las

que al menos aproximadamente 50% de las fibras discretas tienen una relación longitud/diámetro (L/D) de al menos aproximadamente 5, y que tiene una densidad aparente no comprimida menor que aproximadamente 0,6 g/cm³.

5 En algunas realizaciones, cambiar una estructura molecular de biomasa, como se emplea en la presente memoria, significa cambiar la disposición de las uniones químicas, tal como el tipo y cantidad de grupos funcionales o conformación de la estructura. Por ejemplo, el cambio en la estructura molecular puede incluir cambiar el nivel de recalcitrancia del material, cambiar la estructura supramolecular del material, oxidación del material, cambiar un peso molecular medio, cambiar una cristalinidad media, cambiar un área superficial, cambiar un grado de polimerización, cambiar una porosidad, cambiar un grado de ramificación, injerto en otros materiales, cambiar un tamaño de dominio cristalino, o cambiar un tamaño de dominio global.

10 A menos que se definan de otro modo, todos los términos técnicos y científicos usados en la presente memoria tienen el mismo significado que el entendido comúnmente por un experto habitual en la técnica a la que pertenece esta invención. Aunque se pueden usar métodos y materiales similares o equivalentes a los descritos en la presente memoria en la práctica o ensayo de la presente invención, se describen más adelante métodos y materiales adecuados. En caso de conflicto, la presente memoria descriptiva, incluyendo definiciones, prevalecerá. Además, los
15 materiales, métodos y ejemplos son solamente ilustrativos, y no pretenden ser limitantes.

Como se emplea en la presente memoria, el término "sujeto" se usa en toda la memoria descriptiva para describir un animal, ser humano, o ser no humano. El término incluye, pero no se limita a, aves, reptiles, peces, plantas, anfibios y mamíferos, p.ej., seres humanos, otros primates, cerdos, roedores tales como ratones y ratas, conejillos de indias, hámsters, vacas, gatos, perros, ovejas y cabras.

20 En cualquiera de los métodos descritos en la presente memoria, la radiación se puede aplicar desde un dispositivo que está en una cámara.

Otros rasgos y ventajas de la invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada, y a partir de las reivindicaciones.

Descripción de los dibujos

25 La FIG. 1 es un diagrama de bloques que ilustra la conversión de biomasa en productos y co-productos.

La FIG. 2 es un diagrama de bloques que ilustra la conversión de una fuente de fibra en un primer y segundo material fibroso.

La FIG. 3 es una vista en sección transversal de una cortadora de cuchillas rotatorias.

30 La FIG. 4 es un diagrama de bloques que ilustra la conversión de una fuente de fibra en un primer, segundo y tercer material fibroso.

La FIG. 5 es un diagrama de bloques que ilustra la densificación de un material.

La FIG. 6 es una vista en perspectiva de una granuladora.

La FIG. 7A es un material fibroso densificado en forma de gránulos.

35 La FIG. 7B es una sección transversal de un gránulo hueco en el que un centro del hueco está en línea con un centro del gránulo.

La FIG. 7C es una sección transversal de un gránulo hueco en el que un centro del hueco está fuera de línea con un centro del gránulo.

La FIG. 7D es una sección transversal de un gránulo trilobular.

La FIG. 8 es un diagrama de bloques que ilustra una secuencia de tratamiento para procesar materia prima.

40 La FIG. 9 es una vista en corte, en perspectiva, de un irradiador gamma alojado en una cámara de cemento.

La FIG. 10 es una vista en perspectiva aumentada de la región R de la FIG. 9.

La FIG. 11 es un diagrama de bloques que ilustra una secuencia de pretratamiento de materia prima por irradiación de haces de electrones.

La FIG. 11A es una representación esquemática de biomasa siendo ionizada, y después oxidada o inactivada.

45 La FIG. 11B es una vista lateral esquemática de un sistema para irradiar un material de baja densidad aparente, mientras que la FIG. 11C es una vista en sección transversal del sistema tomada a lo largo de 11C-11C.

La FIG. 11D es una vista en sección transversal esquemática de un sistema de lecho fluidizado para irradiar un

material de baja densidad aparente.

La FIG. 11E es una vista lateral esquemática de otro sistema para irradiar un material de baja densidad aparente.

La FIG. 12 es una vista esquemática de un sistema para sonicar una corriente de proceso de material celulósico en un medio líquido.

5 La FIG. 13 es una vista esquemática de un sonicador que tiene dos transductores acoplados a una única boquilla.

La FIG. 14 es un diagrama de bloques que ilustra un sistema de pretratamiento de materias primas pirolítico.

La FIG. 15 es una vista lateral en sección transversal de una cámara de pirólisis.

La FIG. 16 es una vista lateral en sección transversal de una cámara de pirólisis.

La FIG. 17 es una vista lateral en sección transversal de un pirolizador que incluye un filamento calentado.

10 La FIG. 18 es una vista lateral en sección transversal esquemática de un pirolizador de Curie-Point.

La FIG. 19 es una vista lateral en sección transversal esquemática de un pirolizador de horno.

La FIG. 20 es una vista superior en sección transversal esquemática de un aparato de pirólisis por láser.

La FIG. 21 es una vista superior en sección transversal esquemática de un pirolizador instantáneo de filamento de tungsteno.

15 La FIG. 22 es un diagrama de bloques que ilustra un sistema de pretratamiento de materias primas oxidativo.

La FIG. 23 es un diagrama de bloques que ilustra una visión general del procedimiento para convertir una fuente de fibra en un producto, p.ej., etanol.

La FIG. 24 es una vista en sección transversal de un aparato de explosión por vapor.

20 La FIG. 25 es una vista lateral en sección transversal esquemática de un dispositivo híbrido de haz de electrones/sonicación.

La FIG. 26 es una micrografía electrónica de barrido de un material fibroso producido a partir de papel polirrevestido a un aumento de 25 X. El material fibroso se produjo en una cortadora de cuchillas rotatorias utilizando una criba con aberturas de 0,32 centímetros (1/8 de pulgada).

25 La FIG. 27 es una micrografía electrónica de barrido de un material fibroso producido a partir de cartón Kraft blanqueado a un aumento de 25 X. El material fibroso se produjo en una cortadora de cuchillas rotatorias utilizando una criba con aberturas de 0,32 centímetros (1/8 de pulgada).

La FIG. 28 es una micrografía electrónica de barrido de un material fibroso producido a partir de cartón Kraft blanqueado a un aumento de 25 X. El material fibroso fue cizallado dos veces en una cortadora de cuchillas rotatorias utilizando una criba con aberturas de 0,16 centímetros (1/16 de pulgada) durante cada cizallamiento.

30 La FIG. 29 es una micrografía electrónica de barrido de un material fibroso producido a partir de cartón Kraft blanqueado a un aumento de 25 X. El material fibroso fue cizallado tres veces en una cortadora de cuchillas rotatorias. Durante el primer cizallamiento, se usó una criba de 0,32 centímetros (1/8 de pulgada); durante el segundo cizallamiento, se usó una criba de 0,16 centímetros (1/16 de pulgada), y durante el tercer cizallamiento se usó una criba de 0,08 centímetros (1/32 de pulgada).

35 La FIG. 30 es una vista lateral esquemática de un aparato de sonicación, mientras que la FIG. 31 es una vista en sección transversal a través de la celda de procesamiento de la FIG. 30.

La FIG. 32 es una micrografía electrónica de barrido a un aumento de 1.000 X de un material fibroso producido cizallando pasto varilla en una cortadora de cuchillas rotatorias, y pasando después el material cizallado a través de una criba de 0,08 centímetros (1/32 pulgadas).

40 Las FIGS. 33 y 34 son micrografías electrónicas de barrido del material fibroso de la FIG. 32 después de irradiación con rayos gamma de 10 Mrad y 100 Mrad, respectivamente, a un aumento de 1.000 X.

La FIG. 35 es una micrografía electrónica del material fibroso de la FIG. 32 después de irradiación con 10 Mrad y sonicación a un aumento de 1.000 X.

45 La FIG. 36 es una micrografía electrónica del material fibroso de la FIG. 32 después de irradiación con 100 Mrad y sonicación a un aumento de 1.000 X.

La FIG. 37 es un espectro de infrarrojo de cartón Kraft cizallado en una cortadora de cuchillas rotatorias.

La FIG. 38 es un espectro de infrarrojo del papel Kraft de la FIG. 37 después de irradiación con 100 Mrad de radiación gamma.

La FIG. 39 es una vista esquemática de un procedimiento para conversión de biomasa.

5 La FIG. 40 es una vista esquemática de otro procedimiento para conversión de biomasa.

La FIG. 41 es un diagrama esquemático de una instalación de procesamiento de biomasa móvil con base en un camión.

La FIG. 42 es un diagrama esquemático de una instalación de procesamiento de biomasa móvil con base en un tren.

10 Las FIGS. 43A y 43B son diagramas esquemáticos que muestran las etapas de procesamiento para generar productos y co-productos a partir de biomasa (A) y para generar productos usando una etapa de bioconversión.

La FIG. 44 es un diagrama esquemático que muestra un procedimiento de fermentación alimentado por lotes de volumen variable.

La FIG. 45 es un diagrama esquemático que muestra un procedimiento de fermentación alimentado por lotes de volumen fijo.

15 La FIG. 46 es un diagrama esquemático que muestra las etapas de procesamiento requeridas para la producción de los productos 1, 2 y 3. La estrella indica que una etapa es opcional. La flecha negra indica que se puede realizar una etapa de densificación opcional.

Descripción detallada

20 La biomasa (p.ej., biomasa vegetal, biomasa animal, y biomasa de desechos municipales) puede ser procesada usando los métodos descritos en la presente memoria para producir productos alimenticios útiles.

Se describen más adelante en la presente memoria sistemas y procedimientos que pueden usar diversos materiales de biomasa celulósicos o no celulósicos, como materias primas.

25 La presente invención se basa, al menos en parte, en la observación de que los métodos descritos en la presente memoria se pueden usar para convertir biomasa en materiales y composiciones no energéticos. Tales materiales y composiciones son alimentos (p.ej., adecuados para el consumo por seres humanos y/o animales).

Tipos de biomasa

30 De manera general, cualquier material de biomasa que es o incluye carbohidratos compuestos enteramente de una o más unidades de sacárido o que incluyen una o más unidades de sacárido puede ser procesado por cualquiera de los métodos descritos en la presente memoria. Como se emplea en la presente memoria, biomasa incluye materiales celulósicos y lignocelulósicos. Por ejemplo, el material de biomasa puede ser materiales celulósicos o lignocelulósicos, tales como granos de maíz u otros alimentos.

35 Por ejemplo, tales materiales pueden incluir papel, productos de papel, madera, materiales relacionados con la madera, aglomerado, hierbas, cáscaras de arroz, bagazos, algodón, yute, cáñamo, lino, bambú, sisal, abacá, paja, mazorcas de maíz, cáscaras de arroz, pelo de coco, algas, algas marinas (p.ej., algas marinas gigantes), jacinto de agua, mandioca, granos de café, posos de café (posos de café usados), algodón, celulosas sintéticas, o mezclas de cualesquiera de estos.

40 Las fuentes de fibra incluyen fuentes de fibra celulósica, que incluyen papel y productos de papel (p.ej., papel polirrevestido y papel Kraft), y fuentes de fibra lignocelulósica, que incluyen madera, y materiales relacionados con la madera, p.ej., aglomerado. Otras fuentes de fibra adecuadas incluyen fuentes de fibra natural, p.ej., hierbas, cáscaras de arroz, bagazos, algodón, yute, cáñamo, lino, bambú, sisal, abacá, paja, mazorcas de maíz, cáscaras de arroz, pelo de coco; fuentes de fibras de alto contenido en α -celulosa, p.ej., algodón; y fuentes de fibra sintética, p.ej., hilo extruido (hilo orientado o hilo no orientado). Se pueden obtener fuentes de fibra naturales o sintéticas a partir de restos de materiales textiles vírgenes, p.ej., retales, o pueden ser residuos post-consumidor, p.ej., trapos.

45 Cuando se usan productos de papel como fuentes de fibra, pueden ser materiales vírgenes, p.ej., restos de materiales vírgenes, o pueden ser residuos post-consumidor. Aparte de materiales vírgenes brutos, también se pueden usar como fuentes de fibra materiales post-consumidor, industriales (p.ej., vísceras), y residuos de procesamiento (p.ej., efluente de procesamiento de papel). También, la fuente de fibra puede ser obtenida o proceder de residuos humanos (p.ej., aguas residuales), animales o vegetales. Se han descrito en la técnica fuentes de fibra adicionales, por ejemplo, véanse las patentes de EE.UU. Nos. 6.448.307, 6.258.876, 6.207.729, 5.973.035 y 5.952.105.

Los ejemplos de biomasa incluyen materia orgánica renovable, tal como biomasa vegetal, biomasa animal (p.ej.,

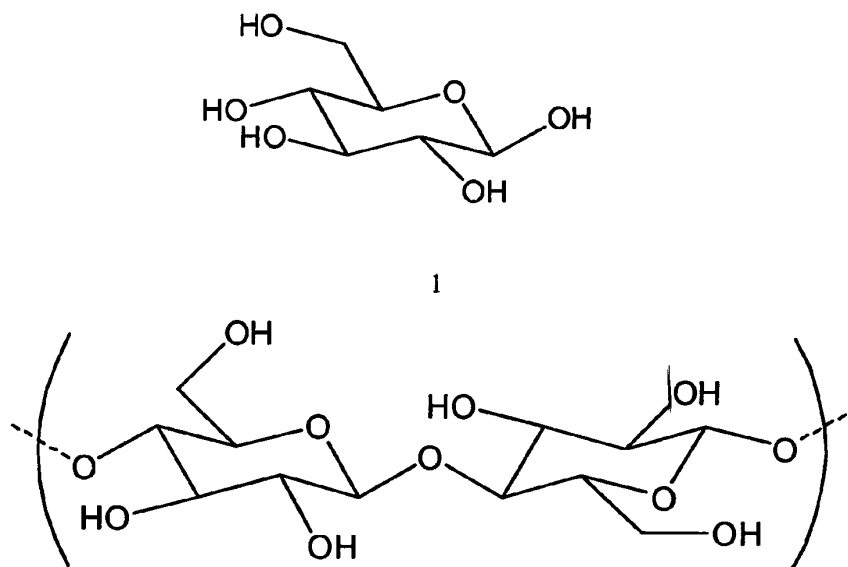
cualquier subproducto animal, desecho animal, etc.) y biomasa de desechos municipales, incluyendo cualquiera y todas las combinaciones de estos materiales de biomasa.

La biomasa vegetal y biomasa lignocelulósica incluyen materia orgánica (de madera o no de madera) derivada de plantas, especialmente materia disponible en una base sostenible. Los ejemplos incluyen desechos de cultivos agrícolas y residuos tales como forraje de maíz, paja de trigo, paja de arroz, bagazo de caña de azúcar y similares. La biomasa vegetal incluye además, pero no se limita a, árboles, cultivos energéticos de madera, desechos de madera y residuos tales como recortes de bosques de madera blanda, desechos de cortezas de árboles, serrín, corrientes de desecho de industrias de papel y pulpa, fibra de madera y similares. Adicionalmente cultivos de hierba, tales como pasto varilla y similares, tienen potencial para ser producidos a gran escala como otra fuente de biomasa. Para áreas urbanas, la materia prima de biomasa vegetal incluye desechos de jardines (p.ej., recortes de césped, hojas, recortes de árboles, y matorral) y desechos de procesamiento de vegetales.

En algunas realizaciones, la biomasa puede incluir materia prima lignocelulósica que puede ser biomasa vegetal tal como, pero no limitada a, biomasa de plantas no leñosas, cosechas cultivadas, tales como, pero no limitadas a, hierbas, por ejemplo, pero no limitadas a, hierbas C4, tales como pasto varilla, espartina, raigrás, miscanthus, hierba cinta, o una combinación de los mismos, o residuos del procesamiento del azúcar tales como bagazo, o pulpa de remolacha, residuos agrícolas, por ejemplo, forraje de soja, forraje de maíz, paja de arroz, cáscaras de arroz, paja de cebada, mazorcas de maíz, paja de trigo, paja de colza, paja de arroz, paja de avena, cáscaras de avena, fibra de maíz, fibra de pulpa de madera reciclada, serrín, madera dura, por ejemplo madera y serrín de álamo temblón, madera blanda, o una combinación de los mismos. Además, la materia prima lignocelulósica puede incluir material de desechos celulósicos tales como, pero no limitados a, papel de periódico, cartulina, serrín, y similares. La materia prima lignocelulósica puede incluir una especie de fibra o, alternativamente, la materia prima lignocelulósica puede incluir una mezcla de fibras que se originan a partir de diferentes materias primas lignocelulósicas. Además, la materia prima lignocelulósica puede comprender materia prima lignocelulósica fresca, materia prima lignocelulósica secada parcialmente, materia prima lignocelulósica secada totalmente, o una combinación de las mismas.

La biomasa animal incluye cualquier material de desecho orgánico tal como material de desecho o excremento derivado de animales o material de desecho humano o excremento (p.ej., estiércol y aguas residuales).

En algunas realizaciones, el carbohidrato es o incluye un material que tiene uno o más enlaces β -1,4 y que tiene un peso molecular medio numérico entre aproximadamente 3.000 y 50.000. Tal carbohidrato es o incluye celulosa (I), que se deriva de (β -glucosa 1) mediante condensación de enlaces glicosídicos $\beta(1\rightarrow4)$. Este enlace contrasta en sí con el de enlaces glicosídicos $\alpha(1\rightarrow4)$ presentes en el almidón y otros carbohidratos.



Se pueden utilizar combinaciones (p.ej., por sí mismos o en combinación de cualquier material de biomasa, componente, producto y/o co-producto generado usando los métodos descritos en la presente memoria) de cualesquiera materiales de biomasa descritos en la presente memoria para preparar cualquiera de los productos descritos en la presente memoria.

Sistemas para tratar biomasa

La FIG. 1 muestra un sistema 100 para convertir biomasa, particularmente biomasa con componentes celulósicos y lignocelulósicos significativos en productos y co-productos útiles. El sistema 100 incluye un subsistema 110 de preparación de alimentación, un subsistema 114 de pretratamiento, un subsistema 118 de proceso primario, y un

subsistema 122 de post-procesamiento. El subsistema 110 de preparación de alimentación recibe biomasa en su forma bruta, prepara físicamente la biomasa para el uso como materia prima por procedimientos corriente abajo (p.ej., reduce el tamaño de y homogeneiza la biomasa), y almacena la biomasa tanto en sus formas bruta como de materia prima.

5 La materia prima de biomasa con componentes celulósicos y/o lignocelulósicos significativos puede tener un alto peso molecular medio y cristalinidad que puede hacer difícil el procesamiento de la materia prima en productos útiles. Por consiguiente, es útil tratar la materia prima de biomasa, p.ej., usando los métodos de tratamiento descritos en la presente memoria. Como se describe en la presente memoria, en algunas realizaciones, el tratamiento de la biomasa no usa ácidos o bases para procesar la biomasa, o sólo usa tales tratamientos en cantidades pequeñas o catalíticas.

10 El subsistema 114 de tratamiento recibe la materia prima de biomasa del subsistema 110 de preparación de alimentación y prepara la materia prima para el uso en procesos de producción primarios, por ejemplo, reduciendo el peso molecular medio y cristalinidad de la materia prima. El subsistema 118 de proceso primario recibe la materia prima tratada del subsistema 114 de tratamiento y produce productos útiles (p.ej., productos alimenticios). En algunos casos, la salida del subsistema 118 de proceso primario es directamente útil, pero, en otros casos, requiere un procesamiento adicional proporcionado por el subsistema 122 de post-procesamiento. El subsistema 122 de post-procesamiento proporciona procesamiento adicional a corrientes de producto del sistema 118 de proceso primario que lo requieren, así como tratamiento para corrientes de desecho de los otros subsistemas. En algunos casos, los co-productos de los subsistemas 114, 118, 122 también pueden ser directa o indirectamente útiles como productos secundarios y/o en aumentar la eficacia global del sistema 100. Por ejemplo, el subsistema 122 de post-procesamiento puede producir agua tratada para ser reciclada para uso como agua de proceso en otros subsistemas, y/o puede producir residuo quemable que se puede usar como combustible para hervidores que producen vapor y/o electricidad.

15 El tamaño óptimo para las plantas de conversión de biomasa es afectado por factores que incluyen economías de escala y el tipo y disponibilidad de la biomasa usada como materia prima. Aumentar el tamaño de la planta tiende a aumentar las economías de escala asociadas con procesos de planta. Sin embargo, aumentar el tamaño de la planta también tiende a aumentar los costes (p.ej., costes de transporte) por unidad de materia prima. Estudios que analizan estos factores sugieren que el tamaño apropiado para las plantas de conversión de biomasa pueden oscilar de 100 a 1.000 o más, p.ej., 10.000 o más toneladas secas de materia prima por día, dependiendo al menos en parte del tipo de materia prima usada. El tipo de materia prima de biomasa también puede tener un impacto sobre los requisitos de almacenamiento de la planta con plantas diseñadas principalmente para procesar materia prima cuya disponibilidad varía estacionalmente (p.ej., forraje de maíz), requiriendo más almacenamiento de materia prima en el lugar o fuera del lugar que plantas diseñadas para procesar materia prima cuya disponibilidad es relativamente estable (p.ej., papel de desecho).

35 Pretratamiento de biomasa

En algunos casos, los métodos de pretratamiento del procesamiento comienzan con una preparación física de la biomasa, p.ej., reducción del tamaño de materias primas de biomasa bruta, tal como cortando, moliendo, machacando, destrozando, cizallando o troceando. En algunas realizaciones, se usan métodos (p.ej., métodos mecánicos) para reducir el tamaño y/o dimensiones de trozos individuales de biomasa. En algunos casos, se pretrata materia prima suelta (p.ej., papel reciclado o pasto varilla) por cizallamiento o trituración. Se pueden usar cribas y/o imanes para retirar objetos sobredimensionados o indeseables tales como, por ejemplo, rocas o clavos, de la corriente de alimentación.

40 Los sistemas de pretratamiento de la alimentación pueden ser configurados para producir corrientes de alimentación con características específicas tales como, por ejemplo, tamaños máximos específicos, relación longitud a anchura específica, o relaciones de áreas superficiales específicas. Como parte del pretratamiento de alimentación, la densidad aparente de las materias primas puede ser controlada (p.ej., aumentada).

Reducción de tamaño

En algunas realizaciones, la biomasa está en la forma de un material fibroso que incluye fibras proporcionadas cizallando la biomasa. Por ejemplo, el cizallamiento puede ser realizado con una cortadora de cuchillas rotatorias.

50 Por ejemplo, y por referencia con la FIG. 2, una fuente 210 de fibra de biomasa es cizallada, p.ej., en una cortadora de cuchillas rotatorias, para proporcionar un primer material 212 fibroso. El primer material 212 fibroso se hace pasar a través de una primera criba 214 que tiene un tamaño de abertura medio de 1,59 mm o menos (1/16 de pulgada, 0,0625 pulgadas) para proporcionar un segundo material 216 fibroso. Si se desea, la fuente de fibra puede ser cortada antes del cizallamiento, p.ej., con una trituradora. Por ejemplo, cuando se usa un papel como fuente de fibra, el papel puede ser cortado primero en tiras que son, p.ej., de 0,635 a 1,27 centímetros (1/4 a 1/2 pulgadas) de ancho, usando una trituradora, p.ej., una trituradora de tornillo contrarrotatorio, tal como las fabricadas por Munson (Utica, N.Y.). Como alternativa a la trituración, el papel puede ser reducido en tamaño cortando a un tamaño deseado usando una cortadora de guillotina. Por ejemplo, la cortadora de guillotina puede ser usada para cortar el

papel en láminas que son, p.ej., de 25,4 centímetros (10 pulgadas) de ancho por 30,48 centímetros (12 pulgadas) de largo.

5 En algunas realizaciones, el cizallamiento de la fuente de fibra y el paso del primer material fibroso resultante a través de la primera criba se realizan al mismo tiempo. El cizallamiento y el paso también pueden ser realizados en un proceso de tipo discontinuo.

10 Por ejemplo, se puede usar una cortadora de cuchillas rotatorias para cizallar al mismo tiempo la fuente de fibra y cribar el primer material fibroso. Haciendo referencia a la FIG. 3, una cortadora 220 de cuchillas rotatorias incluye una tolva 222 que puede ser cargada con una fuente 224 de fibra triturada preparada por métodos estándar. La fuente de fibra triturada es cizallada entre cuchillas 230 estacionarias y cuchillas 232 rotatorias para proporcionar un primer material 240 fibroso. El primer material 240 fibroso pasa a través de la criba 242, y el resultante segundo material 244 fibroso es capturado en el contenedor 250. Para ayudar en la recogida del segundo material fibroso, el contenedor puede tener una presión por debajo de la presión atmosférica nominal, p.ej., al menos 10 por ciento por debajo de la presión atmosférica nominal, p.ej., al menos 25 por ciento por debajo de la presión atmosférica nominal, al menos 50 por ciento por debajo de la presión atmosférica nominal, o al menos 75 por ciento por debajo de la presión atmosférica nominal. En algunas realizaciones, se utiliza una fuente 252 de vacío para mantener el contenedor por debajo de la presión atmosférica nominal.

15 El cizallamiento puede ser ventajoso para “abrir” y “tensar” los materiales fibrosos, haciendo a la celulosa de los materiales más susceptible a escisión de cadenas y/o reducción de la cristalinidad. Los materiales abiertos también pueden ser más susceptibles a la oxidación cuando son irradiados.

20 En algunas realizaciones, el cizallamiento puede ser ventajoso para “abrir” y “tensar” los materiales fibrosos, haciendo a la celulosa de los materiales más susceptible a digestión rumiante y absorción.

25 La fuente de fibra puede ser cizallada en un estado seco, un estado hidratado (p.ej., teniendo hasta diez por ciento en peso de agua absorbida), o en un estado húmedo, p.ej., teniendo entre aproximadamente 10 por ciento y aproximadamente 75 por ciento en peso de agua. La fuente de fibra puede ser cizallada incluso mientras está sumergida parcialmente o totalmente en un líquido, tal como agua, etanol o isopropanol.

La fuente de fibra también puede ser cizallada bajo un gas (tal como una corriente o atmósfera de gas distinto del aire), p.ej., oxígeno o nitrógeno, o en vapor.

Otros métodos para preparar los materiales fibrosos incluyen, p.ej., molienda en piedra, desgarrar o rasgado mecánico, molienda en agujas, y/o molienda con abrasión en aire.

30 Si se desea, los materiales fibrosos se pueden separar, p.ej., continuamente o en lotes, en fracciones según su longitud, anchura, densidad, tipo de material, o alguna combinación de estos atributos.

Por ejemplo, los materiales ferrosos pueden ser separados de cualquiera de los materiales fibrosos haciendo pasar un material fibroso que incluye un material ferroso por un imán, p.ej., un electroimán, y haciendo pasar después el material fibroso resultante a través de una serie de cribas, teniendo cada criba diferentes tamaños de abertura.

35 Los materiales fibrosos también pueden ser separados, p.ej., usando un gas de alta velocidad, p.ej., aire. En tal estrategia, los materiales fibrosos son separados retirando diferentes fracciones, que pueden ser caracterizadas fotónicamente, si se desea. Tal aparato de separación se discute en Lindsey et al, patente de EE.UU. No. 6.883.667.

40 Los materiales fibrosos pueden ser pretratados inmediatamente después de su preparación, o pueden ser secados, p.ej., a aproximadamente 105°C durante 4-18 horas, con lo que el contenido de humedad es, p.ej., menos que aproximadamente 0,5% antes del uso.

Si se desea, la lignina puede ser retirada de cualquiera de los materiales fibrosos que incluyen lignina. También, para ayudar en la rotura de los materiales que incluyen la celulosa, el material puede ser tratado antes de la irradiación con calor, o un producto químico (p.ej., ácido mineral, base o un oxidante fuerte tal como hipoclorito de sodio).

45 En algunas realizaciones, el tamaño de abertura medio de la primera criba es menos que 0,79 mm (1/32 de pulgada, 0,03125 pulgadas), p.ej., menos que 0,51 mm (1/50 de pulgada, 0,02000 pulgadas), menos que 0,40 mm (1/64 de pulgada, 0,015625 pulgadas), menos que 0,23 mm (0,009 pulgadas), menos que 0,20 mm (1/128 de pulgada, 0,0078125 pulgadas), menos que 0,18 mm (0,007 pulgadas), menos que 0,13 mm (0,005 pulgadas), o incluso menos que 0,10 mm (1/256 de pulgada, 0,00390625 pulgadas). La criba se prepara entretejiendo monofilamentos que tienen un diámetro apropiado para dar el tamaño de abertura deseado. Por ejemplo, los monofilamentos pueden estar hechos de un metal, p.ej., acero inoxidable. Según se hacen más pequeños los tamaños de abertura, las demandas estructurales de los monofilamentos pueden llegar a ser mayores. Por ejemplo, para tamaños de abertura menores que 0,40 mm, puede ser ventajoso hacer las cribas de monofilamentos hechos de un material distinto al acero inoxidable, p.ej., titanio, aleaciones de titanio, metales amorfos, níquel, tungsteno, rodio, renio, cerámica, o vidrio. En algunas realizaciones, la criba se hace de una placa, p.ej., una placa metálica, que tiene aberturas, p.ej.,

cortadas en la placa usando un láser. En algunas realizaciones, el área abierta de la malla es menos que 52%, p.ej., menos que 41%, menos que 36%, menos que 31%, menos que 30%.

5 En algunas realizaciones, el segundo material fibroso se cizalla y se hace pasar a través de la primera criba, o una criba de tamaño diferente. En algunas realizaciones, el segundo material fibroso se hace pasar a través de una segunda criba que tiene un tamaño de abertura medio igual a o menor que el de la primera criba.

Haciendo referencia a la FIG. 4, se puede preparar un tercer material 220 fibroso a partir del segundo material 216 fibroso cizallando el segundo material 216 fibroso y haciendo pasar el material resultante a través de una segunda criba 222 que tiene un tamaño de abertura medio menor que la primera criba 214.

10 De manera general, las fibras de los materiales fibrosos pueden tener una relación longitud a diámetro media relativamente grande (p.ej., mayor que 20 a 1), incluso si han sido cizalladas más de una vez. Además, las fibras de los materiales fibrosos descritos en la presente memoria pueden tener una longitud y/o distribución de relaciones longitud a diámetro relativamente estrecha.

15 Como se emplea en la presente memoria, las anchuras de fibra medias (p.ej., diámetros) son las determinadas ópticamente seleccionando al azar aproximadamente 5.000 fibras. Las longitudes de fibra medias son longitudes ponderadas en longitud corregida. Las áreas superficiales BET (Brunauer, Emmet y Teller) son áreas superficiales multipunto, y las porosidades son las determinadas por porosimetría de mercurio.

20 La relación longitud a diámetro media del segundo material 14 fibroso puede ser mayor que 5/1, p.ej., mayor que 8/1, p.ej., mayor que 10/1, mayor que 15/1, mayor que 20/1, mayor que 25/1, o mayor que 50/1. Una longitud media del segundo material 14 fibroso puede ser, p.ej., entre aproximadamente 0,5 mm y 2,5 mm, p.ej., entre aproximadamente 0,75 mm y 1,0 mm, y una anchura media (p.ej., diámetro) del segundo material 14 fibroso puede ser, p.ej., entre aproximadamente 5 μm y 50 μm , p.ej., entre aproximadamente 10 μm y 30 μm .

25 En algunas realizaciones, una desviación estándar de la longitud del segundo material 14 fibroso es menos que 60 por ciento de una longitud media del segundo material 14 fibroso, p.ej., menos que 50 por ciento de la longitud media, menos que 40 por ciento de la longitud media, menos que 25 por ciento de la longitud media, menos que 10 por ciento de la longitud media, menos que 5 por ciento de la longitud media, o incluso menos que 1 por ciento de la longitud media.

30 En algunas realizaciones, un área superficial BET del segundo material fibroso es mayor que 0,1 m^2/g , p.ej., mayor que 0,25 m^2/g , mayor que 0,5 m^2/g , mayor que 1,0 m^2/g , mayor que 1,5 m^2/g , mayor que 1,75 m^2/g , mayor que 5,0 m^2/g , mayor que 10 m^2/g , mayor que 25 m^2/g , mayor que 35 m^2/g , mayor que 50 m^2/g , mayor que 60 m^2/g , mayor que 75 m^2/g , mayor que 100 m^2/g , mayor que 150 m^2/g , mayor que 200 m^2/g , o incluso mayor que 250 m^2/g . Una porosidad del segundo material 14 fibroso puede ser, p.ej., mayor que 20 por ciento, mayor que 25 por ciento, mayor que 35 por ciento, mayor que 50 por ciento, mayor que 60 por ciento, mayor que 70 por ciento, p.ej., mayor que 80 por ciento, mayor que 85 por ciento, mayor que 90 por ciento, mayor que 92 por ciento, mayor que 94 por ciento, mayor que 95 por ciento, mayor que 97,5 por ciento, mayor que 99 por ciento, o incluso mayor que 99,5 por ciento.

35 En algunas realizaciones, una relación de la relación longitud a diámetro media del primer material fibroso a la relación longitud a diámetro media del segundo material fibroso es, p.ej., menos que 1,5, p.ej., menos que 1,4, menos que 1,25, menos que 1,1, menos que 1,075, menos que 1,05, menos que 1,025, o incluso sustancialmente igual a 1.

40 En realizaciones particulares, el segundo material fibroso es cizallado de nuevo y el material fibroso resultante es hecho pasar a través de una segunda criba que tiene un tamaño de abertura medio menor que la primera criba para proporcionar un tercer material fibroso. En tales casos, una relación de la relación longitud a diámetro media del segundo material fibroso a la relación longitud a diámetro media del tercer material fibroso puede ser, p.ej., menos que 1,5, p.ej., menos que 1,4, menos que 1,25, o incluso menos que 1,1.

45 En algunas realizaciones, el tercer material fibroso es hecho pasar a través de una tercera criba para producir un cuarto material fibroso. El cuarto material fibroso puede ser, p.ej., hecho pasar a través de una cuarta criba para producir un quinto material. Se pueden repetir procedimientos de cribado similares tantas veces como se desee para producir el material fibroso deseado que tenga las propiedades deseadas.

Densificación

50 Como se emplea en la presente memoria, densificación se refiere a aumentar la densidad aparente de un material. Los materiales densificados pueden ser procesados, o cualesquiera materiales procesados pueden ser densificados, por cualquiera de los métodos descritos en la presente memoria.

55 Un material, p.ej., un material fibroso, que tiene una densidad aparente baja puede ser densificado hasta un producto que tiene una densidad aparente más alta. Por ejemplo, una composición de un material que tiene una densidad aparente de 0,05 g/cm^3 puede ser densificada sellando el material fibroso en una estructura relativamente impermeable a los gases, p.ej., una bolsa hecha de polietileno o una bolsa hecha de capas alternantes de polietileno

y un nailon, y evacuar después el gas atrapado, p.ej., aire, de la estructura. Después de la evacuación del aire de la estructura, el material fibroso puede tener, p.ej., una densidad aparente mayor que $0,3 \text{ g/cm}^3$, p.ej., $0,5 \text{ g/cm}^3$, $0,6 \text{ g/cm}^3$, $0,7 \text{ g/cm}^3$ o más, p.ej., $0,85 \text{ g/cm}^3$. Después de la densificación, el producto es pretratado siendo irradiado. Esto puede ser ventajoso cuando es deseable transportar el material a otra ubicación, p.ej., una planta de fabricación remota, donde la composición de material fibroso puede ser añadida a una disolución. Después de perforar la estructura sustancialmente impermeable a los gases, el material fibroso densificado puede volver casi a su densidad aparente inicial, p.ej., al menos a 60 por ciento de su densidad aparente inicial, p.ej., 70 por ciento, 80 por ciento, 85 por ciento o más, p.ej., 95 por ciento de su densidad aparente inicial. Para reducir la electricidad estática en el material fibroso, se puede añadir un agente antiestático al material.

En algunas realizaciones, la estructura, p.ej., un portador tal como una bolsa, está formada de un material que se disuelve en un líquido, tal como agua. Por ejemplo, la estructura puede ser formada a partir de poli(alcohol vinílico), para que se disuelva cuando esté en contacto con una disolución de base acuosa.

Haciendo referencia a la FIG. 5, un material de biomasa puede ser combinado con cualesquiera aditivos deseados y un aglutinante, y ser densificado posteriormente por aplicación de presión, p.ej., haciendo pasar el material a través de un espacio definido entre rodillos de presión contrarrotatorios o haciendo pasar el material a través de una granuladora. Durante la aplicación de presión, se puede aplicar opcionalmente calor para ayudar en la densificación del material fibroso. El material densificado puede ser irradiado después.

En algunas realizaciones, el material antes de la densificación tiene una densidad aparente menor que $0,25 \text{ g/cm}^3$, p.ej., menor que o aproximadamente $0,20 \text{ g/cm}^3$, $0,15 \text{ g/cm}^3$, $0,10 \text{ g/cm}^3$, $0,05 \text{ g/cm}^3$ o menos, p.ej., $0,025 \text{ g/cm}^3$. La densidad aparente se determina usando ASTM D1895B. Brevemente, el método implica llenar un cilindro medidor de volumen conocido con una muestra y obtener un peso de la muestra. La densidad aparente se calcula dividiendo el peso de la muestra en gramos por el volumen conocido del cilindro en centímetros cúbicos.

Los aglutinantes preferidos incluyen aglutinantes que son solubles en agua, hinchados por el agua, o que tienen una temperatura de transición vítrea menor que 25°C , determinada por calorimetría de barrido diferencial. Los aglutinantes solubles en agua tienen una solubilidad de al menos aproximadamente 0,05 por ciento en peso en agua. Los aglutinantes hinchables por el agua son aglutinantes que aumentan en volumen en más que 0,5 por ciento tras exposición al agua.

En algunas realizaciones, los aglutinantes que son solubles o hinchados por el agua incluyen un grupo funcional que es capaz de formar un enlace, p.ej., un enlace de hidrógeno, con las fibras del material fibroso, p.ej., material fibroso celulósico. Por ejemplo, el grupo funcional puede ser un grupo ácido carboxílico, un grupo carboxilato, un grupo carbonilo, p.ej., de un aldehído o una cetona, un grupo ácido sulfónico, un grupo sulfonato, un grupo ácido fosfórico, un grupo fosfato, un grupo amida, un grupo amina, un grupo hidroxilo, p.ej., de un alcohol, y combinaciones de estos grupos, p.ej., un grupo ácido carboxílico y un grupo hidroxilo. Ejemplos monoméricos específicos incluyen glicerina, glioxal, ácido ascórbico, urea, glicina, pentaeritritol, un monosacárido o un disacárido, ácido cítrico y ácido tartárico. Los sacáridos adecuados incluyen glucosa, sacarosa, lactosa, ribosa, fructosa, manosa, arabinosa y eritrosa. Los ejemplos poliméricos incluyen poliglicoles, poli(óxido de etileno), ácidos policarboxílicos, poliamidas, poliaminas y polisulfonatos de ácidos polisulfónicos. Los ejemplos poliméricos específicos incluyen polipropilenglicol (PPG), polietilenglicol (PEG), poli(óxido de etileno), p.ej., POLYOX[®], copolímeros de óxido de etileno y óxido de propileno, poli(ácido acrílico) (PAA), poliacrilamida, polipéptidos, polietilenimina, polivinilpiridina, poli(4-estirenosulfonato de sodio) y poli(ácido 2-acrilamido-metil-1-propanosulfónico).

En algunas realizaciones, el aglutinante incluye un polímero que tiene una temperatura de transición vítrea menor que 25°C . Los ejemplos de tales polímeros incluyen elastómeros termoplásticos (TPEs). Los ejemplos de TPEs incluyen amidas de bloques de poliéster, tales como las disponibles bajo el nombre comercial PEBAX[®], elastómeros de poliéster, tales como los disponibles bajo el nombre comercial HYTREL[®], y copolímeros de bloques estirénicos, tales como los disponibles bajo el nombre comercial KRATON[®]. Otros polímeros adecuados que tienen una temperatura de transición vítrea menor que 25°C incluyen copolímero de etileno y acetato de vinilo (EVA), poliolefinas, p.ej., polietileno, polipropileno, copolímeros de etileno-propileno, y copolímeros de etileno y alfa-olefinas, p.ej., 1-octeno, tales como los disponibles bajo el nombre comercial ENGAGE[®]. En algunas realizaciones, p.ej., cuando el material es un papel polirrevestido fibrizado, el material se densifica sin la adición de un polímero de baja temperatura de transición vítrea independiente.

En una realización particular, el aglutinante es una lignina, p.ej., una lignina natural o modificada sintéticamente.

Una cantidad adecuada de aglutinante añadido al material, calculada en una base de peso seco, es, p.ej., de aproximadamente 0,01 por ciento a aproximadamente 50 por ciento, p.ej., 0,03 por ciento, 0,05 por ciento, 0,1 por ciento, 0,25 por ciento, 0,5 por ciento, 1,0 por ciento, 5 por ciento, 10 por ciento o más, p.ej., 25 por ciento, basado en un peso total del material densificado. El aglutinante puede ser añadido al material como un líquido puro, neto, como un líquido que tiene el aglutinante disuelto en el mismo, como un polvo seco del aglutinante, o como gránulos del aglutinante.

El material fibroso densificado se puede preparar en una granuladora. Haciendo referencia a la FIG. 6, una

granuladora 300 tiene una tolva 301 para contener material 310 no densificado que incluye materiales que contienen carbohidratos, tales como celulosa. La tolva se comunica con una barrena 312 que es impulsada con el motor 314 de velocidad variable para que el material no densificado pueda ser transportado a un acondicionador 320 que remueve el material no densificado con palas 322 que son rotadas por el motor 330 del acondicionador. Se pueden
 5 añadir otros ingredientes, p.ej., cualquiera de los aditivos y/o cargas descritas en la presente memoria, en la entrada 332. Si se desea, se puede añadir calor mientras el material fibroso está en el acondicionador. Después de ser acondicionado, el material pasa del acondicionador a través de un conducto 340 de salida, y hacia otra barrena 342. El conducto de salida, controlado por el actuador 344, permite el paso no obstruido del material del acondicionador a la barrena. La barrena es rotada por el motor 346, y controla la alimentación del material fibroso al montaje 350 de
 10 boquilla y rodillo. Específicamente, el material es introducido en una boquilla 352 cilíndrica, hueca, que rota alrededor de un eje horizontal y que tiene agujeros 250 de boquilla que se extienden radialmente. La boquilla 352 es rotada alrededor del eje por el motor 360, que incluye un medidor de potencia, que indica la potencia total consumida por el motor. El material 370 densificado, p.ej., en la forma de gránulos, cae desde el conducto 372 y es capturado y procesado, tal como por irradiación.

15 El material, después de la densificación, puede estar convenientemente en la forma de gránulos o astillas que tienen diversas formas. Los gránulos pueden ser irradiados después. En algunas realizaciones, los gránulos o astillas son de forma cilíndrica, p.ej., teniendo una dimensión transversal máxima de, p.ej., 1 mm o más, p.ej., 2 mm, 3 mm, 5 mm, 8 mm, 10 mm, 15 mm o más, p.ej., 25 mm. Otras formas convenientes incluyen gránulos o astillas que son de forma similar a placas, p.ej., que tienen un grosor de 1 mm o más, p.ej., 2 mm, 3 mm, 5 mm, 8 mm, 10 mm o más,
 20 p.ej., 25 mm; una anchura de, p.ej., 5 mm o más, p.ej., 10 mm, 15 mm, 25 mm, 30 mm o más, p.ej., 50 mm; y una longitud de 5 mm o más, p.ej., 10 mm, 15 mm, 25 mm, 30 mm o más, p.ej., 50 mm.

Haciendo referencia ahora a la FIG. 7A-7D, se pueden hacer gránulos para que tengan un interior hueco. Como se muestra, el hueco puede estar generalmente en línea con el centro del gránulo (FIG. 7B), o fuera de línea con el centro del gránulo (FIG. 7C). Hacer el gránulo hueco por dentro puede aumentar la velocidad de disolución en un
 25 líquido después de la irradiación.

Haciendo referencia ahora a la FIG. 7D, el gránulo puede tener, p.ej., una forma transversal que es multilobular, p.ej., trilobular como se muestra, o tetralobular, pentalobular, hexalobular o decalobular. Hacer los gránulos en tales formas transversales también puede aumentar la velocidad de disolución en una disolución después de la irradiación.

30 Alternativamente, el material densificado puede estar en cualquier otra forma deseada, p.ej., el material densificado puede estar en la forma de una alfombrilla, rollo o bala.

Ejemplos de densificación

En un ejemplo, se pueden usar como materia prima envases de zumo de 1,89 litros (medio galón) hechos de cartón Kraft blanco no impreso que tienen una densidad aparente de $0,32 \text{ g/cm}^3$ (20 lbs/pt^3). Los envases pueden ser
 35 aplanados y alimentados después a una trituradora para producir un material similar al confeti que tiene una anchura de entre 0,254 centímetros (0,1 pulgadas) y 1,27 centímetros (0,5 pulgadas), una longitud de entre 0,63 centímetros (0,25 pulgadas) y 2,54 centímetros (1 pulgada) y un grosor equivalente al del material de partida (aproximadamente 0,19 centímetros (0,075 pulgadas)). El material similar al confeti puede ser alimentado a una cortadora de cuchillas rotatorias, que cizalla los trozos similares al confeti, desgarrando los trozos y liberando material fibroso.

40 En algunos casos, se pueden disponer trenes trituradora-cizalladora múltiples en serie con salida. En una realización, se pueden disponer dos trenes trituradora-cizalladora en serie con salida desde la primera cizalladora alimentada como entrada a la segunda trituradora. En otra realización, se pueden disponer tres trenes trituradora-cizalladora en serie con salida desde la primera cizalladora alimentada como entrada a la segunda trituradora y salida de la segunda cizalladora alimentada como entrada a la tercera trituradora. Se prevé que pasos múltiples a
 45 través de trenes trituradora-cizalladora disminuyan el tamaño de partícula y aumenten el área superficial global dentro de la corriente de alimentación.

En otro ejemplo, el material fibroso producido de triturar y cizallar envases de zumo puede ser tratado para aumentar su densidad aparente. En algunos casos, el material fibroso puede ser rociado con agua o una disolución madre diluida de POLYOX™ WSR N10 (poli(óxido de etileno)) preparada en agua. Después, el material fibroso humedecido
 50 puede ser procesado a través de una granuladora que funciona a temperatura ambiente. La granuladora puede aumentar la densidad aparente de la corriente de alimentación en más que un orden de magnitud.

En algunas realizaciones, el procedimiento no incluye hidrolizar la biomasa, tal como con un ácido o base, p.ej., un ácido mineral, tal como ácido clorhídrico o sulfúrico.

55 Si se desea, algo o nada de la biomasa puede incluir un material hidrolizado. Por ejemplo, en algunas realizaciones, al menos aproximadamente el setenta por ciento en peso de la biomasa es un material no hidrolizado, p.ej., al menos el 95 por ciento en peso de la materia prima es un material no hidrolizado. En algunas realizaciones, sustancialmente toda la biomasa es un material no hidrolizado. En algunas realizaciones, el 100% de la biomasa es material no hidrolizado.

5 Cualquier materia prima o cualquier reactor o fermentador cargado con una materia prima puede incluir un tampón, tal como bicarbonato de sodio, cloruro de amonio o Tris; un electrolito, tal como cloruro de potasio, cloruro de sodio, o cloruro de calcio; un factor de crecimiento, tal como biotina y/o un par de base tal como uracilo o un equivalente del mismo; un tensioactivo, tal como Tween® o polietilenglicol; un mineral, tal como calcio, cromo, cobre, yodo, hierro, selenio o cinc; o un agente quelante, tal como etilendiamina, ácido etilendiaminotetracético (EDTA) (o su forma salina, p.ej., EDTA sódico o potásico), o dimercaprol.

10 Cuando se utiliza radiación como o en el tratamiento, puede ser aplicada a cualquier muestra que esté seca o húmeda, o incluso dispersada en un líquido, tal como agua. Por ejemplo, la irradiación puede ser realizada sobre material de biomasa en el que menos que aproximadamente 25 por ciento en peso del material de biomasa tiene superficies humedecidas con un líquido, tal como agua. En algunas realizaciones, la irradiación se realiza sobre material de biomasa en el que sustancialmente nada del material de biomasa está humedecido con un líquido, tal como agua.

15 En algunas realizaciones, cualquier procesamiento descrito en la presente memoria ocurre después de que el material de biomasa permanece seco como se adquirió o ha sido secado, p.ej., usando calor y/o presión reducida. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el material de biomasa tiene menos que aproximadamente cinco por ciento en peso de agua retenida, medido a 25°C y a cincuenta por ciento de humedad relativa.

20 Si se desea, se puede utilizar un agente de hinchamiento, definido en la presente memoria, en cualquier procedimiento descrito en la presente memoria. En algunas realizaciones, cuando un material de biomasa es procesado usando radiación, menos que aproximadamente 25 por ciento en peso del material de biomasa está en un estado hinchado, estando caracterizado el estado hinchado por tener un volumen de más que aproximadamente 2,5 por ciento más alto que un estado no hinchado, p.ej., más que 5,0, 7,5, 10 o 15 por ciento más alto que el estado no hinchado. En algunas realizaciones, cuando se utiliza radiación sobre un material de biomasa, sustancialmente nada del material de biomasa está en un estado hinchado.

25 En realizaciones específicas, cuando se utiliza radiación, el material de biomasa incluye un agente de hinchamiento, y el material de biomasa hinchado recibe una dosis menor que aproximadamente 10 Mrad.

Cuando se utiliza radiación en cualquier procedimiento, puede ser aplicada mientras la biomasa es expuesta a aire, aire enriquecido con oxígeno, o incluso oxígeno en sí, o cubierto por un gas inerte tal como nitrógeno, argón o helio. Cuando se desea oxidación máxima, se utiliza un entorno oxidante, tal como aire u oxígeno.

30 Cuando se utiliza radiación, puede ser aplicada a la biomasa bajo una presión mayor que aproximadamente 0,25 MPa (2,5 atmósferas), tal como mayor que 0,50, 1,01, 1,52, 2,02, o incluso mayor que aproximadamente 5 MPa (5, 10, 15, 20 o 50 atmósferas). La irradiación puede aumentar la solubilidad, hinchabilidad o dispersabilidad de la biomasa en un disolvente.

35 Cuando el procedimiento incluye radiación, la irradiación se realiza utilizando un haz de electrones. En algunas realizaciones, la irradiación incluye dos o más fuentes de radiación, tales como rayos gamma y un haz de electrones, que pueden ser aplicadas en cualquier orden o al mismo tiempo.

Tratamiento de radiación

40 Se puede usar una o más secuencias de procesamiento por irradiación para procesar biomasa de una amplia variedad de fuentes diferentes para extraer sustancias útiles de la materia prima, y proporcionar material orgánico degradado parcialmente que funciona como entrada para etapas y/o secuencias de procesamiento posteriores. La irradiación puede reducir la recalcitrancia, peso molecular y/o cristalinidad de la materia prima.

La radiación es proporcionada por aceleradores de haces de electrones. Las dosis aplicadas dependen del efecto deseado y la materia prima particular. Por ejemplo, dosis de radiación altas pueden romper enlaces químicos dentro de componentes de la materia prima, y dosis de radiación bajas pueden aumentar la unión química (p.ej., reticulación) dentro de componentes de la materia prima.

45 Haciendo referencia a la FIG. 8, en un método, un primer material 2 que es o incluye celulosa que tiene un primer peso molecular medio numérico (M_{N1}) es irradiado, p.ej., por tratamiento con un haz de electrones para proporcionar un segundo material 3 que incluye celulosa que tiene un segundo peso molecular medio numérico (M_{N2}) más bajo que el primer peso molecular medio numérico. El segundo material (o el primer y segundo material) puede ser combinado con un microorganismo (p.ej., una bacteria o una levadura) que puede utilizar el segundo y/o primer material para producir un producto 5, pero esto no es una realización de la invención.

50 Dado que el segundo material 3 tiene celulosa que tiene una recalcitrancia reducida, peso molecular reducido en relación al primer material, y en algunos casos, una cristalinidad reducida, el segundo material es generalmente más dispersable, hinchable y/o soluble en una disolución que contiene un microorganismo. Estas propiedades hacen al segundo material 3 más susceptible a ataque químico, enzimático y/o biológico (p.ej., por un microorganismo) en relación al primer material 2, lo que puede mejorar en gran medida la velocidad de producción y/o el nivel de producción de un producto deseado, p.ej., etanol. La radiación también puede esterilizar los materiales.

En algunas realizaciones, el segundo peso molecular medio numérico (M_{N2}) es más bajo que el primer peso molecular medio numérico (M_{N1}) en más que aproximadamente 10 por ciento, p.ej., 15, 20, 25, 30,35, 40, 50 por ciento, 60 por ciento, o incluso más que aproximadamente 75 por ciento.

Haz de electrones

5 En la presente invención, se usa un haz de electrones como fuente de radiación. Un haz de electrones tiene las ventajas de altas tasas de dosis (p.ej., 1, 5 o incluso 10 Mrad por segundo), alto rendimiento, menos contención, y menos equipo de confinamiento. Los electrones también pueden ser más eficaces en causar escisión de cadenas. Además, los electrones que tienen energías de 4-10 MeV pueden tener una profundidad de penetración de 5 a 30 mm o más, tal como 40 mm.

10 Los haces de electrones pueden ser generados, p.ej., por generadores electrostáticos, generadores de cascada, generadores de transformador, aceleradores de baja energía con un sistema de barrido, aceleradores de baja energía con un cátodo lineal, aceleradores lineales y aceleradores pulsados. Los electrones como fuente de radiación ionizante pueden ser útiles, p.ej., para pilas de materiales relativamente finas, p.ej., menos que 1,27 centímetros (0,5 pulgadas), p.ej., menos que 1,02 centímetros (0,4 pulgadas), 0,76 centímetros (0,3 pulgadas), 0,51 centímetros (0,2 pulgadas), o menos que 0,25 centímetros (0,1 pulgadas). En algunas realizaciones, la energía de cada electrón del haz de electrones es de aproximadamente 0,3 MeV a aproximadamente 2,0 MeV (millones de electronvoltios), p.ej., de aproximadamente 0,5 MeV a aproximadamente 1,5 MeV, o de aproximadamente 0,7 MeV a aproximadamente 1,25 MeV.

20 La FIG. 11 muestra un diagrama 3000 de flujo de proceso que incluye diversas etapas en una secuencia de pretratamiento de materia prima por irradiación con haz de electrones. En la primera etapa 3010, se recibe un suministro de materia prima seca de una fuente de alimentación. Como se discutió anteriormente, la materia prima seca de la fuente de alimentación puede ser preprocesada antes de la entrega a los dispositivos de irradiación de haz de electrones. Por ejemplo, si la materia prima procede de fuentes vegetales, ciertas partes del material vegetal pueden ser retiradas antes de la recogida del material vegetal y/o antes de que el material vegetal sea entregado por el dispositivo de transporte de materia prima. Alternativamente, o además, como se expresa en la etapa 3020 opcional, la materia prima de biomasa puede ser sometida a procesamiento mecánico (p.ej., para reducir la longitud media de las fibras en la materia prima) antes de la entrega a los dispositivos de irradiación de haces de electrones.

25 En la etapa 3030, la materia prima seca es transferida a un dispositivo de transporte de materia prima (p.ej., una cinta transportadora) y es distribuida sobre la anchura de sección transversal del dispositivo de transporte de materia prima de manera aproximadamente uniforme en volumen. Esto puede ser llevado a cabo, por ejemplo, manualmente o induciendo un movimiento de vibración localizado en algún punto en el dispositivo de transporte de materia prima antes del procesamiento por irradiación de haz de electrones.

30 En algunas realizaciones, un sistema de mezcla introduce un agente 3045 químico en la materia prima en un procedimiento 3040 opcional que produce una suspensión. Combinar agua con la materia prima procesada en la etapa 3040 de mezcla crea una suspensión acuosa de materia prima que puede ser transportada mediante, por ejemplo, tuberías, en lugar de usar, por ejemplo, una cinta transportadora.

35 La siguiente etapa 3050 es un bucle que abarca exponer la materia prima (en forma seca o de suspensión) a radiación de haz de electrones por medio de uno o más (por ejemplo, N) dispositivos de irradiación de haces de electrones. La suspensión de materia prima es desplazada a través de cada una de las N "duchas" de haces de electrones en la etapa 3052. El movimiento puede ser a una velocidad continua a través y entre las duchas, o bien puede haber una pausa a través de cada ducha, seguido de un movimiento súbito hacia la siguiente ducha. Una pequeña porción de la suspensión de materia prima es expuesta a cada ducha durante algún tiempo de exposición predeterminado en la etapa 3053.

40 Los dispositivos de irradiación de haces de electrones pueden ser adquiridos en el mercado en Ion Beam Applications, Louvain-la-Neuve, Bélgica, o la Titan Corporation, San Diego, CA. Las energías típicas de los electrones pueden ser 1 MeV, 2 MeV, 4,5 MeV, 7,5 MeV o 10 MeV. La potencia típica de los dispositivos de irradiación de haces de electrones puede ser 1 kW, 5 kW, 10 kW, 20 kW, 50 kW, 100 kW, 250 kW o 500 kW. La eficacia de despolimerización de la suspensión de materia prima depende de la energía electrónica usada y la dosis aplicada, mientras que el tiempo de exposición depende de la potencia y dosis. Las dosis típicas pueden tomar valores de 1 kGy, 5 kGy, 10 kGy, 20 kGy, 50 kGy, 100 kGy, o 200 kGy.

45 Los "sacrificios" económicos ("tradeoffs") al considerar las especificaciones de potencia de los dispositivos de irradiación de haces de electrones incluyen el coste de funcionamiento, costes de capital, depreciación y huella del dispositivo. Los sacrificios al considerar los niveles de dosis de exposición de irradiación de haces de electrones serían los costes energéticos y aspectos medioambientales, de seguridad y de salud (ESH). Los sacrificios al considerar las energías electrónicas incluyen los costes energéticos; aquí, una energía electrónica más baja puede ser ventajosa al estimular la despolimerización de ciertas suspensiones de materia prima (véase, por ejemplo, Bouchard, et al, Cellulose (2006) 13: 601-610).

Puede ser ventajoso proporcionar un doble paso de irradiación de haz de electrones a fin de proporcionar un

proceso de despolimerización más eficaz. Por ejemplo, el dispositivo de transporte de materia prima podría dirigir la materia prima (en forma seca o de suspensión) por debajo y en una dirección inversa a su dirección de transporte inicial. Los sistemas de doble paso pueden permitir que sean procesadas suspensiones de materia prima más espesas, y pueden proporcionar una despolimerización más uniforme a través del grosor de la suspensión de materia prima.

El dispositivo de irradiación de haz de electrones puede producir un haz fijo o bien un haz de barrido. Un haz de barrido puede ser ventajoso con grandes longitudes de barrido y altas velocidades de barrido, ya que esto sustituiría eficazmente a una anchura de haz fija, grande. Además, anchuras de barrido disponibles de 0,5 m, 1 m, 2 m o más están disponibles. Se menciona un dispositivo adecuado en el Ejemplo 22.

Una vez que una porción de la suspensión de materia prima ha sido transportada a través de los N dispositivos de irradiación de haces de electrones, puede ser necesario en algunas realizaciones, como en la etapa 3060, separar mecánicamente los componentes líquido y sólido de la suspensión de materia prima. En estas realizaciones, una porción líquida de la suspensión de materia prima se filtra para partículas sólidas residuales y se recicla de vuelta a la etapa 3040 de preparación de la suspensión. Una porción sólida de la suspensión de materia prima es avanzada después hacia la siguiente etapa 3070 de procesamiento por medio del dispositivo de transporte de materia prima. En otras realizaciones, la materia prima es mantenida en forma de suspensión para procesamiento adicional.

Dosis

En algunas realizaciones, la irradiación (con cualquier fuente de radiación o una combinación de fuentes) se realiza hasta que el material recibe una dosis de al menos 0,25 Mrad, p.ej., al menos 1,0 Mrad, al menos 2,5 Mrad, al menos 5,0 Mrad, o al menos 10,0 Mrad. En algunas realizaciones, la irradiación se realiza hasta que el material recibe una dosis de entre 1,0 Mrad y 6,0 Mrad, p.ej., entre 1,5 Mrad y 4,0 Mrad.

En algunas realizaciones, la irradiación se realiza a una tasa de dosis de entre 5,0 y 1.500,0 kilorads/hora, p.ej., entre 10,0 y 750,0 kilorads/hora o entre 50,0 y 350,0 kilorads/hora.

En algunas realizaciones, se usan dos o más fuentes de radiación, tal como dos o más radiaciones ionizantes. Por ejemplo, las muestras se pueden tratar, en cualquier orden, con un haz de electrones, seguido de radiación gamma y luz UV que tiene longitudes de onda de aproximadamente 100 nm a aproximadamente 280 nm. En algunas realizaciones, las muestras se tratan con tres fuentes de radiación ionizante, tal como un haz de electrones, radiación gamma, y luz UV energética.

Inactivación y funcionalización controlada de la biomasa

Después del tratamiento con radiación de haz de electrones, cualesquiera de los materiales que contienen carbohidratos o mezclas descritas en la presente memoria se ionizan; esto es, incluyen radicales a niveles que son detectables con un espectrómetro de resonancia de espín electrónico. El límite de detección actual de los radicales es aproximadamente 10^{14} espines a temperatura ambiente. Después de la ionización, cualquier material de biomasa que ha sido ionizado puede ser inactivado para reducir el nivel de radicales en la biomasa ionizada, p.ej., de tal modo que los radicales ya no son detectables con el espectrómetro de resonancia de espín electrónico. Por ejemplo, los radicales pueden ser inactivados mediante la aplicación de una presión suficiente a la biomasa y/o utilizando un fluido en contacto con la biomasa ionizada, tal como un gas o líquido, que reacciona con (inactiva) los radicales. Usar un gas o líquido para ayudar al menos en la inactivación de los radicales se puede usar para funcionalizar la biomasa ionizada con una cantidad deseada y tipos de grupos funcionales, tales como grupos ácido carboxílico, grupos enol, grupos aldehído, grupos nitro, grupos nitrilo, grupos amino, grupos alquilamino, grupos alquilo, grupos cloroalquilo o grupos clorofluoroalquilo. En algunos casos, tal inactivación puede mejorar la estabilidad de algunos de los materiales de biomasa ionizada. Por ejemplo, la inactivación puede mejorar la resistencia de la biomasa a la oxidación. La funcionalización por inactivación también puede mejorar la solubilidad de cualquier biomasa descrita en la presente memoria, puede mejorar su estabilidad térmica, lo que puede mejorar la utilización del material por diversos microorganismos.

La FIG. 11A ilustra el cambio de una estructura molecular y/o supramolecular de una materia prima de biomasa pretratando la materia prima de biomasa con electrones para proporcionar un primer nivel de radicales. Como se muestra en la FIG. 11A, si la biomasa ionizada permanece en la atmósfera, será oxidada, tal como hasta un punto en que se generan grupos ácido carboxílico por reacción con el oxígeno atmosférico. En algunos casos con algunos materiales, tal oxidación se desea, porque puede ayudar en la disminución posterior en peso molecular de la biomasa que contiene carbohidratos, y los grupos de oxidación, p.ej., grupos ácido carboxílico, pueden ser útiles para la solubilidad en algunos casos. Sin embargo, dado que los radicales pueden "vivir" durante algún tiempo después de la irradiación, p.ej., más que 1 día, 5 días, 30 días, 3 meses, 6 meses o incluso más que 1 año, las propiedades de los materiales pueden continuar cambiando a lo largo del tiempo, lo que en algunos casos puede ser indeseable. La detección de radicales en muestras irradiadas por espectroscopía de resonancia de espín electrónico y tiempos de vida de radicales en tales muestras se discute en Bartolotta et al., *Physics in Medicine and Biology*, 46 (2001), 461-471, y en Bartolotta et al., *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 84, Nos. 1-4, págs. 293-296 (1999). Como se muestra en la FIG. 11A, la biomasa ionizada puede ser inactivada para funcionalizar y/o estabilizar la

biomasa ionizada. En cualquier punto, p.ej., cuando el material está “vivo” (aún tiene una cantidad sustancial de intermedios reactivos tales como radicales), “parcialmente vivo” o totalmente inactivado, la biomasa tratada puede ser convertida en un producto, p.ej., un alimento.

5 En algunas realizaciones, la inactivación incluye una aplicación de presión a la biomasa, tal como deformando mecánicamente la biomasa, p.ej., comprimiendo mecánicamente la biomasa directamente en una, dos o tres dimensiones, o aplicando presión a un fluido en el que la biomasa está sumergida, p.ej., presión isostática. En tales casos, la deformación del material en sí produce radicales, que son a menudo atrapados en dominios cristalinos, en proximidad bastante cercana para que los radicales puedan recombinarse, o reaccionar con otro grupo. En algunos casos, la presión se aplica junto con la aplicación de calor, tal como una cantidad suficiente de calor para elevar la temperatura de la biomasa por encima de un punto de fusión o punto de ablandamiento de un componente de la biomasa, tal como celulosa. El calor puede mejorar la movilidad molecular en el material polimérico, lo que puede ayudar en la inactivación de los radicales. Cuando se utiliza presión para inactivar, la presión puede ser mayor que aproximadamente 6,89 MPa (1.000 psi), tal como mayor que aproximadamente 8,62 MPa (1.250 psi), 9,99 MPa (1.450 psi), 24,99 MPa (3.625 psi), 34,99 (5.075 psi), 49,98 MPa (7.250 psi), 68,95 MPa (10.000 psi), o incluso mayor que 103,42 MPa (15.000 psi).

10 En algunas realizaciones, la inactivación incluye poner en contacto la biomasa con un fluido, tal como un líquido o gas, p.ej., un gas capaz de reaccionar con los radicales, tal como acetileno o una mezcla de acetileno en nitrógeno, etileno, etilenos clorados o clorofluoroetilenos, propileno o mezclas de estos gases. En otras realizaciones particulares, la inactivación incluye poner en contacto la biomasa con un líquido, p.ej., un líquido soluble en, o al menos capaz de penetrar en la biomasa y reaccionar con los radicales, tal como un dieno, tal como 1,5-ciclooctadieno. En algunas realizaciones específicas, la inactivación incluye poner en contacto la biomasa con un antioxidante, tal como Vitamina E. Si se desea, la materia prima de biomasa puede incluir un antioxidante dispersado en la misma, y la inactivación puede venir de poner en contacto el antioxidante dispersado en la materia prima de biomasa con los radicales. Se pueden usar combinaciones de estos y otros materiales de inactivación.

25 Son posibles otros métodos para la inactivación. Por ejemplo, se puede utilizar cualquier método para inactivar radicales en materiales poliméricos descrito en Muratoglu et al., publicación de solicitud de patente de EE.UU. No. 2008/0067724 y Muratoglu et al., patente de EE.UU. No. 7.166.650, para inactivar cualquier material de biomasa ionizado descrito en la presente memoria. Además se puede utilizar cualquier agente de inactivación (descrito como un “agente sensibilizante” en las descripciones de Muratoglu anteriormente citadas) y/o cualquier antioxidante descrito en cualquier referencia de Muratoglu para inactivar cualquier material de biomasa ionizado.

30 En algunas realizaciones, después de la inactivación cualquiera de los materiales ionizados inactivados descritos en la presente memoria pueden ser tratados además con uno o más de radiación, tal como radiación ionizante o no ionizante, sonicación, pirólisis y oxidación para un cambio de estructura molecular y/o supramolecular.

Exposición a haz de partículas en fluidos

35 En algunos casos, los materiales celulósicos o lignocelulósicos pueden ser expuestos a un haz de partículas en presencia de uno o más fluidos adicionales (p.ej., gases y/o líquidos). La exposición de un material a un haz de partículas en presencia de uno o más fluidos adicionales puede aumentar la eficacia del tratamiento.

40 En algunas realizaciones, el material es expuesto a un haz de partículas en presencia de un fluido tal como aire. Partículas aceleradas en uno cualquiera o más de los tipos de aceleradores descritos en la presente memoria (u otro tipo de acelerador) son acopladas fuera del acelerador por un puerto de salida (p.ej., una membrana fina tal como una hoja de metal), pasan a través de un volumen de espacio ocupado por el fluido, e inciden después sobre el material. Además de tratar directamente el material, algunas de las partículas generan especies químicas adicionales interactuando con partículas del fluido (p.ej., iones y/o radicales generados a partir de diversos constituyentes del aire, tales como ozono y óxidos de nitrógeno). Estas especies químicas generadas también pueden interactuar con el material, y pueden actuar como iniciadores para diversas reacciones que rompen enlaces químicos en el material. Por ejemplo, cualquier oxidante producido puede oxidar el material, lo que puede dar como resultado una reducción del peso molecular.

45 En ciertas realizaciones, se pueden introducir selectivamente fluidos adicionales en el camino de un haz de partículas antes de que el haz incida sobre el material. Como se discutió anteriormente, las reacciones entre las partículas del haz y las partículas de los fluidos introducidos pueden generar especies químicas adicionales, que reaccionan con el material y pueden ayudar a funcionalizar el material, y/o alterar selectivamente de otro modo ciertas propiedades del material. El uno o más fluidos adicionales pueden ser dirigidos hacia el camino del haz desde un tubo de suministro, por ejemplo. La dirección y caudal del (de los) fluido(s) que es (son) introducido(s) se puede seleccionar según una velocidad y/o dirección de exposición deseada para controlar la eficacia del tratamiento global, incluyendo efectos que resultan tanto del tratamiento basado en partículas como efectos que son debidos a la interacción de especies generadas dinámicamente desde el fluido introducido con el material. Además de aire, fluidos ilustrativos que pueden ser introducidos en el haz de iones incluyen oxígeno, nitrógeno, uno o más gases nobles, uno o más halógenos, e hidrógeno.

Irradiar materiales de biomasa de baja densidad aparente y enfriar la biomasa irradiada

5 Durante el tratamiento de materiales de biomasa con radiación ionizante, especialmente a altas tasas de dosis, tales como tasas mayores que 0,15 Mrad por segundo, p.ej., 0,25 Mrad/s, 0,35 Mrad/s, 0,5 Mrad/s, 0,75 Mrad/s o incluso mayores que 1 Mrad/s, los materiales de biomasa pueden retener cantidades significativas de calor, con lo que la temperatura de los materiales de biomasa llega a ser elevada. Aunque temperaturas más altas pueden ser, en algunos casos, ventajosas, p.ej., cuando se desea una velocidad de reacción más rápida, es ventajoso controlar el calentamiento de la biomasa para retener el control sobre las reacciones químicas iniciadas por la radiación ionizante, tales como reticulación, escisión de cadenas y/o injerto, p.ej., para mantener el control del proceso. Los materiales de densidad aparente baja, tales como los que tienen una densidad aparente menor que 10 aproximadamente 0,4 g/cm³, p.ej., menor que aproximadamente 0,35, 0,25 o menor que aproximadamente 0,15 g/cm³, especialmente cuando son combinados con materiales que tienen secciones transversales finas, tales como fibras que tienen dimensiones transversales pequeñas, son generalmente más fáciles de enfriar. Además, los fotones y partículas pueden penetrar generalmente más en y a través de materiales que tienen una densidad aparente relativamente baja, lo que puede permitir el procesamiento de volúmenes más grandes de materiales a 15 velocidades más altas, y puede permitir el uso de fotones y partículas que tienen energías más bajas, p.ej., 0,25 MeV, 0,5 MeV, 0,75 MeV o 1,0 MeV, lo que puede reducir requisitos protectores de seguridad. Muchos de los materiales de biomasa descritos en la presente memoria pueden ser procesados en uno o más de los sistemas mostrados en las FIGS 11B, 11C, 11D y 11E, que se describen más adelante. Los sistemas mostrados permiten aplicar uno o más tipos de radiación ionizante, tales como electrones relativísticos o electrones en combinación con rayos X, a materiales de biomasa de densidad aparente baja a altas tasas de dosis, tal como a una tasa mayor que 20 1,0, 1,5, 2,5 Mrad/s o incluso mayor que aproximadamente 5,0 Mrad/s, y permitir después el enfriamiento de la biomasa antes de aplicar radiación por una segunda, tercera, cuarta, quinta, sexta, séptima, octava, novena o incluso décima vez.

25 Por ejemplo, en un método para cambiar una estructura molecular y/o supramolecular de una materia prima de biomasa, la biomasa es pretratada a una primera temperatura con radiación ionizante que comprende electrones durante un tiempo suficiente y/o una dosis suficiente para elevar la materia prima de biomasa a una segunda temperatura más alta que la primera temperatura. La biomasa pretratada es enfriada después por debajo de la segunda temperatura. Finalmente, si se desea, la biomasa enfriada puede ser tratada una o más veces con radiación, p.ej., con radiación ionizante. Si se desea, se puede aplicar enfriamiento a la biomasa después de y/o 30 durante cada tratamiento de radiación.

En algunas realizaciones, el enfriamiento de la materia prima de biomasa es hasta un punto en que, después del enfriamiento, la biomasa está a una tercera temperatura por debajo de la primera temperatura.

35 Por ejemplo, y como se explicará en más detalle más adelante, el tratamiento de materia prima de biomasa con la radiación ionizante se puede realizar según la materia prima de biomasa está siendo transportada neumáticamente en un fluido, tal como en un gas, tal como nitrógeno o aire. Para ayudar en la disminución del peso molecular y/o funcionalización de los materiales, el gas puede estar saturado con cualquier agente de hinchamiento descrito en la presente memoria y/o vapor de agua. Por ejemplo, se puede utilizar vapor de agua ácido. Para ayudar en la disminución del peso molecular, el agua puede ser acidificada con un ácido orgánico, tal como ácido fórmico o acético, o un ácido mineral, tal como ácido sulfúrico o clorhídrico.

40 Por ejemplo, y como se explicará en más detalle más adelante, el tratamiento de materia prima de biomasa con la radiación ionizante se puede realizar según la materia prima de biomasa cae bajo la influencia de la gravedad. Este procedimiento puede reducir eficazmente la densidad aparente de la materia prima de biomasa según está siendo procesada, y puede ayudar en el enfriamiento de la materia prima de biomasa. Por ejemplo, la biomasa puede ser transportada desde una primera cinta a una primera altura por encima del suelo y después puede ser capturada por 45 una segunda cinta a un segundo nivel por encima del suelo más bajo que el primer nivel. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el borde posterior de la primera correa y el borde delantero de la segunda correa definen un espacio. Ventajosamente, la radiación ionizante que comprende un haz de electrones puede ser aplicada en el espacio para impedir el daño al sistema de transporte de la biomasa.

50 En los métodos descritos en la presente memoria, el enfriamiento de la biomasa puede incluir poner en contacto la biomasa con un fluido, tal como un gas, a una temperatura por debajo de la primera o segunda temperatura, tal como nitrógeno gaseoso a aproximadamente -196 °C (77 K). Incluso se puede utilizar agua, tal como agua a una temperatura por debajo de la temperatura ambiente nominal (p.ej., 25 grados Celsius).

55 La materia prima de biomasa puede ser tratada a una primera temperatura con radiación ionizante durante un tiempo suficiente y/o una dosis suficiente, tal como de aproximadamente 1 segundo a aproximadamente 10 segundos a una tasa de dosis de aproximadamente 0,5 Mrad/s a aproximadamente 5 Mrad/s, para elevar la materia prima de biomasa a una segunda temperatura más alta que la primera temperatura. Después de aplicar la radiación, la biomasa puede ser enfriada por debajo de la segunda temperatura.

En algunas realizaciones, un método para cambiar una estructura molecular y/o supramolecular de una materia prima de biomasa incluye opcionalmente pretratar la materia prima de biomasa reduciendo una o más dimensiones

de trozos individuales de la materia prima de biomasa y aplicar radiación ionizante que comprende electrones a la materia prima de biomasa. En tales realizaciones, la materia prima de biomasa a la que se aplica la radiación ionizante tiene una densidad aparente menor que aproximadamente $0,35 \text{ g/cm}^3$, tal como menor que aproximadamente 0,3, 0,25, 0,20 o menor que aproximadamente $0,15 \text{ g/cm}^3$ durante la aplicación de la radiación ionizante. En tales realizaciones, la materia prima de biomasa puede ser enfriada, y después se puede aplicar radiación ionizante a la biomasa enfriada. En algunas realizaciones ventajosas, la materia prima de biomasa es o incluye fibras y/o partículas discretas que tienen una dimensión máxima no mayor que aproximadamente 0,5 mm, tal como no mayor que aproximadamente 0,25 mm, no mayor que aproximadamente 0,1 mm, no mayor que aproximadamente 0,05 mm, o no mayor que aproximadamente 0,025 mm.

Se hace referencia ahora particularmente a las FIGS. 11B y 11C, que muestran un dispositivo 1170 que genera, trata, transporta e irradia material de biomasa (blindaje no ilustrado en los dibujos). En el funcionamiento, la lámina 1173 de papel, p.ej., restos de lámina de papel Kraft blanqueado, es suministrada desde un rodillo 1172 y entregada a un aparato 1174 fibrizador, tal como una cizalladora rotatoria. La lámina 1173 es convertida en el material fibroso 1112 y es entregada a una zona 1180 de carga de fibra por el transportador 1178. Si se desea, las fibras del material fibroso pueden ser separadas, p.ej., por cribado, en fracciones que tienen diferentes relaciones L/D. En algunas realizaciones, el material fibroso 1112 de generalmente una densidad aparente baja y, ventajosamente, secciones transversales finas, es entregado continuamente a la zona 1180, y en otras realizaciones, el material fibroso es entregado en lotes. Un ventilador 1182 en el bucle 1184 está posicionado adyacente a la zona 1180 de carga de fibra y es capaz de mover un medio fluido, p.ej., aire, a una velocidad y volumen suficiente para hacer circular neumáticamente el material fibroso 1112 en una dirección indicada por la flecha 1188 a través del bucle 1184.

En algunas realizaciones, la velocidad del aire que viaja en el bucle es suficiente para dispersar uniformemente y transportar el material fibroso alrededor del bucle 1184 entero. En algunas realizaciones, la velocidad del flujo es mayor que 762 metros/minuto (2.500 pies/minuto), p.ej., 1.524 metros minuto (5.000 pies/minuto), 1.829 metros/minuto (6.000 pies/minuto) o más, p.ej., 2.286 metros/minuto (7.500 pies/minuto) o 2.591 metros/minuto (8.500 pies/minuto).

El material 1112 fibroso arrastrado que atraviesa el bucle pasa por una zona 1190 de aplicación, que forma parte del bucle 1184. Aquí, se aplican cualesquiera aditivos deseados descritos en la presente memoria, tales como un líquido, tal como agua, tal como agua acidificada o hecha básica. En el funcionamiento, la zona 1190 de aplicación aplica un aditivo, tal como una solución 1196 líquida al material fibroso circulante por medio de las boquillas 98, 99 y 11100. Cuando se aplica un líquido, las boquillas producen un rocío atomizado o neblina, que impacta en las fibras según pasan las fibras por la proximidad de las boquillas. La válvula 11102 funciona para controlar el flujo de líquido a las boquillas 1198, 1199 y 11100 respectivas. Después de que se ha aplicado una cantidad deseada de aditivo, la válvula 11102 se cierra.

En algunas realizaciones, la zona 1190 de aplicación es de 0,61 a 30,48 metros (dos a cien pies) de largo o más, p.ej., 38,10 metros, 45,72 metros, 76,20 metros (125 pies, 150 pies, 250 pies) de largo o más, p.ej., 152,40 metros (500 pies) de largo. Zonas de aplicación más largas permiten la aplicación sobre un periodo de tiempo más largo durante el paso de material fibroso a través de la zona 1190 de aplicación. En algunas realizaciones, las boquillas están espaciadas de aproximadamente 0,91 metros (3 pies) a aproximadamente 1,22 metros (4 pies) a lo largo de la longitud del bucle 1184.

Según se mueve el material fibroso en el bucle 1184 y a través de la porción irradiante del bucle 11107 que incluye un cuerno 11109 para entregar radiación ionizante, se aplica radiación ionizante al material fibroso (el blindaje no se muestra).

Según se mueve el material fibroso irradiado alrededor del bucle 1184, se enfría por la acción de gases, tales como aire, que circulan a altas velocidades en el bucle, y es bañado en gases reactivos, tales como ozono y/o óxidos de nitrógeno, que son producidos por la acción de la radiación ionizante sobre los gases circulantes, tales como aire. Después de pasar a través de la porción 11107 irradiante, un fluido refrigerador, tal como un líquido (p.ej., agua) o un gas, tal como nitrógeno líquido a -196°C (77 K) puede ser inyectado en el bucle 1184 para ayudar en el enfriamiento del material fibroso. Este procedimiento puede ser repetido más de una vez si se desea, p.ej., 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 veces o más, p.ej., 15 veces, para entregar la dosis deseada al material fibroso. Aunque, como se muestra, el eje largo del cuerno está a lo largo de la dirección del flujo, en algunas implementaciones el eje largo del cuerno es transversal a la dirección del flujo. En algunas implementaciones, se utiliza un haz de electrones como fuente de radiación ionizante principal y rayos X como fuente de radiación ionizante secundaria. Los rayos X pueden ser generados teniendo una diana de metal, tal como una diana 11111 de tantalio, en el interior del bucle 1184 de tal modo que cuando los electrones chocan con la diana, se emiten rayos X.

Después de que se ha entregado una dosis deseada al material fibroso, el material fibroso puede ser retirado del bucle 1184 por medio de un separador 11112, que está conectado selectivamente al bucle 1184 por la sección 11114 y la válvula 11116 de compuerta. Cuando la válvula 11116 se abre, otra válvula se abre también para permitir que entre aire en el bucle 1184 para compensar el aire que sale a través del separador 11112.

Se hace referencia ahora particularmente a la FIG. 11D, que muestra un dispositivo 11121 de lecho fluidizado

irradiador de materiales fibrosos, con blindaje. El material fibroso en un fluido, tal como un gas, tal como aire a presión, es entregado a un recipiente 11123 de contención blindado por medio de la tubería 11125 y hacia una porción 11127 de lecho fluidizado blindada. Las corrientes 11131 a contracorriente de fluido, tal como un gas, y las corrientes 11133 transversales de fluido, tal como un gas, que es el mismo o diferente que un fluido entregado a contracorriente, se combinan para causar turbulencia en la porción del lecho. Se aplica radiación ionizante a la porción de lecho fluidizado según es transportado el material fibroso a través de la porción de lecho. Por ejemplo, como se muestra, se pueden utilizar tres haces de electrones de tres máquinas 11135, 11136 y 11137 Rhodotron®. Ventajosamente, cada haz puede penetrar en el lecho fluidizado a diferente profundidad, y/o cada haz puede emitir electrones de diferente energía, tal como 1, 3 y 5 MeV. Según se mueve el material fibroso irradiado a través del sistema, es enfriado por la acción de gases, tales como aire, que circulan a altas velocidades en el sistema, y es bañado en gases reactivos, tales como ozono y/o óxidos de nitrógeno, que son producidos por la acción de la radiación ionizante sobre los gases circulantes, tales como aire. Si se desea, el procedimiento se puede repetir un número deseado de veces hasta que el material fibroso ha recibido una dosis deseada. Aunque el lecho fluidizado ha sido ilustrado de tal modo que su eje largo es horizontal con el suelo, en otras implementaciones, el eje largo del lecho es perpendicular al suelo, con lo que el material fibroso cae bajo la influencia de la gravedad.

Se hace referencia ahora particularmente a la FIG. 11E, que muestra otro dispositivo 11140 transportador e irradiador de materiales fibrosos sin blindaje. El material 11144 fibroso es entregado desde un contenedor 11142 a un primer transportador 11150 a un primer nivel por encima del suelo, y después el material es transferido a un segundo transportador 11152 a una altura más baja que el primer transportador. El borde 11160 posterior del primer transportador y el borde 11161 delantero del segundo transportador 11152 definen un hueco con un espacio S. Por ejemplo, el espacio S puede ser de entre 10,16 centímetros (4 pulgadas) y aproximadamente 60,96 centímetros (24 pulgadas). El material 11144 tiene suficiente momento para una caída libre bajo la gravedad y para ser capturado después por el segundo transportador 11152 sin caer en el hueco. Durante la caída libre, se aplica radiación ionizante al material. Esta disposición puede ser ventajosa en que es menos probable que la radiación ionizante dañe el sistema transportador, porque no es contactado directamente por la radiación.

Después de pasar a través de la porción irradiante, se puede aplicar al material un fluido refrigerante, tal como un líquido (p.ej., agua) o un gas, tal como nitrógeno líquido a -196°C (77 K) para ayudar en el enfriamiento del material fibroso. Este procedimiento puede ser repetido más de una vez si se desea, p.ej., 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 veces o más, p.ej., 15 veces, para entregar la dosis deseada al material fibroso. Aunque, como se muestra, el eje largo del cuerno es transversal a la dirección del flujo del material, son posibles otras disposiciones del haz. En algunas implementaciones, se utiliza un haz de electrones como fuente de radiación ionizante principal y rayos X como fuente de radiación ionizante secundaria. Los rayos X pueden ser generados teniendo una diana de metal, tal como una diana de tantalio, en el hueco sobre el lado opuesto del material, de tal modo que según pasan los electrones a través del material chocan con la diana, generando rayos X.

En un ejemplo del uso de radiación con oxidación como pretratamiento, se usan como materia prima envases de zumo de 1,89 litros (medio galón) hechos de cartón Kraft blanco polirrevestido no impreso que tiene una densidad aparente de $0,32\text{ g/cm}^3$ (20 lbs/pie³). Los cartones son aplanados y después alimentados a una secuencia de tres trenes de trituradoras-cizalladoras dispuestos en serie, con la salida de la primera cizalladora alimentada como entrada a la segunda trituradora, y la salida de la segunda cizalladora alimentada como entrada a la tercera trituradora. El material fibroso producido puede ser rociado con agua y procesado a través de una granuladora que funciona a temperatura ambiente. Los gránulos densificados pueden ser colocados en una ampolla de vidrio que se sella bajo una atmósfera de aire. Los gránulos en la ampolla son irradiados con radiación gamma durante aproximadamente 3 horas a una tasa de dosis de aproximadamente 1 Mrad por hora para proporcionar un material irradiado en el que la celulosa tiene un peso molecular más bajo que el material de partida Kraft fibroso.

Combinaciones de dispositivos de irradiación, sonicación y oxidación

En algunas realizaciones, puede ser ventajoso combinar dos o más dispositivos de irradiación, sonicación, pirolización y/o oxidación independientes en una única máquina híbrida. Para tal máquina híbrida, se pueden realizar procesos múltiples en yuxtaposición estrecha o incluso simultáneamente, con el beneficio de aumentar el rendimiento del pretratamiento y potenciales ahorros de costes.

Por ejemplo, considérense los procedimientos de irradiación de haz de electrones y sonicación. Cada procedimiento independiente es eficaz en disminuir el peso molecular medio de material celulósico en un orden de magnitud o más, y en varios órdenes de magnitud cuando se realizan en serie.

Ambos procedimientos de irradiación y sonicación pueden ser aplicados usando un dispositivo híbrido de haz de electrones/sonicación ilustrado en la FIG. 25. El dispositivo 2500 híbrido de haz de electrones/sonicación está representado por encima de una cubeta poco profunda (profundidad ~ 3-5 cm) de una suspensión de material 2550 celulósico dispersado en un medio oxidante, acuoso, tal como peróxido de hidrógeno o peróxido de carbamida. El dispositivo 2500 híbrido tiene una fuente 2510 de energía, que suministra energía tanto al emisor 2540 de haces de electrones como a los cuernos 2530 de sonicación.

El emisor 2540 de haces de electrones genera haces de electrones, que pasan a través de un dispositivo 2545

enfocador de haces de electrones para impactar con la suspensión 2550 que contiene material celulósico. El dispositivo enfocador de haces de electrones puede ser un escáner que barre un haz sobre un intervalo de hasta aproximadamente 1,83 metros (6 pies) en una dirección aproximadamente paralela a la superficie de la suspensión 2550.

- 5 En cada lado del emisor 2540 de haces de electrones hay cuernos 2530 de sonicación, que entregan energía de ondas ultrasónicas a la suspensión 2550. Los cuernos 2530 de sonicación terminan en una pieza 2535 terminal desmontable que está en contacto con la suspensión 2550.

10 Los cuernos 2530 de sonicación están en riesgo de daño por exposición residual a largo plazo a la radiación de haces de electrones. Por tanto, los cuernos pueden ser protegidos con un blindaje 2520 estándar, p.ej., hecho de plomo o una aleación que contiene metales pesados tal como metal Lipowitz, que es impermeable a la radiación de haces de electrones. Se deben tomar precauciones, no obstante, para asegurar que la energía ultrasónica no sea afectada por la presencia del blindaje. Las piezas 2535 terminales desmontables están construidas del mismo material y unidas a los cuernos 2530, se usan para que estén en contacto con el material 2550 celulósico, y se espera que sean dañadas. Por consiguiente, las piezas 2535 terminales desmontables están construidas para ser fácilmente reemplazables.

15 Un beneficio adicional de tal procedimiento simultáneo de haz de electrones y ultrasonidos es que los dos procedimientos tienen resultados complementarios. Con irradiación de haz de electrones sola, una dosis insuficiente puede dar como resultado reticulación de algunos de los polímeros en el material celulósico, lo que disminuye la eficacia del procedimiento de despolimerización global. También se puede usar dosis más bajas de irradiación de haz de electrones y/o ultrasonidos para conseguir un grado similar de despolimerización al conseguido usando irradiación de haz de electrones y sonicación por separado.

20 También se puede combinar un dispositivo de haces de electrones con uno o más dispositivos rotor-estator, de alta frecuencia, que se pueden usar como una alternativa a dispositivos de energía ultrasónica, y realizan una función similar.

- 25 Son también posibles combinaciones adicionales de dispositivos. Por ejemplo, se puede combinar un dispositivo de radiación ionizante que produce radiación gamma emitida desde, p.ej., gránulos de ^{60}Co , con una fuente de haces de electrones y una fuente de ondas ultrasónicas.

30 Los dispositivos de radiación para pretratar biomasa discutidos anteriormente también se pueden combinar con uno o más dispositivos que realizan una o más secuencias de procesamiento por pirólisis. Tal combinación puede, de nuevo, tener la ventaja de un rendimiento más alto. No obstante, se debe observar precaución, ya que pueden haber requisitos contradictorios entre algunos procedimientos de radiación y la pirólisis. Por ejemplo, dispositivos de radiación ultrasónicos pueden requerir que la materia prima esté sumergida en un medio oxidante líquido. Por otra parte, como se discutió previamente, puede ser ventajoso que una muestra de material prima que sufre pirólisis sea de un contenido de humedad particular. En este caso, los nuevos sistemas miden automáticamente y monitorizan un contenido de humedad particular y regulan el mismo. Además, algunos o todos los dispositivos anteriores, especialmente el dispositivo de pirólisis, pueden ser combinados con un dispositivo de oxidación como se discutió previamente.

Productos/co-productos

40 En algunas realizaciones, la presente invención proporciona materiales generados usando los métodos descritos en la presente memoria. En algunos casos, tales materiales se pueden usar en ausencia de materiales añadidos a la biomasa pre- o post-procesamiento, p.ej., materiales que no están presentes naturalmente en la biomasa. En tales casos, los materiales contendrán materiales que aparecen naturalmente, p.ej., derivados de biomasa. Alternativamente o además, los materiales generados usando los métodos descritos en la presente memoria pueden ser combinados con otros materiales naturales y/o sintéticos, p.ej., materiales que no están presentes naturalmente en la biomasa.

45 Los métodos descritos en la presente memoria se pueden usar para aumentar la disponibilidad de uno o más componentes contenidos en la biomasa (p.ej., biomasa no procesada y/o procesada parcialmente). Los componentes con disponibilidad aumentada pueden ser obtenidos más fácilmente (p.ej., extraídos y/o aislados), usados más fácilmente, y/o pueden ser más fácilmente disponibles para un animal (p.ej., digeridos o absorbidos por un animal). Componentes con disponibilidad aumentada pueden incluir, por ejemplo, componentes que aparecen naturalmente en la biomasa y/o componentes que son generados usando los métodos descritos en la presente memoria (p.ej., especies reticuladas, especies de bajo peso molecular). Tales componentes pueden aumentar el valor de la biomasa. Por ejemplo, las especies de bajo peso molecular son hidrolizadas más fácilmente en el estómago que biomasa no procesada. Por tanto, se puede usar biomasa que contiene especies de bajo peso molecular disponibles más fácilmente como una fuente de alimento más valiosa, p.ej., para animales o insectos, o para uso en agricultura, acuicultura, p.ej., el cultivo de peces, plantas acuáticas, algas marinas y algas.

55 En algunas realizaciones, los métodos descritos en la presente memoria pueden esterilizar biomasa para hacer a los materiales adecuados para el consumo por animales y/o seres humanos (p.ej., ingestión o implantación), por

insectos, o para uso en agricultura, acuicultura, p.ej., el cultivo de peces, plantas acuáticas, algas marinas y algas. En algunas realizaciones, el tratamiento de irradiación de material celulósico hará estéril a la biomasa y, por lo tanto, adecuada para el consumo en animales y/o seres humanos (p.ej., ingestión o implantación). La celulosa irradiada también se puede usar en otros productos o co-productos.

- 5 En algunas realizaciones, los métodos descritos en la presente memoria pueden procesar biomasa hasta un material destinado al consumo (p.ej., ingestión o implantación) en seres humanos y/o animales no humanos. De manera general, tales materiales deben estar esencialmente libres de material infeccioso (p.ej., material patógeno y/o no patógeno), toxinas y/o otros materiales (p.ej., esporas bacterianas y fúngicas, insectos y larvas) que puedan ser dañinos para el ser humano y/o animal. Se pueden usar métodos conocidos en la técnica y/o descritos en la
10 presente memoria para retirar, inactivar y/o neutralizar material infeccioso (p.ej., material patógeno y/o no patógeno) y/o toxinas que puedan ser dañinos para los seres humanos y/o animales o que sean generalmente indeseables en un material destinado al uso en seres humanos y/o animales. Por ejemplo, se pueden usar los métodos para retirar, inactivar y/o neutralizar material infeccioso que pueda estar presente en la biomasa. Tales materiales incluyen, p.ej.,
15 bacterias patógenas y no patógenas, virus, hongos, parásitos, y priones (p.ej., proteínas infecciosas). En algunos casos, los métodos descritos en la presente memoria se pueden usar para retirar, inactivar y/o neutralizar toxinas, p.ej., toxinas bacterianas y toxinas vegetales. Alternativamente o además, los métodos descritos en la presente memoria se pueden usar para retirar, inactivar y/o neutralizar materiales que puedan estar presentes en la biomasa que no sean necesariamente dañinos, pero sean indeseables en un material para ser usado en seres humanos y/o
20 animales o en agricultura o acuicultura. Materiales ilustrativos incluyen, pero no se limitan a, esporas bacterianas y fúngicas, insectos y larvas.

- En algunas realizaciones, los métodos descritos en la presente memoria se pueden usar para producir los productos y co-productos y productos de bioconversión descritos en la presente memoria en entornos exigentes. Tales entornos pueden incluir entornos que presentan limitaciones espaciales y/o condiciones ambientales extremas, por
25 ejemplo, ubicaciones con excesivo calor o frío, ubicaciones con radiación excesiva, ubicaciones con contaminantes excesivos, y/o ubicaciones con aporte de oxígeno o luz solar limitados. En algunas realizaciones, tales entornos pueden incluir, pero no se limitan a, por ejemplo, a bordo de naves espaciales, a bordo de estaciones espaciales (p.ej. ubicaciones extraterrestres), a bordo de submarinos (p.ej., submarinos nucleares) y otras embarcaciones marinas o barcasas o plataformas diseñadas para permanecer en el mar durante periodos extensos de tiempo, ubicaciones submarinas (p.ej., instalaciones submarinas civiles y/o militares), entornos desérticos, entornos polares,
30 entornos a bajo cero (p.ej., ubicaciones congeladas permanentemente), entornos elevados (p.ej., donde el aporte de oxígeno puede ser limitado y/o están presentes temperaturas extremas), y ubicaciones remotas (p.ej., ubicaciones autosuficientes).

Alimentos

- Los métodos preparan un material con un valor nutricional más alto (p.ej., energía más alta (p.ej., energía alimenticia
35 más disponible para la digestión) y/o disponibilidad de nutrientes) cuando el material es ingerido por un animal, p.ej., en comparación con un material nativo o biomasa no procesada. Tales métodos no aumentarán necesariamente la cantidad total de energía o nutrientes presentes en una cantidad fijada (p.ej., peso) de un tipo específico de biomasa procesada en comparación con la misma cantidad y tipo de biomasa no procesada. Más bien, los métodos descritos en la presente memoria se pueden usar para aumentar el valor nutricional (p.ej., la disponibilidad de energía y/o uno
40 o más nutrientes) en una cantidad fijada (p.ej., peso) de un tipo específico de biomasa procesada en comparación con la misma cantidad y tipo de biomasa no procesada.

- El aumento de la disponibilidad de energía alimenticia de un tipo particular de biomasa se puede usar para aumentar la ingesta de energía metabolizable (MEI, por sus siglas en inglés) de esa biomasa. Se conocen en la técnica métodos para medir la energía de los alimentos. La MEI se calcula típicamente multiplicando el número de
45 kilocalorías o kilojulios contenidos en un artículo alimenticio por 85%. En algunas realizaciones, los métodos descritos en la presente memoria se pueden usar para aumentar la MEI de la biomasa.

Los métodos para comparar la MEI de biomasa procesada y no procesada pueden incluir, por ejemplo, alimentar cantidades iguales de biomasa procesada o no procesada al menos a dos grupos distintos de uno o más animales, y medir la respuesta de crecimiento de los animales.

- 50 La disponibilidad de los nutrientes puede ser evaluada realizando un ensayo de digestión. Los protocolos para realizar ensayos de digestión se conocen en la técnica. Por ejemplo, se pueden determinar los niveles de nutriente totales en biomasa procesada y/o no procesada. Pueden ser dadas como alimento cantidades iguales de biomasa procesada o no procesada al menos a dos grupos distintos de uno o más animales. Se determina después la pérdida fecal de uno más nutrientes para un periodo de tiempo definido. La disponibilidad de nutrientes aumentada se define como cantidades más bajas de uno o más nutrientes en las heces de los animales. Alternativamente o
55 además, la disponibilidad de nutrientes puede ser evaluada midiendo y comparando los niveles de uno o más nutrientes en la sangre de animales alimentados con biomasa procesada y no procesada.

En algunas realizaciones, el valor nutricional de la biomasa puede ser aumentado aumentando la digestibilidad de uno o más de energía alimenticia, carbohidratos, azúcares, proteínas, grasas (saturadas, monoinsaturadas y

poliinsaturadas), colesterol, fibra dietética, vitaminas (p.ej., vitamina A, E, C, B6, B12, caroteno, tiamina, riboflavina y niacina), minerales (p.ej., calcio, fósforo, magnesio, hierro, cinc, cobre, potasio, selenio y sodio), y aceites cuando la biomasa es ingerida por un animal.

5 En general, los métodos descritos en la presente memoria pueden ser seleccionados y/o optimizados para seleccionar un método o combinación de métodos que dé como resultado el material más fácilmente soluble, absorbible y/o digerible, p.ej., con una disponibilidad de nutrientes deseada (p.ej., una disponibilidad de nutrientes (p.ej., proteínas, aminoácidos, carbohidratos, minerales, vitaminas, lípidos grasos y aceites) más alta que el material no procesado nativo), que se pueda usar en seres humanos y/o animales como alimento. Debido a que los materiales de biomasa están fácilmente disponibles y son baratos, los materiales que resultan de tales métodos
10 proporcionarán un alimento económico y reducirán los desechos.

En algunas realizaciones, los materiales y métodos descritos en la presente memoria se pueden usar en la producción de un alimento, p.ej., alimentos agrícolas y alimentos adecuados para ingestión por mamíferos, aves y/o peces. Tales animales incluyen, pero no se limitan a, animales para la producción de alimentos, animales domésticos, animales de zoológico, animales de laboratorio y/o seres humanos.

15 En algunas realizaciones, los materiales producidos por los métodos descritos en la presente memoria que están destinados al uso como alimentos (p.ej., en seres humanos y/o animales) pueden ser procesados adicionalmente, p.ej., hidrolizados. Se conocen en la técnica métodos de hidrolización, e incluyen, por ejemplo, el uso de ácidos y/o bases para reducir el peso molecular de los sacáridos.

20 En algunas realizaciones, los materiales producidos por los métodos descritos en la presente memoria que están destinados al uso como alimentos (p.ej., en seres humanos y/o animales) pueden ser procesados adicionalmente para aumentar la esterilidad de los materiales y/o retirar, inactivar y/o neutralizar materiales que puedan estar presentes en la biomasa, p.ej., material infeccioso (p.ej., material patógeno y/o no patógeno), toxinas y/o otros materiales (p.ej., esporas bacterianas y fúngicas, insectos y larvas). En general, los métodos descritos en la presente memoria se pueden seleccionar y/o optimizar para promover la óptima retirada, inactivación y/o
25 neutralización de materiales que puedan ser indeseables.

Alimentos animales

Se producen anualmente más de 600 millones de toneladas de alimentos animales en todo el mundo, con una tasa de crecimiento anual de aproximadamente 2%. La agricultura es uno de los mayores consumidores de alimentos animales, gastando los granjeros de Estados Unidos más de veinte mil millones de dólares por año en alimentos agrícolas para animales productores de alimentos. Otros consumidores de alimentos incluyen, por ejemplo, propietarios de mascotas, zoológicos y laboratorios que crían animales para estudios de investigación.

30 En general, un alimento animal debe cumplir o superar los requisitos específicos de un animal diana, p.ej., para mantener o mejorar la salud de un tipo específico de especie de animal, promover el crecimiento de un animal diana (p.ej., ganancia de tejidos), y/o para promover la producción de alimentos. Los alimentos animales mejorados (p.ej., alimentos más solubles, absorbibles y/o digeribles) promoverán o apoyarán estos mismos efectos usando una cantidad más pequeña de alimento y/o por un coste más bajo.

Las materias primas usadas actualmente en alimentos preparados comercialmente incluyen granos para pienso (p.ej., maíz, soja, sorgo, avena y cebada). La industria del pienso es el mayor comprador del maíz, granos para pienso y harina de soja de EE.UU. Sin embargo, con la escalada de precios de granos para pienso tales como el maíz, se desean alternativas más baratas. El alimento disponible en más abundancia es la biomasa, p.ej., material celulósico. En algunas realizaciones, los métodos descritos en la presente memoria aumentan la disponibilidad de nutrientes de cualquiera de estos materiales, p.ej., para mantener o mejorar la salud de un tipo específico o especie de animal, promover el crecimiento de un animal diana (p.ej., ganancia de tejidos), y/o promover la producción de alimentos. La baja disponibilidad de nutrientes de los alimentos usados habitualmente (p.ej., heno y pastos) es atribuida en gran medida al alto contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina de tal material. A diferencia de los seres humanos, que no pueden digerir la celulosa, los herbívoros, p.ej., rumiantes, son capaces de digerir la celulosa, al menos parcialmente, mediante un proceso conocido como rumia. Este proceso, sin embargo, es ineficiente y requiere múltiples rondas de regurgitación. Por ejemplo, los rumiantes sólo digieren aproximadamente 30-50 por ciento de la celulosa y hemicelulosa. Los métodos descritos en la presente memoria aumentan la
40 disponibilidad de nutrientes o el valor nutricional de cualquiera de estos materiales, p.ej., para mantener o mejorar la salud de un tipo específico o especie de animal, promover el crecimiento de un animal diana (p.ej., ganancia de tejidos), y/o promover la producción de alimentos. Los métodos descritos en la presente memoria usan cantidades reducidas de alimentos, a un coste más bajo, y/o con menos residuos.

De manera general, aumentar la disponibilidad de nutrientes de un alimento animal reducirá la cantidad de pienso requerido para alimentar a un animal para que el animal reciba la misma cantidad de energía. Por consiguiente, el animal requerirá menos alimento, proporcionando así un alimento más económico.

Se han probado diversas técnicas para aumentar la disponibilidad de nutrientes de un alimento, con éxito limitado. Tales técnicas incluyen el uso de enzimas, tales como enzimas celulósicas, para romper el material celulósico en

- oligosacáridos de cadena más corta, que pueden ser digeridos más fácilmente. Aunque se ha usado en Europa y Australia, esta técnica es cara y no se usa ampliamente en países en desarrollo. Otras técnicas incluyen retirar el forraje para impedir la pérdida de hojas, retirada de aire, tratar físicamente el material (p.ej., compactar el material celulósico, reducir el tamaño de partícula, y moler finamente), tratamiento químico y sobrealimentación.
- 5 Adicionalmente, los alimentos compuestos en gran medida por material celulósico son suplementados frecuentemente con sistemas nutrientes (p.ej., premezclas). Estos sistemas nutrientes son diseñados típicamente para proporcionar los requerimientos nutricionales de un animal diana. A pesar de asegurar que los animales reciben los nutrientes requeridos, tales sistemas no hacen un uso eficaz del material celulósico.
- Los métodos descritos en la presente memoria proporcionan métodos para mejorar la disponibilidad de nutrientes o el valor nutricional de la biomasa (p.ej., modificando (p.ej., aumentando, disminuyendo o manteniendo) la solubilidad de la biomasa y/o cambiando la estructura (p.ej., funcionalizando) de los materiales nativos, y/o alterando (p.ej., disminuyendo) el peso molecular y/o la cristalinidad), como se describió anteriormente, produciendo de este modo un alimento más valioso. En algunas realizaciones, los métodos descritos en la presente memoria se pueden usar para aumentar la disponibilidad de nutrientes de la biomasa rompiendo el material celulósico (p.ej., celulosa) en
- 10 sacáridos de cadena más corta y/o monosacáridos. Al mejorar la disponibilidad de nutrientes de la biomasa, estos métodos darán como resultado un alimento más eficaz que se puede usar para mantener o mejorar la salud de un tipo específico o especie de animal, promover el crecimiento de un animal diana (p.ej., ganancia de tejidos), y/o promover la producción de alimentos.
- En algunas realizaciones, un alimento animal útil puede incluir biomasa procesada parcialmente, p.ej., biomasa que ha sido cizallada usando los métodos descritos en la presente memoria. Tal biomasa procesada parcialmente puede ser hidrolizada más fácilmente en el estómago de un animal.
- En algunas realizaciones, los métodos descritos en la presente memoria se pueden usar para procesar biomasa para generar los materiales descritos en la presente memoria. Estos materiales pueden incluir, pero no se limitan a, p.ej., polisacáridos con una longitud mayor que 1.000 unidades de sacárido; aproximadamente 1.000 unidades de
- 25 sacárido de azúcar; aproximadamente 800-900 unidades de sacárido; aproximadamente 700-800 unidades de sacárido; aproximadamente 600-700 unidades de sacárido; aproximadamente 500-600 unidades de sacárido; aproximadamente 400-500 unidades de sacárido; aproximadamente 300-400 unidades de sacárido; aproximadamente 200-300 unidades de sacárido; aproximadamente 100-200 unidades de sacárido; 100, 90, 80, 70, 60, 50, 45, 40, 35, 30, 25, 20, 19, 18, 17, 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2 y 1 unidades de sacárido.
- En algunas realizaciones, los métodos producen disacáridos (p.ej., sacarosa, lactosa, maltosa, trehalosa y celobiosa). En algunas realizaciones, los métodos producen monosacáridos (p.ej., glucosa (dextrosa), fructosa, galactosa, xilosa y ribosa). Estas moléculas de cadena más corta serán absorbidas más fácilmente por un animal y de este modo aumentarán la disponibilidad de nutrientes de la biomasa. Por consiguiente, los métodos y materiales descritos en la presente memoria se pueden usar como alimentos o en la producción de alimentos.
- En algunas realizaciones, los materiales descritos en la presente memoria se pueden usar como alimento, p.ej., alimentos agrícolas y/o alimentos adecuados para ingestión por mamíferos, aves y/o peces. Alternativamente o además, los métodos descritos en la presente memoria se pueden usar para procesar una materia prima adecuada para el uso como o en un alimento animal.
- Materiales que se pueden procesar de manera útil usando los métodos descritos en la presente memoria incluyen materiales celulósicos y lignocelulósicos, p.ej. productos cultivables, cosechas, pastos, plantas y/o granos para pienso, que incluyen por ejemplo, pero no se limitan a, material vegetal (p.ej., forraje tal como harina de alfalfa, heno, grama común, pasto dulce, planta de maíz y heno de soja), granos (p.ej., cebada, maíz (incluyendo maíz orgánico y modificado genéticamente), avena, arroz, sorgo y trigo), productos proteínicos vegetales (p.ej., harina de colza, pastas y harinas de semilla de algodón), harina de alazor y pienso y harina de soja (incluyendo soja orgánica y modificada genéticamente)), subproductos de granos procesados (p.ej., productos de destilerías, granos secos de
- 40 cerveceras, gluten de maíz, pasta y harina de germen de sorgo, pieles de cacahuete y fibra de trigo), fruta y subproductos de fruta (p.ej., pulpa de cítricos secos, bagazo de manzana y pulpa de pectina), melazas (p.ej., melazas de remolacha, de cítricos, almidón y caña de azúcar), cáscaras de almendra, vainas molidas, cáscaras de alforfón, legumbres y subproductos de legumbres, y otros subproductos de cosechas. Otras materias primas incluyen, pero no se limitan a, alfalfa, cebada, loto corniculado, brassicas (p.ej., chau moellier, kale, colza (canola), rutabaga (nabicol) y nabo), trébol (p.ej., trébol alsike, trébol rojo, trébol subterráneo y trébol blanco), pasto (p.ej., hierba de avena descollada, festuca, pasto de Bermudas, bromus, triguillo del agua, poa de los prados, pasto ovillo, raigrás y pasto Timothy), maíz (borona), mijo, avena, sorgo y sojas. En algunas realizaciones, la materia prima puede ser desechos animales (p.ej., desechos de rumiantes) o desechos humanos.
- En algunas realizaciones, el alimento contiene solamente los materiales producidos usando los métodos descritos en la presente memoria. Alternativamente o además, el alimento contiene materias primas adicionales (que incluyen materias primas no tratadas usando los métodos descritos en la presente memoria) y aditivos. Tales alimentos pueden ser formulados para cumplir los requerimientos específicos de un animal diana, p.ej., para mantener o mejorar la salud de un tipo específico o especie de animal, promover el crecimiento de un animal diana, ganancia de
- 55 tejidos, y/o promover la producción de alimentos. En algunos casos, un alimento puede ser formulado para cumplir

los requerimientos nutricionales de un animal diana por el menor coste (la "ración de menor coste"). Los métodos para determinar la formulación de un alimento y la ración de menor coste son bien conocidos por los expertos en la técnica (véase, por ejemplo, Pesti y Miller, *Animal Feed Formulation: Economic and Computer Applications* (Plant and Animal Science), Springer Publishing, 28 de febrero de 1993, y la dirección de internet liveinformatics.com).

- 5 Materias primas y aditivos adicionales que se pueden combinar de manera útil con un material producido usando los métodos descritos en la presente memoria incluyen, pero no se limitan a, productos animales (p.ej., harina de carne, tancaje de harina de carne, harina de carne y huesos, harina de carne de ave, harina de subproductos animales, sangre animal deshidratada, harina de sangre, harina de plumas, harina de cáscara de huevo, ave de corral entero hidrolizado, pelo hidrolizado y médula ósea), residuos animales, productos y subproductos marinos (p.ej., krill, partes y harina de pescado, harina de residuos de pescado, partes y harina de cangrejo, partes y harina de gamba, aceite de pescado, hígado de pescado y harina glandular, y otros subproductos de pescado), productos lácteos (p.ej., leche de vaca deshidratada, caseína, productos del suero y queso deshidratado), grasas y aceites (p.ej., grasa animal, grasa o aceite vegetal, y grasas hidrolizadas), desechos de comida de restauración (p.ej., desechos de comida de restaurantes, panaderías y cafeterías), y comida contaminada/adulterada tratada para destruir patógenos.
- 10
- 15 Otros aditivos incluyen antibióticos (p.ej., tetraciclinas, macrólidos, fluoroquinolonas y estreptograminas), aromatizantes, avenas de cerveceras, subproductos de fabricación de fármacos (p.ej., micelio gastado y productos de fermentación), minerales y minerales traza (p.ej., carbonilla de huesos, carbonato de calcio, creta, sales de hierro, sales de magnesio, harina de concha de ostra y sulfato), minerales proteínados (p.ej., selenio y cromo proteínados), vitaminas (p.ej., vitamina A, vitamina D, vitamina B₁₂, niacina y betaína), prebióticos (p.ej., manano-oligosacáridos (MOS), fructo-oligosacáridos y oligo-dextrano mixto), aromas (p.ej., concentrado de gel de aloe vera, jengibre, pimienta e hinojo), ácido acético, ácido sulfúrico, sales de aluminio, dextranos, glicerina, cera de abejas, sorbitol, riboflavina, conservantes (p.ej., hidroxianisol butilado y bisulfito de sodio), nutracéuticos (p.ej., productos herbales y botánicos), aminoácidos, proteína sobrepasante ("by pass"), urea, melazas, ácidos grasos (p.ej., ácido acético, propiónico y butírico), y modificadores metabólicos (p.ej., somatotropinas y agonistas adrenérgicos). En algunos casos, los materiales producidos usando los métodos descritos en la presente memoria pueden ser combinados o
- 20
- 25 incorporados en un bloque de minerales, melazas y urea (UMMB).

Los alimentos preparados usando los materiales descritos en la presente memoria pueden estar en una forma adecuada para la ingestión, p.ej., por un animal diana. En algunos casos el alimento puede ser un sólido. Alternativamente o además, el alimento puede estar en una forma líquida, p.ej., el alimento puede estar en una suspensión líquida o solución en un disolvente adecuado. Formas ilustrativas incluyen, pero no se limitan a, sólidos tales como polvos, comprimidos, bloques minerales, gránulos, bizcocho y mezclas de una materia prima no procesada (p.ej., hierba) y un material procesado usando los métodos descritos en la presente memoria.

30

En algunas realizaciones, los materiales descritos en la presente memoria pueden ser incorporados (p.ej., mezclados) en un alimento por un granjero, p.ej., para uso local y/o distribución a pequeña escala. En tales casos, los materiales descritos en la presente memoria pueden ser proporcionados al granjero en una forma envasada, p.ej., en una forma que sea adecuada para la incorporación en un alimento. Alternativamente o además, los materiales descritos en la presente memoria pueden ser incorporados (p.ej., mezclados) en un alimento por un fabricante de alimentos, p.ej., para distribución a gran escala. En tales casos, los materiales descritos en la presente memoria pueden ser proporcionados al fabricante de alimentos en una forma que sea adecuada para la incorporación en un alimento. Alternativamente o además, los materiales descritos en la presente memoria pueden ser preparados a partir de una materia prima en el lugar en el que se prepara la materia prima.

35

40

En algunas realizaciones, los materiales descritos en la presente memoria pueden ser distribuidos solos e ingeridos por un animal en ausencia de cualesquiera materias primas y/o aditivos adicionales.

En algunas realizaciones, los materiales requerirán post-procesamiento antes del uso como alimento. Adicionalmente o alternativamente, los materiales pueden ser molidos hasta un tamaño de partícula fino en un molino de acero inoxidable para producir una sustancia similar a la harina.

45

Típicamente, los alimentos basados en biomasa se dan como alimento provechosamente sólo a rumiantes que son capaces de digerir al menos parcialmente la celulosa. Como la presente descripción proporciona materiales en los que el material celulósico ha sido roto en azúcares de cadena más corta, estos materiales también se pueden usar como un alimento viable para animales que son incapaces de digerir la celulosa. Por lo tanto, los alimentos preparados usando los materiales y métodos descritos en la presente memoria pueden ser dados como alimento provechosamente a animales que incluyen, pero no se limitan a, animales para la producción de alimentos, animales de zoológico y animales de laboratorio, y/o animales domésticos. Los alimentos también se pueden usar en agricultura y acuicultura. Además, debido a que los alimentos preparados usando los materiales descritos en la presente memoria tienen una disponibilidad de nutrientes más alta, se requerirá menos alimento por parte del animal para recibir la misma cantidad de energía, lo que reducirá el coste global del alimento. Alternativamente, los animales podrán consumir más energía, lo que dará como resultado velocidades de crecimiento, ganancia de tejidos, producción de leche y producción de huevos más altas.

50

55

En algunas realizaciones, los materiales descritos en la presente memoria pueden ser dados como alimento

provechosamente a rumiantes (p.ej., ganado, cabras, ovejas, caballos, alces, bisontes, ciervos, camellos, alpacas, llamas, jirafas, yaks, búfalo de agua, ñus y antílopes), aves de corral, cerdos, jabalíes, pájaros, gatos, perros y peces.

- 5 En algunas realizaciones, los granos y solubles de destilería pueden ser convertidos en un subproducto valioso del proceso de destilación-deshidratación. Después del proceso de destilación-deshidratación, los granos y solubles de destilería pueden ser secados para mejorar la capacidad para almacenar y manejar el material. Los granos de destilería secados (DDG, por sus siglas en inglés) y solubles resultantes son bajos en almidón, altos en grasa, altos en proteína, altos en fibra y altos en fósforo. Así, por ejemplo, los DDG pueden ser valiosos como fuente de pienso animal (p.ej., como fuente de pienso para ganado lechero). Los DDG pueden ser combinados posteriormente con
- 10 aditivos nutricionales para cumplir requisitos dietéticos específicos de categorías específicas de animales (p.ej., equilibrar la lisina digerible y el fósforo para dietas de cerdos). Alternativamente o además, la biomasa procesada usando los métodos descritos en la presente memoria puede ser combinada con DDG. La relación de biomasa procesada a DDG puede ser optimizada para cumplir las necesidades de animales diana.

Alimentos humanos

- 15 Como se describió anteriormente, los seres humanos son típicamente menos capaces de digerir celulosa y material celulósico. La biomasa es un material disponible en abundancia, sin embargo, que podría servir como nuevo alimento para el consumo humano. Para que un material de biomasa (p.ej., un material que contiene celulosa) sea útil como alimento humano, sin embargo, la disponibilidad de nutrientes de la biomasa tendría que ser aumentada
- 20 (1) aumentando la solubilidad de la biomasa; (2) cambiando la estructura (p.ej., funcionalizando) de los materiales nativos; (3) alterando (p.ej., disminuyendo) el peso molecular y/o la cristalinidad en relación con un material nativo; y/o (4) rompiendo el material celulósico en sacáridos más pequeños, por ejemplo, sacáridos con una longitud mayor que 1.000 unidades de sacárido; aproximadamente 1.000 unidades de sacárido de azúcar; aproximadamente 800-900 unidades de sacárido; aproximadamente 700-800 unidades de sacárido; aproximadamente 600-700 unidades de sacárido; aproximadamente 500-600 unidades de sacárido; aproximadamente 400-500 unidades de sacárido;
- 25 aproximadamente 300-400 unidades de sacárido; aproximadamente 200-300 unidades de sacárido; aproximadamente 100-200 unidades de sacárido; 100, 90, 80, 70, 60, 50, 45, 40, 35, 30, 25, 20, 19, 18, 17, 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2 y 1 unidades de sacárido. Tales materiales tendrán una disponibilidad de nutrientes aumentada (como se describió anteriormente), p.ej., en los seres humanos, y será útil como alimento humano. En general, un alimento humano útil debe, p.ej., proporcionar una fuente de energía y nutrientes utilizable y
- 30 accesible para el ser humano para, p.ej., mantener o mejorar la salud de un ser humano, y/o promover el crecimiento de un ser humano (p.ej., ganancia de tejidos). Los métodos descritos en la presente memoria se pueden usar para producir tal alimento humano útil, p.ej., a partir de un material basado en biomasa.

- En algunas realizaciones, los materiales requerirán un procesamiento antes del uso como alimento. Adicionalmente o
- 35 alternativamente, los materiales pueden ser molidos hasta un tamaño de partícula fino en un molino de acero inoxidable para producir una sustancia similar a la harina.

Tales alimentos pueden incluir, pero no se limitan a, por ejemplo, suplementos energéticos (p.ej., polvos y líquidos). Alternativamente o además, los materiales descritos en la presente memoria pueden ser combinados con un primer alimento para aumentar el valor nutricional del primer alimento. Por ejemplo, los alimentos descritos en la presente memoria pueden ser combinados con un alimento de baja energía para aumentar la energía del alimento.

- 40 Alternativamente o además, los materiales descritos en la presente memoria se pueden usar para aumentar el dulzor del alimento, p.ej., como agente edulcorante, así como el valor nutricional del alimento. En tales casos, puede ser deseable obtener uno o más azúcares específicos (p.ej., un monosacárido, un disacárido, un oligosacárido, y/o un polisacárido) de los materiales, p.ej., aislando el uno o más azúcares específicos de los materiales. Los métodos para aislar azúcares son conocidos en la técnica.

- 45 En algunas realizaciones, los materiales descritos en la presente memoria se pueden usar como material de bajo coste para la producción de alimentos. Por ejemplo, los materiales pueden ser suministrados a panaderías para el uso en pan y/o repostería, y a fabricantes de alimentos para ser usado como carga, p.ej., para aumentar el volumen y/o el valor nutricional de un alimento.

- En algunas realizaciones, los materiales pueden servir además como fuente de fibra para consumo humano. En
- 50 tales casos, los métodos usados para romper el material celulolítico serán configurados para proporcionar una reducción menos completa en el peso molecular, p.ej., los métodos darán como resultado materiales que contienen algo de celulosa, y/o darán como resultado polisacáridos de longitud de cadena más larga que no son absorbidos fácilmente por los seres humanos. Tales materiales pueden ser dados como alimento a un ser humano en la forma de un sólido (p.ej., un comprimido o un polvo granular) o un líquido (p.ej., una solución, gel, coloide o suspensión).

- 55 En algunas realizaciones, los materiales descritos en la presente memoria se pueden dar como alimento a un ser humano solos o en combinación con un segundo alimento que es adecuado para el consumo humano. Tales alimentos incluyen, pero no se limitan a, panes, productos lácteos, carnes, pescados, cereales, frutas, verduras, legumbres (p.ej., soja) y gomas. En algunas realizaciones, los materiales descritos en la presente memoria pueden

ser combinados con proteínas, grasas, carbohidratos, minerales, productos farmacéuticos y vitaminas.

Productos de bioconversión

Como se describió anteriormente, los métodos descritos en la presente memoria se pueden usar para procesar biomasa para obtener/producir alimentos (p.ej., alimentos para animales (incluyendo acuáticos) y/o seres humanos).

5 Como se muestra en la FIG. 43A, en general, estos métodos implican procesar biomasa, p.ej., cambiando (p.ej., disminuyendo) el nivel de recalcitrancia de la biomasa, para obtener productos, p.ej., derivados directamente de la biomasa, y/o producir productos que comprenden estos materiales.

10 Alternativamente o además, los métodos descritos en la presente memoria se pueden usar para procesar un primer material (p.ej., biomasa), p.ej., para cambiar (p.ej., disminuir) el nivel de recalcitrancia de la biomasa, para producir un segundo material que se puede usar como sustrato para procesos adicionales, p.ej., para generar materiales y productos presentes (p.ej., sustancialmente presentes) o abundantes en el primer material. En algunas realizaciones, los procesos adicionales pueden incluir una etapa de bioconversión como se muestra en la FIG. 43B. Se describen más adelante ejemplos adicionales de tales métodos.

Hidroponía

15 En algunas realizaciones, los métodos descritos en la presente memoria se pueden usar para procesar un primer material (p.ej., biomasa), p.ej., para cambiar (p.ej., disminuir) el nivel de recalcitrancia de la biomasa, para producir un segundo material que se puede usar en hidroponía. La hidroponía es un método para cultivar plantas usando soluciones de nutrientes minerales, sin tierra. Las plantas pueden ser cultivadas con sus raíces en la solución de nutrientes minerales solamente (cultivo en solución) o en un medio inerte (cultivo en medio), tal como perlita, grava o
20 lana mineral. Los tres tipos principales de cultivo en solución son cultivo en solución estática, cultivo en solución de flujo continuo y aeroponía. Los materiales formados usando los procedimientos descritos en la presente memoria se pueden usar solos o combinados con macronutrientes, p.ej., nitrato de potasio, nitrato de calcio, fosfato de potasio y sulfato de magnesio, para formar una solución hidropónica. También se pueden incluir diversos micronutrientes para suministrar elementos esenciales, p.ej., Fe (hierro), Mn (manganeso), Cu (cobre), Zn (cinc), B (boro), Cl (cloro), y Ni (níquel). Se pueden añadir agentes quelantes para mejorar la solubilidad del hierro. Se pueden utilizar diferentes soluciones hidropónicas en todo el ciclo de vida de la planta para mejorar las condiciones de cultivo.

Acuicultura

30 En algunas realizaciones, los métodos descritos en la presente memoria se pueden usar para procesar un primer material (p.ej., biomasa), p.ej., para cambiar (p.ej., disminuir) el nivel de recalcitrancia de la biomasa, para producir un segundo material que se puede usar en acuicultura. Por ejemplo, el segundo material se puede usar para alimentar o mantener de otro modo especies acuáticas. La acuicultura es el cultivo de organismos de agua dulce y agua salada que incluyen moluscos, crustáceos y plantas acuáticas. A diferencia de las piscifactorías, la acuicultura, también conocida como acuicultivo, implica el cultivo de poblaciones acuáticas bajo condiciones controladas. La maricultura se refiere a acuicultura practicada en entornos marinos. Tipos particulares de acuicultura incluyen
35 algacultura (la producción de kelp/algas marinas y otras algas), piscicultura, cría de camarones, cultivo de ostras, y la cría de perlas cultivadas. La acuiponía integra piscicultura y cultivo de plantas usando el cultivo simbiótico de plantas y animales acuáticos en un entorno recirculante.

Formulaciones de alimentos

40 En algunas realizaciones, los productos alimenticios descritos en la presente memoria se pueden usar como o en la producción de productos alimenticios (p.ej., productos alimenticios sólidos o líquidos). En algunas realizaciones, los productos alimenticios se pueden usar solos o pueden ser combinados. En algunas realizaciones, los productos alimenticios pueden ser combinados con materiales texturizantes (p.ej., proteína de trigo). En algunas realizaciones, los productos alimenticios descritos en la presente memoria se pueden formular como alternativas a la carne (véase, p.ej., Quorn[®], fabricado por Marlow Foods, UK). En algunas realizaciones, los productos alimenticios descritos en la presente memoria se pueden combinar con otras proteínas, fuentes de proteínas, o alimentos, por ej. Micoproteína,
45 proteína vegetal texturizada, tofu, tempeh, miso, productos de soja, y/o proteína de trigo.

En algunas realizaciones, cualquiera de los productos y co-productos descritos en la presente memoria pueden ser combinados con aromatizantes y/o colorantes, por ejemplo, sabores y aromas químicos finos.

Agua de procedimiento

50 En los procedimientos descritos en la presente memoria, siempre que se use agua en cualquier procedimiento, puede ser agua gris, p.ej., agua gris municipal, o agua negra. En algunas realizaciones, el agua gris o negra es esterilizada antes del uso. La esterilización se puede llevar a cabo mediante cualquier técnica deseada, por ejemplo por irradiación, vapor o esterilización química.

Ejemplos

Los siguientes Ejemplos pretenden ilustrar, y no limitan las enseñanzas de esta descripción.

Ejemplo de referencia 1 - Preparación de material fibroso a partir de papel polirrevestido

5 Un palé de 680 kilogramos (1.500 libras) de envases de zumo vírgenes de 1,89 litros (medio galón) hecho de un cartón Kraft blanco polirrevestido no impreso que tenía una densidad aparente de $0,32 \text{ g/cm}^3$ (20 lbs/pie^3) se obtuvo de International Paper. Cada envase fue aplanado, y después alimentado a una trituradora Flinch Baugh de 3 CV a una velocidad de aproximadamente 6,80 a 9,07 kilogramos (15 a 20 libras) por hora. La trituradora estaba equipada con dos cuchillas rotatorias de 30,48 centímetros (12 pulgadas), dos cuchillas fijas y una criba de descarga de 0,76 centímetros (0,30 pulgadas). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajustó a 0,25 centímetros (0,10 pulgadas). La salida de la trituradora se parecía a confeti, que tenía una anchura de entre 0,25 centímetros y 1,27 centímetros (0,1 pulgadas y 0,5 pulgadas), una longitud de entre 0,63 centímetros y 2,54 centímetros (0,25 pulgadas y 1 pulgada) y un grosor equivalente al del material de partida (aproximadamente 0,19 centímetros (0,075 pulgadas)).

15 El material parecido a confeti fue alimentado a una cortadora de cuchillas rotatorias Munson, Modelo SC30. El Modelo SC30 está equipado con cuatro cuchillas rotatorias, cuatro cuchillas fijas, y una criba de descarga que tiene aberturas de 0,32 centímetros (1/8 de pulgada). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajustó a aproximadamente 0,05 centímetros (0,020 pulgadas). La cortadora de cuchillas rotatorias cizalló los trozos parecidos a confeti a través de los bordes de las cuchillas, desgarrando los trozos y liberando un material fibroso a una velocidad de aproximadamente 0,454 kilogramos (una libra) por hora. El material fibroso tuvo un área superficial BET de $0,9748 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0,0167 \text{ m}^2/\text{g}$, una porosidad de 89,0437 por ciento y una densidad aparente (a 3,654 kPa (0,53 psia)) de 0,1260 g/ml. Una longitud media de las fibras fue 1,141 mm y una anchura media de las fibras fue 0,027 mm, dando una L/D media de 42:1. Se muestra una micrografía electrónica de barrido del material fibroso en la FIG. 26 a un aumento de 25 X.

Ejemplo de referencia 2 - Preparación de material fibroso a partir de cartón Kraft blanqueado

25 Un palé de 680 kilogramos (1.500 libras) de cartón Kraft blanco blanqueado virgen que tenía una densidad aparente de $0,48 \text{ g/cm}^3$ (30 lbs/pie^3) se obtuvo de International Paper. El material fue aplanado, y después alimentado a una trituradora Flinch Baugh de 3 CV a una velocidad de aproximadamente 6,80 a 9,07 kilogramos (15 a 20 libras) por hora. La trituradora estaba equipada con dos cuchillas rotatorias de 30,48 centímetros (12 pulgadas), dos cuchillas fijas y una criba de descarga de 0,76 centímetros (0,30 pulgadas). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajustó a 0,25 centímetros (0,10 pulgadas). La salida de la trituradora se parecía a confeti, que tenía una anchura de entre 0,25 centímetros y 1,27 centímetros (0,1 pulgadas y 0,5 pulgadas), una longitud de entre 0,63 centímetros y 2,54 centímetros (0,25 pulgadas y 1 pulgada) y un grosor equivalente al del material de partida (aproximadamente 0,19 centímetros (0,075 pulgadas)). El material parecido a confeti fue alimentado a una cortadora de cuchillas rotatorias Munson, Modelo SC30. La criba de descarga tenía aberturas de 0,32 centímetros (1/8 de pulgada). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajustó a aproximadamente 0,05 centímetros (0,020 pulgadas). La cortadora de cuchillas rotatorias cizalló los trozos parecidos a confeti, liberando un material fibroso a una velocidad de aproximadamente 0,454 kilogramos (una libra) por hora. El material fibroso tuvo un área superficial BET de $1,1316 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0,0103 \text{ m}^2/\text{g}$, una porosidad de 88,3285 por ciento y una densidad aparente (a 3,654 kPa (0,53 psia)) de 0,1497 g/ml. Una longitud media de las fibras fue 1,063 mm y una anchura media de las fibras fue 0,0245 mm, dando una L/D media de 43:1. Se muestra una micrografía electrónica de barrido del material fibroso en la FIG. 27 a un aumento de 25 X.

Ejemplo de referencia 3 - Preparación de material fibroso cizallado dos veces a partir de cartón Kraft blanqueado

45 Un palé de 680 kilogramos (1.500 libras) de cartón Kraft blanco blanqueado virgen que tenía una densidad aparente de $0,48 \text{ g/cm}^3$ (30 lbs/pie^3) se obtuvo de International Paper. El material fue aplanado, y después alimentado a una trituradora Flinch Baugh de 3 CV a una velocidad de aproximadamente 6,80 a 9,07 kilogramos (15 a 20 libras) por hora. La trituradora estaba equipada con dos cuchillas rotatorias de 30,48 centímetros (12 pulgadas), dos cuchillas fijas y una criba de descarga de 0,76 centímetros (0,30 pulgadas). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajustó a 0,25 centímetros (0,10 pulgadas). La salida de la trituradora se parecía a confeti (como anteriormente). El material parecido a confeti fue alimentado a una cortadora de cuchillas rotatorias Munson, Modelo SC30. La criba de descarga tenía aberturas de 0,16 centímetros (1/16 de pulgada). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajustó a aproximadamente 0,05 centímetros (0,020 pulgadas). La cortadora de cuchillas rotatorias cizalló los trozos parecidos a confeti, liberando un material fibroso a una velocidad de aproximadamente 0,454 kilogramos (una libra) por hora. El material resultante del primer cizallamiento fue alimentado de vuelta a la misma configuración descrita anteriormente y cizallado de nuevo. El material fibroso resultante tuvo un área superficial BET de $1,4408 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0,0156 \text{ m}^2/\text{g}$, una porosidad de 90,8998 por ciento y una densidad aparente (a 3,654 kPa (0,53 psia)) de 0,1298 g/ml. Una longitud media de las fibras fue 0,891 mm y una anchura media de las fibras fue 0,026 mm, dando una L/D media de 34:1. Se muestra una micrografía electrónica de barrido del material fibroso en la FIG. 28 a un aumento de 25 X.

Ejemplo de referencia 4 - Preparación de material fibroso cizallado tres veces a partir de cartón Kraft blanqueado

Un palé de 680 kilogramos (1.500 libras) de cartón Kraft blanco blanqueado virgen que tenía una densidad aparente de $0,48 \text{ g/cm}^3$ (30 lbs/pie^3) se obtuvo de International Paper. El material fue aplanado, y después alimentado a una trituradora Flinch Baugh de 3 CV a una velocidad de aproximadamente 6,80 a 9,07 kilogramos (15 a 20 libras) por hora. La trituradora estaba equipada con dos cuchillas rotatorias de 30,48 centímetros (12 pulgadas), dos cuchillas fijas y una criba de descarga de 0,76 centímetros (0,30 pulgadas). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajustó a 0,25 centímetros (0,10 pulgadas). La salida de la trituradora se parecía a confeti (como anteriormente). El material parecido a confeti fue alimentado a una cortadora de cuchillas rotatorias Munson, Modelo SC30. La criba de descarga tenía aberturas de 0,32 centímetros (1/8 de pulgada). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajustó a aproximadamente 0,05 centímetros (0,020 pulgadas). La cortadora de cuchillas rotatorias cizalló los trozos parecidos a confeti a través de los bordes de las cuchillas. El material resultante del primer cizallamiento fue alimentado de vuelta a la misma configuración y la criba fue reemplazada por una criba de 0,16 centímetros (1/16 de pulgada). Este material fue cizallado. El material resultante del segundo cizallamiento fue alimentado de vuelta a la misma configuración y la criba fue reemplazada por una criba de 0,08 centímetros (1/32 de pulgada). Este material fue cizallado. El material fibroso resultante tuvo un área superficial BET de $1,6897 \text{ m}^2/\text{g}$ \pm $0,0155 \text{ m}^2/\text{g}$, una porosidad de 87,7163 por ciento y una densidad aparente (a 3,654 kPa (0,53 psia)) de 0,1448 g/ml. Una longitud media de las fibras fue 0,824 mm y una anchura media de las fibras fue 0,0262 mm, dando una L/D media de 32:1. Se muestra una micrografía electrónica de barrido del material fibroso en la FIG. 29 a un aumento de 25 X.

Ejemplo de referencia 5 - Preparación de material fibroso densificado a partir de cartón Kraft blanqueado sin aglutinante añadido

Se preparó material fibroso según el Ejemplo 2. Se rociaron aproximadamente 0,454 kg (1 lb) de agua sobre cada 4,54 kg (10 lb) de material fibroso. El material fibroso fue densificado usando una granuladora California Pellet Mill 1100 que funcionó a 75 °C. Se obtuvieron gránulos que tenían una densidad aparente que osciló de aproximadamente $0,11 \text{ g/cm}^3$ (7 lb/pie^3) a aproximadamente $0,24 \text{ g/cm}^3$ (15 lb/pie^3).

Ejemplo de referencia 6 - Preparación de material fibroso densificado a partir de cartón Kraft blanqueado con aglutinante

Se preparó material fibroso según el Ejemplo 2.

Se preparó una disolución madre al 2 por ciento en peso de POLYOX™ WSR N10 (poli(óxido de etileno)) en agua.

Se rociaron aproximadamente 0,454 kg (1 lb) de la disolución madre sobre cada 4,54 kg (10 lb) de material fibroso. El material fibroso fue densificado usando una granuladora California Pellet Mill 1100 que funcionó a 75 °C. Se obtuvieron gránulos que tenían una densidad aparente que osciló de aproximadamente $0,24 \text{ g/cm}^3$ (15 lb/pie^3) a aproximadamente $0,64 \text{ g/cm}^3$ (40 lb/pie^3).

Ejemplo de referencia 7 - Reducción del peso molecular de celulosa en papel Kraft fibroso por radiación gamma con oxidación mínima

Se prepara material fibroso según el Ejemplo 4, y después se densifica según el Ejemplo 5.

Los gránulos densificados se colocan en una ampolla de vidrio que tiene una capacidad máxima de 250 ml. La ampolla de vidrio es evacuada a alto vacío ($0,001 \text{ Pa}$ (10^{-5} torr)) durante 30 minutos, y después vuelta a llenar con gas argón. La ampolla es sellada en una atmósfera de argón. Los gránulos en la ampolla son irradiados con radiación gamma durante aproximadamente 3 horas a una tasa de dosis de aproximadamente 1 Mrad por hora para proporcionar un material irradiado en el que la celulosa tiene un peso molecular más bajo que el material de partida Kraft fibroso.

Ejemplo de referencia 8 - Reducción del peso molecular de celulosa en papel Kraft fibroso por radiación gamma con oxidación máxima

Se prepara material fibroso según el Ejemplo 4, y después se densifica según el Ejemplo 5.

Los gránulos densificados se colocan en una ampolla de vidrio que tiene una capacidad máxima de 250 ml. La ampolla de vidrio es sellada en una atmósfera de aire. Los gránulos en la ampolla son irradiados con radiación gamma durante aproximadamente 3 horas a una tasa de dosis de aproximadamente 1 Mrad por hora para proporcionar un material irradiado en el que la celulosa tiene un peso molecular más bajo que el material de partida Kraft fibroso.

Ejemplo de referencia 9 - Métodos para determinar el peso molecular de materiales celulósicos y lignocelulósicos por cromatografía de permeación sobre gel

Los materiales celulósicos y lignocelulósicos para análisis se trataron según el Ejemplo 4. Los materiales de muestra presentados en las siguientes tablas incluyen papel Kraft (P), paja de trigo (WS), alfalfa (A), y pasto varilla (SG). El número "132" de la ID de Muestra se refiere al tamaño de partícula del material después de cizallar a través de una

criba de 0,08 centímetros (1/32 de pulgada). El número después del guión se refiere a la dosificación de la radiación (Mrad) y "US" se refiere a tratamiento ultrasónico. Por ejemplo, una ID de muestra "P132-10" se refiere a papel Kraft que ha sido cizallado hasta un tamaño de partícula de malla 132 y ha sido irradiado con 10 Mrad.

Tabla 1. Peso molecular medio pico de papel Kraft irradiado

Fuente de muestra	ID de muestra	Dosificación ¹ (Mrad)	Ultrasonidos ²	PM medio ± Desv. est.
Papel Kraft	P132	0	No	32.853 ± 10.006
	P132-10	10	"	61.398 ± 2.468**
	P132-100	100	"	8.444 ± 580
	P132-181	181	"	6.668 ± 77
	P132-US	0	Sí	3.095 ± 1.013

- 5 ** Las dosis bajas de radiación parecen aumentar el peso molecular de algunos materiales
¹ Tasa de dosificación = 1 Mrad/hora
² Tratamiento durante 30 minutos con 20 kHz de ultrasonidos, usando un cuerno de 1.000 W bajo condiciones recirculantes con el material dispersado en agua.

10 **Tabla 2. Peso molecular medio pico de materiales irradiados**

ID de muestra	Pico Nº	Dosificación ¹ (Mrad)	Ultrasonidos ²	PM medio ± Desv. est.
WS132	1	0	No	1.407.411 ± 175.191
	2	"	"	39.145 ± 3.425
	3	"	"	2.886 ± 177
WS132-10*	1	10	"	26.040 ± 3.240
WS132-100*	1	100	"	23.620 ± 453
A132	1	0	"	1.604.886 ± 151.701
	2	"	"	37.525 ± 3.751
	3	"	"	2.853 ± 490
A132-10*	1	10	"	50.853 ± 1.665
	2	"	"	2.461 ± 17
A132-100*	1	100	"	38.291 ± 2.235
	2	"	"	2.487 ± 15
SG132	1	0	"	1.557.360 ± 83.693
	2	"	"	42.594 ± 4.414
	3	"	"	3.268 ± 249
SG132-10*	1	10	"	60.888 ± 9.131
SG132-100*	1	100	"	22.345 ± 3.797
SG132-10-US	1	10	Sí	86.086 ± 43.518
	2	"	"	2.247 ± 468
SG132-100-US	1	100	"	4.696 ± 1.465

- * Los picos coalescen después del tratamiento
 ** Las dosis bajas de radiación parecen aumentar el peso molecular de algunos materiales
¹ Tasa de dosificación = 1 Mrad/hora
² Tratamiento durante 30 minutos con 20 kHz de ultrasonidos, usando un cuerno de 1.000 W bajo condiciones recirculantes con el material dispersado en agua.

15 Se usa cromatografía de permeación sobre gel (GPC, por sus siglas en inglés) para determinar la distribución de pesos moleculares de polímeros. Durante el análisis GPC, se hace pasar una disolución de la muestra de polímero a través de una columna rellena con un gel poroso que atrapa moléculas pequeñas. La muestra es separada en base

al tamaño molecular, eluyendo las moléculas más grandes más pronto que las moléculas más pequeñas. El tiempo de retención de cada componente es detectado muy a menudo por índice de refracción (RI), dispersión de luz evaporativa (ELS) o ultravioleta (UV), y comparado con una curva de calibración. Los datos resultantes se usan después para calcular la distribución de pesos moleculares para la muestra.

5 Se usa una distribución de pesos moleculares en lugar de un único peso molecular para caracterizar polímeros sintéticos. Para caracterizar esta distribución, se utilizan medias estadísticas. La más común de estas medias es el "peso molecular medio numérico" (M_n) y el "peso molecular medio ponderal" (M_w). Se describen métodos para calcular estos valores en el Ejemplo 9 del documento PCT/US/2007/022719.

10 El índice de polidispersidad o PI se define como la relación de M_w/M_n . Cuanto mayor es el PI, más ancha o más dispersa es la distribución. El valor más bajo que puede ser el PI es 1. Este representa una muestra monodispersa; esto es, un polímero en que todas las moléculas en la distribución son del mismo peso molecular.

El valor de peso molecular pico (M_p) es otro descriptor, definido como el modo de la distribución de pesos moleculares. Significa el peso molecular que es más abundante en la distribución. Este valor también da una percepción de la distribución de pesos moleculares.

15 La mayoría de medidas de GPC se hacen en relación con un patrón de polímero diferente. La exactitud de los resultados depende de cuán estrechamente concuerdan las características del polímero que se analiza con las del patrón usado. El error esperado en reproducibilidad entre series diferentes de determinaciones, calibradas por separado, es aprox. 5-10% y es característico de la limitada precisión de las determinaciones de GPC. Por lo tanto, los resultados de GPC son muy útiles cuando se hace una comparación entre las distribuciones de pesos moleculares de diferentes muestras durante la misma serie de determinaciones.

20 Las muestras lignocelulósicas requirieron preparación de muestra antes del análisis GPC. Primero, se preparó una disolución saturada (8,4% en peso) de cloruro de litio (LiCl) en dimetilacetamida (DMAc). Se añadieron aproximadamente 100 mg de cada muestra a aproximadamente 10 g de una disolución saturada de LiCl/DMAc recién preparada, y las mezclas se calentaron a aproximadamente 150°C-170°C con agitación durante 1 hora. Las disoluciones resultantes fueron generalmente de color amarillo claro a amarillo oscuro. La temperatura de las disoluciones fue disminuida hasta aproximadamente 100°C y calentadas durante 2 horas adicionales. La temperatura de las disoluciones fue disminuida después hasta aproximadamente 50°C y las disoluciones de muestra fueron calentadas durante aproximadamente 48 a 60 horas. Es digno de mención que las muestras irradiadas a 100 Mrad fueron solubilizadas más fácilmente en comparación con sus equivalentes no tratadas. Adicionalmente, las muestras cizalladas (denotadas por el número 132) tuvieron pesos moleculares medios ligeramente más bajos en comparación con muestras no cortadas.

35 Las disoluciones de muestra resultantes fueron diluidas 1:1 usando DMAc como disolvente, y se filtraron a través de un filtro de PTFE de 0,45 µm. Las disoluciones de muestra filtradas fueron analizadas después por GPC. El peso molecular medio pico (M_p) de las muestras, determinado por Cromatografía de Permeación sobre Gel (GPC) se resume en las Tablas 1 y 2, anteriormente, bajo las condiciones de análisis expuestas en la Tabla 3. Cada muestra se preparó por duplicado, y cada preparación de la muestra se analizó por duplicado (dos inyecciones) para un total de cuatro inyecciones por muestra. Se usaron los patrones de poliestireno EasiCal PS1A y PS1B para generar una curva de calibración para la escala de peso molecular de aproximadamente 580 a 7.500.000 Daltons.

Tabla 3. Condiciones del análisis GPC

Instrumento:	Waters Alliance GPC 2000
	Plgel 10 µ Mixed-B
Columnas (3):	S/N's: 10M-MB-148-83; 10M-MB-148-84; 10M-MB-174-129
Fase móvil (disolvente):	LiCl al 0,5% en DMAc (1,0 mL/min)
Temperatura de columna/detector:	70 °C
Temperatura de inyector:	70 °C
Tamaño de bucle de muestra:	323,5 µl

40

Ejemplo de referencia 10 - Determinación de la cristalinidad de material irradiado por difracción de rayos X

45 La difracción de rayos X (XRD, por sus siglas en inglés) es un método por el que una muestra cristalina es irradiada con rayos X monoenergéticos. La interacción de la estructura reticular de la muestra con estos rayos X se registra y proporciona información sobre la estructura cristalina que es irradiada. La "huella dactilar" característica resultante permite la identificación de los compuestos cristalinos presentes en la muestra. Usando un análisis de ajuste de patrón completo (la Refinación de Rietveld), es posible realizar análisis cuantitativos en muestras que contienen más que un compuesto cristalino.

Cada muestra fue colocada en un contenedor de fondo cero y se puso en un difractor Phillips PW1800 usando radiación Cu. Después se ejecutaron barridos sobre un intervalo de 5° a 50° con un tamaño de paso de 0,05° y un tiempo de recuento de 2 horas cada uno.

- 5 Una vez que se obtuvieron los patrones de difracción, las fases fueron identificadas con la ayuda del Archivo de Difracción en Polvo publicado por el Centro Internacional para Datos de Difracción. En todas las muestras la fase cristalina identificada fue celulosa - Ia, que tiene una estructura triclinica.

El rasgo de distinción entre las 20 muestras es la anchura de pico, que está relacionada con el tamaño del dominio cristalino. La anchura de pico experimental se usó para computar el tamaño del dominio y el tanto por ciento de cristalinidad, que se reportan en la Tabla 4.

10 **Tabla 4. Datos de XRD que incluyen tamaño de dominio y % de cristalinidad**

ID de muestra	Tamaño de dominio (Å)	% de cristalinidad
P132	55	55
P132-10	46	58
P132-100	50	55
P132-181	48	52
P132-US	26	40
A132	28	42
A132-10	26	40
A132-100	28	35
WS132	30	36
WS132-10	27	37
WS132-100	30	41
SG132	29	40
SG132-10	28	38
SG132-100	28	37
SG132-10-US	25	42
SG132-100-US	21	34

El tanto por ciento de cristalinidad (X_c %) se mide como una relación del área cristalina al área total bajo los picos de difracción de rayos X, y es igual a $100\% \times (A_c / (A_a + A_c))$, donde

$$A_c = \text{Área de la fase cristalina}$$

15 $A_a = \text{Área de la fase amorfa}$

$$X_c = \text{Tanto por ciento de cristalinidad}$$

20 Para determinar el tanto por ciento de cristalinidad para cada muestra fue necesario extraer primero la cantidad de la fase amorfa. Esto se hace estimando el área de cada patrón de difracción que puede ser atribuido a la fase cristalina (representada por los picos más agudos) y la fase no cristalina (representada por los montes anchos bajo el patrón y centrados a 22° y 38°).

25 Se usó un procedimiento sistemático para minimizar el error en estos cálculos debido a picos cristalinos anchos así como alta intensidad de fondo. Primero, se aplicó un fondo lineal y después se retiró. Segundo, dos picos Gaussianos centrados a 22° y 38° con anchuras de 10-12° cada uno fueron ajustados a los montes bajo los picos cristalinos. Tercero, se determinó el área bajo los dos picos Gaussianos anchos y el resto del patrón. Finalmente, se calculó el tanto por ciento de cristalinidad dividiendo el área bajo el pico cristalino por la intensidad total (después de la sustracción del fondo). El tamaño de dominio y el % de cristalinidad de las muestras determinado por difracción de rayos X (XRD) se presentan en la Tabla 4, anteriormente.

Ejemplo de referencia 11 - Análisis de porosimetría

30 El análisis del tamaño de poro en mercurio y volumen de poro (Tabla 5) se basa en forzar mercurio (un líquido que no moja) contra una estructura porosa bajo presiones controladas estrechamente. Dado que el mercurio no moja la

mayoría de las sustancias y no penetrará espontáneamente en los poros por acción capilar, debe ser forzado contra los huecos de la muestra aplicando presión externa. La presión requerida para llenar los huecos es inversamente proporcional al tamaño de los poros. Sólo se requiere una pequeña cantidad de fuerza o presión para llenar poros grandes, mientras que se requiere mucha mayor presión para llenar los huecos de poros muy pequeños.

5 **Tabla 5. Tamaño de poro y distribución de volumen por porosimetría de mercurio**

ID de muestra	Volumen de intrusión total (ml/g)	Área de poro total (m ² /g)	Mediana de diámetro de poro (Volumen) (µm)	Mediana de diámetro de poro (Área) (µm)	Diámetro de poro medio (4V/A) (µm)	Densidad aparente a 3,447 kPa (0,50 psia) (g/ml)	Densidad aparente (esquelética) (g/ml)	Porosidad (%)
P132	6,0594	1,228	36,2250	13,7278	19,7415	0,1448	1,1785	87,7163
P132-10	5,5436	1,211	46,3463	4,5646	18,3106	0,1614	1,5355	89,4875
P132-100	5,3985	0,998	34,5235	18,2005	21,6422	0,1612	1,2413	87,0151
P132-181	3,2866	0,868	35,3448	12,2410	15,1509	0,2497	1,3916	82,0577
P132-US	6,0005	14,787	98,3459	0,0055	1,6231	0,1404	0,8894	84,2199
A132	2,0037	11,759	64,6308	0,0113	0,6816	0,3683	1,4058	73,7990
A132-10	1,9514	10,326	53,2706	0,0105	0,7560	0,3768	1,4231	73,5241
A132-100	1,9394	10,205	43,8966	0,0118	0,7602	0,3760	1,3889	72,9264
SG132	2,5267	8,265	57,6958	0,0141	1,2229	0,3119	1,4708	78,7961
SG132-10	2,1414	8,643	26,4666	0,0103	0,9910	0,3457	1,3315	74,0340
SG132-100	2,5142	10,766	32,7118	0,0098	0,9342	0,3077	1,3590	77,3593
SG132-10-US	4,4043	1,722	71,5734	1,1016	10,2319	0,1930	1,2883	85,0169
SG132-100-US	4,9665	7,358	24,8462	0,0089	2,6998	0,1695	1,0731	84,2010
WS132	2,9920	5,447	76,3675	0,0516	2,1971	0,2773	1,6279	82,9664
WS132-10	3,1138	2,901	57,4727	0,3630	4,2940	0,2763	1,9808	86,0484
WS132-100	3,2077	3,114	52,3284	0,2876	4,1199	0,2599	1,5611	83,3538

10 El AutoPore® 9520, un dispositivo para determinar la densidad de los poros, puede alcanzar una presión máxima de 414 MPa o 60.000 psia. Hay cuatro estaciones de baja presión para la preparación de muestras y recogida de datos de macroporos de 1.378,95 Pa a 413,7 MPa (25 psia a 60.000 psia). La muestra se coloca en un aparato parecido a un bol llamado penetrómetro, que está unido a un eje capilar de vidrio con un revestimiento metálico. Según invade el mercurio los huecos dentro y alrededor de la muestra, se mueve hacia abajo por el eje capilar. La pérdida de mercurio del eje capilar da como resultado un cambio en la capacitancia eléctrica. El cambio en capacitancia durante el experimento es convertido a volumen de mercurio en base al volumen del eje del penetrómetro en uso. Están disponibles diversos penetrómetros con diferentes tamaños de bol (muestra) y capilares para adaptarse a la mayoría de tamaños y configuraciones de muestra. La Tabla 6 a continuación define algunos de los parámetros clave calculados para cada muestra.

15

Tabla 6. Definición de parámetros

Parámetro	Descripción
Volumen de intrusión total:	El volumen total de mercurio que ha invadido durante un experimento. Este puede incluir llenado intersticial entre partículas pequeñas, porosidad de la muestra, y volumen de compresión de la muestra.
Área de poro total:	El volumen de intrusión total convertido en un área suponiendo poros de forma cilíndrica.
Mediana de diámetro de poro (volumen):	El tamaño en el percentil 50° sobre el gráfico de volumen acumulativo.
Mediana de diámetro de poro (área):	El tamaño en el percentil 50° sobre el gráfico de área acumulativa.
Densidad aparente de volumen:	La masa de la muestra dividida por el volumen aparente. El volumen aparente se determina a la presión de llenado, típicamente 3,447 kPa (0,5 psia).
Densidad aparente:	La masa de la muestra dividida por el volumen de la muestra medido a la presión más alta, típicamente 413,7 MPa (60.000 psia).
Porosidad:	(Densidad aparente de volumen/Densidad aparente) x 100%

Ejemplo de referencia 12 - Análisis de tamaños de partícula

5 La técnica de medida de tamaños de partícula por dispersión de luz estática se basa en la teoría de Mie (que también abarca la teoría de Fraunhofer). La teoría de Mie predice la relación intensidad frente a ángulo en función del tamaño para partículas dispersantes esféricas, a condición de que se conozcan otras variables del sistema y se mantengan constantes. Estas variables son la longitud de onda de la luz incidente y el índice de refracción relativo del material de la muestra. La aplicación de la teoría de Mie proporciona la información del tamaño de partícula detallada. La Tabla 7 resume el tamaño de partícula usando la mediana del diámetro, el diámetro medio y el diámetro modal como parámetros.

Tabla 7. Tamaño de partícula por dispersión de luz láser (dispersión en muestra seca)

ID de muestra	Mediana de diámetro (µm)	Diámetro medio (µm)	Diámetro modal (µm)
A132	380,695	418,778	442,258
A132-10	321,742	366,231	410,156
A132-100	301,786	348,633	444,169
S132	369,400	411,790	455,508
SG132-10	278,793	325,497	426,717
SG132-100	242,757	298,686	390,097
WS132	407,335	445,618	467,978
WS132-10	194,237	226,604	297,941
WS132-100	201,975	236,037	307,304

El tamaño de partícula se determinó por dispersión de luz láser (dispersión en muestra seca) usando un Malvern Mastersizer 2000, usando las siguientes condiciones:

Velocidad de alimentación: 35%

Presión del dispersador: 0,4 MPa (4 bar)

Modelo óptico: (2.610, 1.000i), 1.000

5 Se introdujo una cantidad apropiada de muestra en una bandeja vibratoria. La velocidad de alimentación y presión de aire se ajustaron para asegurar que las partículas eran dispersadas apropiadamente. El componente clave es seleccionar una presión de aire que rompa las aglomeraciones, pero no comprometa la integridad de la muestra. La cantidad de muestra necesitada varía dependiendo del tamaño de las partículas. En general, las muestras con partículas finas requieren menor material que las muestras con partículas más gruesas.

Ejemplo de referencia 13 - Análisis del área superficial

10 El área superficial de cada muestra se analizó usando un sistema ASAP 2420 Accelerated Surface Area and Porosimetry de Micromeritics. Las muestras fueron preparadas desgasificando primero durante 16 horas a 40 °C. Después, se calcula el espacio libre (tanto caliente como frío) con helio y después el tubo de la muestra es evacuado de nuevo para retirar el helio. La recogida de datos comienza después de esta segunda evacuación, y consiste en definir presiones diana que controlan cuánto gas se dosifica a la muestra. En cada presión diana, la cantidad de gas adsorbido y la presión real se determinan y registran. La presión dentro del tubo de la muestra se mide con un transductor de presión. Dosis adicionales de gas continuarán hasta que se alcance la presión diana, y se deja equilibrar. La cantidad de gas adsorbido se determina sumando las dosis múltiples sobre la muestra. La presión y cantidad definen un isoterma de adsorción de gas y se usan para calcular varios parámetros, que incluyen el área superficial BET (Tabla 8).

20 **Tabla 8. Resumen de área superficial por adsorción de gas**

ID de muestra	Área superficial de punto único		Área superficial BET (m ² /g)
	a P/Po=	(m ² /g)	
P132	0,25038771	1,5253	1,6897
P132-10	a P/Po=0,239496722	1,0212	1,2782
P132-100	a P/Po=0,240538100	1,0338	1,2622
P132-181	a P/Po=0,239166091	0,5102	0,6448
P132-US	a P/Po=0,217359072	1,0983	1,6793
A132	a P/Po=0,240040610	0,5400	0,7614
A132-10	a P/Po=0,211218936	0,5383	0,7212
A132-100	a P/Po=0,238791097	0,4258	0,5538
SG132	a P/Po=0,237989353	0,6359	0,8350
SG132-10	a P/Po=0,238576905	0,6794	0,8689
SG132-100	a P/Po=0,241960361	0,5518	0,7034
SG132-10-US	a P/Po=0,225692889	0,5693	0,7510
SG132-100-US	a P/Po=0,225935246	1,0983	1,4963
WS132	a P/Po=0,237823664	0,6582	0,8663
WS132-10	a P/Po=0,238612476	0,6191	0,7912
WS132-100	a P/Po=0,238398832	0,6255	0,8143

El modelo BET para isotermos es una teoría ampliamente usada para calcular el área superficial específica. El análisis implica determinar la capacidad de monocapa de la superficie de la muestra calculando la cantidad requerida para cubrir la superficie entera con una única capa densamente empaquetada de kriptón. La capacidad de monocapa se multiplica por el área de sección transversal de una molécula de gas sonda para determinar el área superficial total. El área superficial específica es el área superficial de la alícuota de muestra dividida por la masa de la muestra.

Ejemplo de referencia 14 - Determinación de la longitud de las fibras

El ensayo de la distribución de la longitud de las fibras se realizó por triplicado sobre las muestras presentadas usando el sistema Techpap MorFi LB01. La longitud y anchura medias se reportan en la Tabla 9.

10 **Tabla 9. Resumen de datos de longitud y anchura de fibras lignocelulósicas**

ID de muestra	Media aritmética (mm)	Longitud media ponderada en longitud (mm)	Longitud media ponderada en longitud corregida estadísticamente (mm)	Anchura (µm)
P132-10	0,484	0,615	0,773	24,7
P132-100	0,369	0,423	0,496	23,8
P132-181	0,312	0,342	0,392	24,4
A132-10	0,382	0,423	0,650	43,2
A132-100	0,362	0,435	0,592	29,9
SG132-10	0,328	0,363	0,521	44,0
SG132-100	0,325	0,351	0,466	43,8
WS132-10	0,353	0,381	0,565	44,7
WS132-100	0,354	0,371	0,536	45,4

Ejemplo de referencia 15 - Tratamiento ultrasónico de pasto varilla irradiado y no irradiado

Se cizalló pasto varilla según el Ejemplo 4. El pasto varilla se trató por ultrasonido solo o irradiación con 10 Mrad o 100 Mrad de rayos gamma, y después se sonicó. Los materiales resultantes corresponden a G132-BR (no irradiado), G132-10-BR (10 Mrad y sonicación) y G132-100-BR (100 Mrad y sonicación), presentados en la Tabla 1. La sonicación se realizó en cada muestra durante 30 minutos usando ultrasonidos de 20 kHz desde un cuerno de 1.000W bajo condiciones recirculantes. Cada muestra fue dispersada en agua a una concentración de aproximadamente 0,10 g/ml.

Las FIGS. 30 y 31 muestran el aparato usado para la sonicación. El aparato 500 incluye un convertidor 502 conectado al intensificador 504 que se comunica con un cuerno 506 fabricado de titanio o una aleación de titanio. El cuerno, que tiene un sello 510 hecho de VITON® alrededor de su perímetro sobre su cara procesadora, forma un sello hermético a los líquidos con una celda 508 procesadora. La cara procesadora del cuerno es sumergida en un líquido, tal como agua, que tiene dispersa en el mismo la muestra a ser sonicada. La presión en la celda es monitorizada con un medidor 512 de presión. En funcionamiento, cada muestra es movida por la bomba 517 desde el tanque 516 a través de la celda de procesamiento, y es sonicada. Después de la sonicación, la muestra es capturada en el tanque 520. El procedimiento puede ser revertido en que el contenido del tanque 520 puede ser enviado a través de la celda de procesamiento y capturado en el tanque 516. Este procedimiento puede ser repetido varias veces hasta que se entregue un nivel deseado de procesamiento a la muestra.

30 Ejemplo de referencia 16 - Micrografías electrónicas de barrido de pasto varilla no irradiado en comparación con pasto varilla irradiado e irradiado y sonicado

Se aplicaron muestras de pasto varilla para las micrografías electrónicas de barrido a cinta de carbón y revestidas con partículas de oro (70 segundos). Las imágenes se tomaron con un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo JEOL 6500.

35 La FIG. 32 es una micrografía electrónica de barrido a un aumento de 1.000 X de un material fibroso producido al cizallar pasto varilla en una cortadora de cuchillas rotatorias, y hacer pasar después el material cizallado a través de

una criba de 0,08 centímetros (1/32 de pulgada).

Las FIGS. 33 y 34 son micrografías electrónicas de barrido del material fibroso de la FIG. 32 después de irradiación con rayos gamma de 10 Mrad y 100 Mrad, respectivamente, a un aumento de 1.000 X.

5 La FIG. 35 es una micrografía electrónica de barrido del material fibroso de la FIG. 32 después de irradiación con 10 Mrad y sonicación a un aumento de 1.000 X.

La FIG. 36 es una micrografía electrónica de barrido del material fibroso de la FIG. 32 después de irradiación con 100 Mrad y sonicación a un aumento de 1.000 X.

Ejemplo de referencia 17 - Espectro de infrarrojo de papel Kraft irradiado en comparación con papel Kraft no irradiado

10 Se realizó un análisis FT-IR usando metodología estándar en un Nicolet/Impact 400. Los resultados indican que todas las muestras reportadas en la Tabla 1 son consistentes con un material basado en celulosa.

15 La FIG. 37 es un espectro de infrarrojo de cartón Kraft cizallado según el Ejemplo 4, mientras que la FIG. 38 es un espectro de infrarrojo del papel Kraft de la FIG. 38 después de irradiación con 100 Mrad de radiación gamma. La muestra irradiada muestra un pico adicional en la región A (centrada aproximadamente a 1.730 cm^{-1}) que no se encuentra en el material no irradiado.

Ejemplo 18 - Pretratamiento con combinación de haz de electrones y sonicación

20 Se usa pasto varilla como materia prima y se cizalla con una cortadora de cuchillas rotatorias Munson hasta un material fibroso. Después, el material fibroso es distribuido uniformemente sobre una bandeja abierta compuesta de estaño con un área mayor que aproximadamente 3.226 cm^2 (500 pulg²). El material fibroso es distribuido para que tenga una profundidad de aproximadamente 2,54-5,08 centímetros (1-2 pulgadas) en la bandeja abierta. El material fibroso puede ser distribuido en bolsas de plástico a dosis más bajas de irradiación (por debajo de 10 Mrad), y dejado sin tapar en la bandeja metálica a dosis más altas de radiación.

25 Después se exponen muestras independientes del material fibroso a dosis sucesivas de radiación de haz de electrones hasta alcanzar una dosis total de 1 Mrad, 2 Mrad, 3 Mrad, 5 Mrad, 10 Mrad, 50 Mrad y 100 Mrad. Algunas muestras son mantenidas bajo las mismas condiciones que las muestras restantes, pero no son irradiadas, para servir como controles. Después de enfriar, el material fibroso irradiado es enviado para procesamiento adicional mediante un dispositivo de sonicación.

30 El dispositivo de sonicación incluye un convertidor conectado a un intensificador que se comunica con un cuerno fabricado de titanio o una aleación de titanio. El cuerno, que tiene un sello hecho de VITON® alrededor de su perímetro sobre su cara procesadora, forma un sello hermético a los líquidos con una celda procesadora. La cara procesadora del cuerno es sumergida en un líquido, tal como agua, que tiene dispersa en el mismo la muestra a ser sonicada. La presión en la celda es monitorizada con un medidor de presión. En funcionamiento, cada muestra es movida por bomba a través de la celda de procesamiento y es sonicada.

35 Para preparar el material fibroso irradiado para la sonicación, el material fibroso irradiado es retirado de cualquier recipiente (p.ej., bolsas de plástico) y es dispersado en agua a una concentración de aproximadamente 0,10 g/ml. La sonicación se realiza en cada muestra durante 30 minutos usando 20 kHz de ultrasonidos desde un cuerno de 1.000 W bajo condiciones recirculantes. Después de la sonicación, el material fibroso irradiado es capturado en un tanque. Este proceso puede ser repetido varias veces hasta que se alcance un nivel deseado de procesamiento en base a la monitorización de los cambios estructurales en el pasto varilla. De nuevo, algunas muestras irradiadas son mantenidas bajo las mismas condiciones que las muestras restantes, pero no son sonicadas, para servir como controles. Además, algunas muestras que no fueron irradiadas son sonicadas, de nuevo para servir como controles. Así, algunos controles no son procesados, algunos son sólo irradiados, y algunos son sólo sonicados.

Ejemplo de referencia 19 - Ensayo microbiano de biomasa pretratada

45 Materiales lignocelulósicos específicos pretratados como se describe en la presente memoria se analizan en cuanto a toxicidad para cepas comunes de levadura y bacterias usadas en la industria de los biocombustibles para la etapa de fermentación en la producción de etanol. Adicionalmente, se examina el contenido de azúcar y la compatibilidad con enzimas de celulosa para determinar la viabilidad del procedimiento de tratamiento. El ensayo de los materiales pretratados se lleva a cabo en dos fases como sigue.

I. Toxicidad y contenido de azúcar

50 La toxicidad de las hierbas pretratadas y materias primas de papel se mide en la levadura *Saccharomyces cerevisiae* (levadura del vino) y *Pichia stipitis* (ATCC 66278) así como las bacterias *Zymomonas mobilis* (ATCC 31821) y *Clostridium thermocellum* (ATCC 31924). Se realiza un estudio de crecimiento con cada uno de los organismos para determinar el tiempo óptimo de incubación y muestreo.

Cada una de las materias primas es incubada después, por duplicado, con *S. cerevisiae*, *P. stipitis*, *Z. mobilis* y *C. thermocellum* en un medio microbiológico estándar para cada organismo. Se usa caldo YM para las dos cepas de levadura, *S. cerevisiae* y *P. stipitis*. Se usa medio RM para *Z. mobilis* y medio CM4 para *C. thermocellum*. Se usa un control positivo, con azúcar puro añadido, pero sin materia prima, para comparación. Durante la incubación, se toma un total de cinco muestras a lo largo de un periodo de 12 horas en el momento 0, 3, 6, 9 y 12 horas, y se analizan en cuanto a viabilidad (recuentos en placa para *Z. mobilis* y recuentos directos para *S. cerevisiae*) y concentración de etanol.

El contenido de azúcar de las materias primas se mide usando Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC, por sus siglas en inglés) equipada con una columna Shodex® sugar SP0810 o bien Biorad Aminex® HPX-87P. Cada una de las materias primas (aprox. 5 g) se mezcla con agua de ósmosis inversa (OR) durante 1 hora. La porción líquida de la mezcla se retira y se analiza en cuanto al contenido de glucosa, galactosa, xilosa, manosa, arabinosa y celobiosa. El análisis se realiza según el protocolo del Centro Nacional de Bioenergía *Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass*.

II. Compatibilidad de celulosa

Las materias primas se ensayan, por duplicado, con el complejo enzimático disponible en el mercado Accellerase® 1000, que contiene un complejo de enzimas que reduce la biomasa lignocelulósica a azúcares fermentables, que incluye dos preparaciones de celulasa diferentes, *Trichoderma reesei* y *Aspergillus nidulans*, a la temperatura y concentración recomendadas en un matraz Erlenmeyer. Los matraces se incuban con agitación moderada a alrededor de 200 rpm durante 12 horas. Durante ese tiempo, se toman muestras cada tres horas en el momento 0, 3, 6, 9 y 12 horas para determinar la concentración de azúcares reductores (Hope y Dean, *Biotech J.*, 1974, 144:403) en la porción líquida de los matraces.

Ejemplo de referencia 20 - Producción de alcohol usando pretratamiento de irradiación-sonicación

El tamaño óptimo para las plantas de conversión de biomasa es afectado por factores que incluyen economías de escala y el tipo y disponibilidad de la biomasa usada como materia prima. Aumentar el tamaño de la planta tiende a aumentar las economías de escala asociadas con procesos de planta. Sin embargo, aumentar el tamaño de la planta también tiende a aumentar los costes (p.ej., costes de transporte) por unidad de materia prima de biomasa. Estudios que analizan estos factores sugieren que el tamaño apropiado para las plantas de conversión de biomasa puede oscilar de 2.000 a 10.000 toneladas secas de materia prima de biomasa por día. La planta descrita a continuación está dimensionada para procesar 2.000 toneladas de materia prima de biomasa seca por día.

La FIG. 39 muestra un procedimiento esquemático de un sistema de conversión de biomasa configurado para procesar pasto varilla. El subsistema de preparación de alimentación procesa materia prima de biomasa bruta para retirar objetos extraños y proporcionar partículas dimensionadas consistentemente para procesamiento adicional. El subsistema de pretratamiento cambia la estructura molecular (p.ej., reduce el peso molecular medio y la cristalinidad) de la materia prima de biomasa irradiando la materia prima de biomasa, mezclando la materia prima de biomasa irradiada con agua para formar una suspensión, y aplicando energía ultrasónica a la suspensión. La irradiación y sonicación convierten los componentes celulósicos y lignocelulósicos de la materia prima de biomasa en materiales fermentables. El subsistema de proceso primario fermenta la glucosa y otros azúcares de bajo peso presentes después del pretratamiento para formar alcoholes.

Preparación de la alimentación

La velocidad de alimentación de diseño seleccionada para la planta es 2.000 toneladas secas por día de biomasa de pasto varilla. La alimentación de diseño es pasto varilla troceado y/o cizallado.

La materia prima de biomasa en la forma de balas de pasto varilla es recibida por la planta. En algunos casos, las balas de pasto varilla están envueltas con red de plástico para asegurar que no se rompan cuando sean manipuladas, y también pueden estar envueltas en película de plástico para proteger la bala de la intemperie. Las balas son cuadradas o bien redondas. Las balas son recibidas en la planta desde un almacén externo en grandes camiones tráiler. Según son recibidos los camiones, son pesados y descargados mediante carretillas elevadoras. Algunas balas son enviadas a un almacén interno, mientras que otras son llevadas directamente a los transportadores.

Dado que el pasto varilla está disponible sólo estacionalmente, se requiere almacenamiento a largo plazo para proporcionar alimentación a la planta todo el año. El almacenamiento a largo plazo consistirá probablemente en 160-200 hectáreas (400-500 acres) de filas de balas apiladas sin tapar en una ubicación (o múltiples ubicaciones) razonablemente cercana a la planta de etanol. Se proporciona almacenamiento a corto plazo en el lugar equivalente a 72 horas de producción en un área de almacenamiento externo. Las balas y vías de acceso circundantes, así como los transportadores, estarán en una losa de cemento. Se usa una losa de cemento debido al volumen del tráfico requerido para entregar la gran cantidad de materia prima de biomasa requerida. Una losa de cemento minimizará la cantidad de agua presente en el área de almacenamiento, así como reducirá la exposición de la materia prima de biomasa a la suciedad. El material almacenado proporciona un suministro a corto plazo para fines de semana, vacaciones y cuando la entrega directa normal del material al proceso es interrumpida.

Las balas son descargadas mediante carretillas elevadoras y son colocadas directamente sobre transportadores de balas o en el área de almacenamiento a corto plazo. Las balas son recuperadas también del almacenamiento a corto plazo mediante carretillas elevadoras y cargadas sobre los transportadores de balas.

5 Las balas viajan a una de dos estaciones de desempaqueado de balas. Las balas desempaquetadas son rotas usando una barra esparcidora y descargadas después sobre un transportador, que hace pasar un separador magnético para retirar metal antes de la trituración. Está provisto un imán de hierro para atrapar metal magnético suelto, y una criba preliminar retira material de tamaño grueso y extraño delante de trenes de trituradoras-cizalladoras múltiples, que reducen la materia prima de biomasa hasta el tamaño apropiado para el pretratamiento. Los trenes de trituradoras-cizalladoras incluyen trituradoras y cortadoras de cuchillas rotatorias. Las trituradoras reducen el tamaño de la materia prima de biomasa bruta y alimentan el material resultante a las cortadoras de cuchillas rotatorias. Las cortadoras de cuchillas rotatorias cizallan simultáneamente la materia prima de biomasa y criban el material resultante. Finalmente, la materia prima de biomasa es transportada al subsistema de pretratamiento.

15 Están provistos tres silos de almacenamiento para limitar el descanso global del sistema debido al mantenimiento requerido y/o interrupciones del equipo del subsistema de preparación de la alimentación. Cada silo puede contener aproximadamente 1.557 metros cúbicos (55.000 pies cúbicos) de materia prima de biomasa (~3 horas de funcionamiento de planta).

Pretratamiento

20 Una cinta transportadora lleva la materia prima de biomasa desde el subsistema 110 de preparación de la alimentación hasta el subsistema 114 de pretratamiento. Como se muestra en la FIG. 40, en el subsistema 114 de pretratamiento, la materia prima de biomasa es irradiada usando emisores de haces de electrones, mezclada con agua para formar una suspensión, y sometida a la aplicación de energía ultrasónica. Como se discutió anteriormente, la irradiación de la materia prima de biomasa cambia la estructura molecular (p.ej., reduce la recalcitrancia, el peso molecular medio y la cristalinidad) de la materia prima de biomasa. Mezclar la materia prima de biomasa irradiada hasta una suspensión y aplicar energía ultrasónica a la suspensión cambia además la estructura molecular de la materia prima de biomasa. La aplicación de la radiación y sonicación en secuencia puede tener efectos sinérgicos en que la combinación de técnicas parece conseguir mayores cambios en la estructura molecular (p.ej., reduce la recalcitrancia, el peso molecular medio y la cristalinidad) que lo que cualquier técnica puede conseguir eficazmente por sí sola. Sin desear estar limitado por la teoría, además de reducir la polimerización de la materia prima de biomasa rompiendo enlaces intramoleculares entre segmentos de componentes celulósicos y lignocelulósicos de la materia prima de biomasa, la irradiación puede hacer a la estructura física global de la materia prima de biomasa más frágil. Después de que se mezcla la materia prima de biomasa frágil en una suspensión, la aplicación de energía ultrasónica cambia adicionalmente la estructura molecular (p.ej., reduce el peso molecular medio y la cristalinidad) y también puede reducir el tamaño de las partículas de la materia prima de biomasa.

35 Irradiación de haz de electrones

La cinta 491 transportadora que lleva la materia prima de biomasa al subsistema de pretratamiento distribuye la materia prima de biomasa en múltiples corrientes de alimentación (p.ej., 50 corrientes de alimentación), conduciendo cada una a emisores 492 de haces de electrones independientes. En esta realización, la materia prima de biomasa es irradiada mientras está seca. Cada corriente de alimentación es llevada en una cinta transportadora independiente a un emisor de haces de electrones asociado. Cada cinta transportadora de alimentación a la irradiación puede ser de aproximadamente un metro de ancho. Antes de alcanzar el emisor de haces de electrones, es inducida una vibración localizada en cada cinta transportadora para distribuir uniformemente la materia prima de biomasa seca sobre la anchura de sección transversal de la cinta transportadora.

45 El emisor 492 de haces de electrones (p.ej., dispositivos de irradiación de haces de electrones disponibles en el mercado en Titan Corporation, San Diego, CA) está configurado para aplicar una dosis de electrones de 100 kiloGrays aplicada a una potencia de 300 kW. Los emisores de haces de electrones son dispositivos de haces de barrido con una anchura de barrido de 1 metro para corresponder con la anchura de la cinta transportadora. En algunas realizaciones, se usan emisores de haces de electrones con anchuras de haz fijas, grandes. Factores que incluyen anchura de cinta/haz, dosis deseada, densidad de la materia prima de biomasa y potencia aplicada gobiernan el número de emisores de haces de electrones requeridos para que la planta procese 2.000 toneladas por día de alimentación seca.

Sonicación

55 La materia prima de biomasa irradiada es mezclada con agua para formar una suspensión antes de aplicar energía ultrasónica. Puede haber un sistema de sonicación independiente asociado con cada corriente de alimentación al haz de electrones, o pueden estar agregadas varias corrientes de haces de electrones como alimentación para un único sistema de sonicación.

En cada sistema de sonicación, la materia prima de biomasa irradiada es alimentada a un reservorio 1214 a través de una primera toma 1232, y se alimenta agua al reservorio 1214 a través de una segunda toma 1234. Válvulas

apropiadas (manuales o automatizadas) controlan el flujo de materia prima de biomasa y el flujo de agua para producir una relación deseada de materia prima de biomasa a agua (p.ej., 105 de material celulósico, peso en volumen). Cada reservorio 1214 incluye un mezclador 1240 para agitar el contenido del volumen 1236 y dispersar la materia prima de biomasa por todo el agua.

- 5 En cada sistema de sonicación, la suspensión es bombeada (p.ej., usando una bomba 1218 de vórtice impulsor perforado) desde el reservorio 1214 hacia y a través de una celda 1224 de flujo que incluye un transductor 1226 ultrasónico. En algunas realizaciones, la bomba 1218 está configurada para agitar la suspensión 1216 de tal modo que la mezcla de la materia prima de biomasa y agua es sustancialmente uniforme en la entrada 1220 de la celda 1224 de flujo. Por ejemplo, la bomba 1218 puede agitar la suspensión 1216 para crear un flujo turbulento que
10 persiste en toda la tubería entre la primera bomba y la entrada 1220 de la celda 1224 de flujo.

Dentro de la celda 1224 de flujo, el transductor 1226 ultrasónico transmite energía ultrasónica a la suspensión 1216 según fluye la suspensión a través de la celda 1224 de flujo. El transductor 1226 ultrasónico convierte energía eléctrica en energía mecánica de alta frecuencia (p.ej., energía ultrasónica), que es entregada entonces a la suspensión mediante el intensificador 1248. Están disponibles en el mercado transductores ultrasónicos (p.ej., en
15 Hielscher USA, Inc. de Ringwood, Nueva Jersey) que son capaces de entregar una potencia continua de 16 kilowatios.

La energía ultrasónica que viaja a través del intensificador 1248 en el volumen 1244 del reactor crea una serie de compresiones y rarefacciones en la corriente 1216 de proceso con una intensidad suficiente para crear cavitación en la corriente 1216 de proceso. la cavitación disgrega componentes de la materia prima de biomasa, incluyendo, por
20 ejemplo, material celulósico y lignocelulósico dispersado en la corriente 1216 de proceso (p.ej., suspensión). La cavitación también produce radicales libres en el agua de la corriente 1216 de proceso (p.ej., suspensión). Estos radicales libres actúan para romper adicionalmente el material celulósico en la corriente 1216 de proceso. En general, se aplican aproximadamente 250 MJ/m³ de energía ultrasónica a la corriente 1216 de proceso que contiene fragmentos de astillas de álamo. Se pueden aplicar otros niveles de energía ultrasónica (entre aproximadamente 5 y
25 aproximadamente 4.000 MJ/m³, p.ej., 10, 25, 50, 100, 250, 500, 750, 1.000, 2.000 o 3.000) a otras materias primas de biomasa. Después de la exposición a energía ultrasónica en el volumen 1244 del reactor, la corriente 1216 de proceso sale de la celda 1224 de flujo a través de la salida 1222.

La celda 1224 de flujo también incluye un intercambiador 1246 de calor en comunicación térmica con al menos una parte del volumen 1244 reactor. Un fluido 1248 refrigerante (p.ej., agua) fluye en el intercambiador 1246 de calor y absorbe el calor generado cuando la corriente 1216 de proceso (p.ej., suspensión) es sonicada en el volumen 1244
30 reactor. En algunas realizaciones, el flujo del fluido 1248 refrigerante en el intercambiador 1246 de calor es controlado para mantener una temperatura aproximadamente constante en el volumen 1244 del reactor. Además o como alternativa, la temperatura del fluido 1248 refrigerante que fluye en el intercambiador 1246 de calor es controlada para mantener una temperatura aproximadamente constante en el volumen 1244 del reactor.

35 La salida 1242 de la celda 1224 de flujo está dispuesta cerca del fondo del reservorio 1214 para inducir una alimentación por gravedad de la corriente 1216 de proceso (p.ej., suspensión) fuera del reservorio 1214 hacia la entrada de una segunda bomba 1230 que bombea la corriente 1216 de proceso (p.ej., suspensión) hacia el subsistema de proceso primario.

40 Los sistemas de sonicación pueden incluir un único camino de flujo (como se describe anteriormente) o múltiples caminos de flujo paralelos, cada uno con una unidad de sonicación individual asociada. Las unidades de sonicación múltiples también pueden estar dispuestas en serie para aumentar la cantidad de energía sónica aplicada a la suspensión.

Procedimientos primarios

45 Un filtro de tipo tambor rotatorio a vacío retira sólidos de la suspensión antes de la fermentación. El líquido del filtro se bombea enfriado antes de entrar en los fermentadores. Los sólidos filtrados son pasados al subsistema de post-procesamiento para procesamiento adicional.

Los tanques de fermentación son recipientes de acero inoxidable, grandes, de baja presión, con fondos cónicos y agitadores de velocidad lenta. Pueden estar dispuestos en serie múltiples tanques de fermentación de primera
50 etapa. La temperatura en los tanques de fermentación de primera etapa es controlada a 30 grados centígrados usando intercambiadores de calor externos. Se añade levadura al tanque de fermentación de primera etapa en la cabeza de cada serie de tanques, y se lleva a los otros tanques en serie.

La segunda etapa de fermentación consiste en dos fermentadores continuos en serie. Ambos fermentadores son agitados continuamente con mezcladores mecánicos de velocidad lenta. La temperatura es controlada con agua fría en intercambiadores externos con recirculación continua. Las bombas de recirculación son de tipo cavidad
55 progresiva debido a la alta concentración de sólidos.

El gas desprendido de los tanques de fermentación y fermentadores es combinado y lavado en una columna de agua a contracorriente antes de ser emitido a la atmósfera. El gas desprendido es lavado para recuperar etanol en

lugar de para control de emisiones de aire.

Post-procesamiento

Destilación

5 Se usa destilación y adsorción en tamices moleculares para recuperar etanol de la cerveza de fermentación bruta, y producen 99,5% de etanol. La destilación se lleva a cabo en dos columnas - la primera, llamada columna de cerveza, retira el CO₂ disuelto y la mayor parte del agua, y la segunda concentra el etanol hasta una composición casi azeotrópica.

10 Toda el agua de la mezcla casi azeotrópica es retirada por adsorción en tamices moleculares en fase de vapor. La regeneración de las columnas de adsorción requiere que se recicle una mezcla de etanol y agua a la destilación para recuperación.

Las purgas de fermentación (que contienen mayoritariamente CO₂, pero también algo de etanol), así como la purga de la columna de cerveza, son depuradas en un depurador de agua, que recupera casi todo el etanol. El efluente del depurador es alimentado a la primera columna de destilación junto con la cerveza de fermentación.

15 Los fondos de la primera destilación contienen todos los sólidos insolubles y disueltos no convertidos. Se retira el agua de los sólidos insolubles mediante un filtro a presión y se envían a un quemador. El líquido del filtro a presión que no es reciclado es concentrado en un evaporador de efecto múltiple usando calor residual de la destilación. El jarabe concentrado del evaporador es mezclado con los sólidos que son enviados al quemador, y el condensado evaporado se usa como agua de reciclado relativamente limpia para el proceso.

20 Debido a que la cantidad de agua residual que puede ser reciclada es limitada, se incluye un evaporador en el proceso. La cantidad total del agua del filtro a presión que es reciclada directamente se ajusta a 25%. Sales orgánicas como acetato o lactato de amonio, componentes de licor de maceración no utilizados por el organismo, o compuestos inorgánicos en la biomasa acaban en esta corriente. Reciclar demasiado de este material puede dar como resultado niveles de fuerza iónica y presiones osmóticas que pueden ser perjudiciales para la eficacia del organismo fermentador. Para el agua que no es reciclada, el evaporador concentra los sólidos disueltos en un jarabe que puede ser enviado al quemador, minimizando la carga para el tratamiento de aguas residuales.

25 Tratamiento de aguas residuales

La sección de tratamiento de aguas residuales trata agua de proceso para su reutilización para reducir los requerimientos de agua de constitución de la planta. El agua residual es cribada inicialmente para retirar partículas grandes, que son recogidas en una tolva y enviadas a un vertedero. El cribado es seguido de digestión anaeróbica y digestión aeróbica para digerir materia orgánica en la corriente. La digestión anaeróbica produce una corriente de biogás que es rica en metano, que es alimentada al quemador. La digestión aeróbica produce una corriente de agua relativamente limpia para su reutilización en el proceso, así como un fango que está compuesto principalmente de masa celular. El fango es quemado también en el quemador. Este esquema de cribado/digestión anaeróbica/digestión aeróbica es estándar dentro de la industria del etanol actual, y pueden ser obtenidas instalaciones en el intervalo de 4.546-22.730 metros cúbicos (1-5 millones de galones) por día como unidades "disponibles para la venta" por los vendedores.

30 Quemador, hervidor y turbogenerador

El propósito del subsistema quemador, hervidor y turbogenerador es quemar diversas corrientes de subproductos para la generación de vapor y electricidad. Por ejemplo, algo de lignina, celulosa y hemicelulosa queda sin convertir a través de los procesos de pretratamiento y primario. La mayoría del agua residual del proceso es concentrada hasta un jarabe alto en sólidos solubles. La digestión anaeróbica del agua residual restante produce un biogás alto en metano. La digestión aeróbica produce una pequeña cantidad de biomasa residual (fango). Quemar estas corrientes de subproductos para generar vapor y electricidad permite que la planta sea autosuficiente en energía, reduce los costes de desecho de residuos sólidos, y genera beneficio adicional mediante ventas de exceso de electricidad.

45 Tres corrientes de combustible primarias (sólidos post-destilados, biogás y jarabe del evaporador) son alimentadas a un quemador de lecho fluidizado circulante. La pequeña cantidad de biomasa residual (fango) del tratamiento del agua residual es enviada también al quemador. Un ventilador mueve aire hacia la cámara de combustión. El agua tratada entra en el circuito del intercambiador de calor en el quemador y es evaporada y sobrecalentada a vapor a 510°C (950°F) y 8,71 MPa (86 atm, 1.265 psia). El gas efluente del quemador precalienta el aire de combustión entrante y entra después en un filtro de tela para retirar particulados, que son llevados a un vertedero. El gas es emitido por una chimenea.

50 Se usa una turbina multietapas y generador para generar electricidad. El vapor es extraído de la turbina a tres condiciones diferentes para inyección en el reactor de pretratamiento e intercambiador de calor en la destilación y evaporación. El vapor restante es condensado con agua de refrigeración y devuelto al sistema de alimentación de

55

agua al hervidor junto con condensado de los diversos intercambiadores de calor en el proceso. Se usa agua de pozo tratada como reconstituyente para reemplazar el vapor usado en la inyección directa.

Ejemplo de referencia 21 - Preparación de pienso para animales a partir de pasto varilla

5 Se adquiere en una granja un palé de pasto varilla de 680 kilogramos (1.500 libras) y se transporta al lugar de procesamiento. El material es alimentado a una trituradora Flinch Baugh de 3 CV a una velocidad de aproximadamente 6,80 a 9,07 kilogramos (15 a 20 libras) por hora. La trituradora está equipada con dos cuchillas rotatorias de 30,48 centímetros (12 pulgadas), dos cuchillas fijas y una criba de descarga de 0,76 centímetros (0,30 pulgadas). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a 0,25 centímetros (0,10 pulgadas). La salida de la trituradora se parece a confeti, que tiene una anchura de entre 0,25 centímetros y 1,27 centímetros (0,1 pulgadas y 10 0,5 pulgadas), una longitud de entre 0,63 centímetros y 2,54 centímetros (0,25 pulgadas y 1 pulgada) y un grosor equivalente al del material de partida. El material parecido a confeti es alimentado a una cortadora de cuchillas rotatorias Munson, Modelo SC30. La criba de descarga tiene aberturas de 0,32 centímetros (1/8 de pulgada). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a aproximadamente 0,05 centímetros (0,020 pulgadas). La cortadora de cuchillas rotatorias cizalla los trozos parecidos a confeti, liberando un material fibroso a una velocidad de aproximadamente 0,454 kilogramos (una libra) por hora. Una longitud media de las fibras es 1,063 mm y una 15 anchura media de las fibras es 0,0245 mm, dando una L/D media de 43:1.

Estas muestras procesadas son densificadas para formar gránulos adecuados para consumo por vacas y otro ganado. Los gránulos son distribuidos a granjas y son almacenados en un silo de almacenamiento. Las cantidades requeridas de gránulos son alimentadas por vaca por día.

20 Ejemplo 22 - Preparación de pienso para animales a partir de pasto varilla

Se adquiere en una granja un palé de pasto varilla de 680 kilogramos (1.500 libras) y se transportan al lugar de procesamiento. El material es alimentado a una trituradora Flinch Baugh de 3 CV a una velocidad de aproximadamente 6,80 a 9,07 kilogramos (15 a 20 libras) por hora. La trituradora está equipada con dos cuchillas rotatorias de 30,48 centímetros (12 pulgadas), dos cuchillas fijas y una criba de descarga de 0,76 centímetros (0,30 25 pulgadas). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a 0,25 centímetros y 1,27 centímetros (0,1 pulgadas y 0,5 pulgadas), una longitud de entre 0,63 centímetros y 2,54 centímetros (0,25 pulgadas y 1 pulgada) y un grosor equivalente al del material de partida. El material parecido a confeti es alimentado a una cortadora de cuchillas rotatorias Munson, Modelo SC30. La criba de descarga tiene aberturas de 0,32 centímetros (1/8 de pulgada). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a aproximadamente 0,05 centímetros (0,020 pulgadas). La cortadora de cuchillas rotatorias cizalla los trozos parecidos a confeti, liberando un material fibroso a una velocidad de aproximadamente 0,454 kilogramos (una libra) por hora. Una longitud media de las fibras es 1,063 mm y una anchura media de las fibras es 0,0245 mm, dando una L/D media de 43:1.

35 Las muestras son tratadas con un haz de electrones usando un acelerador de onda continua Rhodotron® TT200 abovedado que entrega electrones de 5 MeV a 80 kW de potencia de salida. La Tabla 10 describe los parámetros usados. La Tabla 11 reporta la dosis nominal usada.

Tabla 10. Parámetros del Rhodotron® TT 200

Haz	
Haz producido:	Electrones acelerados
Energía del haz:	Nominal (fijo): 10 MeV (+0 keV-250 keV)
Dispersión de energía a 10 MeV:	Anchura completa, mitad del máximo (FWHM) 300 keV
Potencia del haz a 10 MeV:	Intervalo de operación garantizado 1 a 80 kW
Consumo de energía	
Condición de espera (vacío y enfriamiento activados):	<15 kW
A 50 kW de potencia del haz:	<210 kW
A 80 kW de potencia del haz:	<260 kW
Sistema RF	
Frecuencia:	107,5 ± 1 MHz
Tipo de tetrodo:	Thomson TH781

Cuerno de barrido

Longitud de barrido nominal (medida a 25-35 cm de la ventana):	120 cm
Intervalo de barrido:	De 30% a 100% de la longitud de barrido nominal
Frecuencia de barrido nominal (a longitud de barrido máx.):	100 Hz ± 5%
Uniformidad de barrido (a través de 90% de longitud de barrido nominal)	± 5%

Tabla 11. Dosificaciones entregadas a las muestras

Dosificación total (Mrad)
1
3
5
7
10
15
20
30
50
70
100

5 Estas muestras procesadas son densificadas para formar gránulos adecuados para consumo por vacas y otro ganado. Los gránulos son distribuidos a granjas y son almacenados en un silo de almacenamiento. Los gránulos son dados como alimento a vacas y otro ganado.

Ejemplo de referencia 23 - Preparación de pienso para animales a partir de alfalfa

10 Se alimenta un palé de alfalfa de 680 kilogramos (1.500 libras) a una trituradora Flinch Baugh de 3 CV a una velocidad de aproximadamente 6,80 a 9,07 kilogramos (15 a 20 libras) por hora. La trituradora está equipada con dos cuchillas rotatorias de 30,48 centímetros (12 pulgadas), dos cuchillas fijas y una criba de descarga de 0,76 centímetros (0,30 pulgadas). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a 0,25 centímetros (0,10 pulgadas). La salida de la trituradora se parece a confeti, que tiene una anchura de entre 0,25 centímetros y 1,27 centímetros (0,1 pulgadas y 0,5 pulgadas), una longitud de entre 0,63 centímetros y 2,54 centímetros (0,25 pulgadas y 1 pulgada) y un grosor equivalente al del material de partida. El material parecido a confeti es alimentado a una

15 cortadora de cuchillas rotatorias Munson, Modelo SC30. La criba de descarga tiene aberturas de 0,32 centímetros (1/8 de pulgada). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a aproximadamente 0,05 centímetros (0,020 pulgadas). La cortadora de cuchillas rotatorias cizalla los trozos parecidos a confeti, liberando un material fibroso a una velocidad de aproximadamente 0,454 kilogramos (una libra) por hora. Una longitud media de las fibras es 1,063 mm y una anchura media de las fibras es 0,0245 mm, dando una L/D media de 43:1.

20 Estas muestras procesadas son densificadas para formar gránulos adecuados para consumo por vacas y otro ganado. Los gránulos son distribuidos a granjas y son almacenados en un silo de almacenamiento. Los gránulos son dados como alimento a vacas y otro ganado.

Ejemplo 24 - Preparación de pienso para animales a partir de alfalfa

Se alimenta un palé de alfalfa de 680 kilogramos (1.500 libras) a una trituradora Flinch Baugh de 3 CV a una velocidad de aproximadamente 6,80 a 9,07 kilogramos (15 a 20 libras) por hora. La trituradora está equipada con dos cuchillas rotatorias de 30,48 centímetros (12 pulgadas), dos cuchillas fijas y una criba de descarga de 0,76 centímetros (0,30 pulgadas). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a 0,25 centímetros (0,10 pulgadas). La salida de la trituradora se parece a confeti, que tiene una anchura de entre 0,25 centímetros y 1,27 centímetros (0,1 pulgadas y 0,5 pulgadas), una longitud de entre 0,63 centímetros y 2,54 centímetros (0,25 pulgadas y 1 pulgada) y un grosor equivalente al del material de partida. El material parecido a confeti es alimentado a una cortadora de cuchillas rotatorias Munson, Modelo SC30. La criba de descarga tiene aberturas de 0,32 centímetros (1/8 de pulgada). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a aproximadamente 0,05 centímetros (0,020 pulgadas). La cortadora de cuchillas rotatorias cizalla los trozos parecidos a confeti, liberando un material fibroso a una velocidad de aproximadamente 0,454 kilogramos (una libra) por hora. Una longitud media de las fibras es 1,063 mm y una anchura media de las fibras es 0,0245 mm, dando una L/D media de 43:1.

Las muestras son tratadas con un haz de electrones usando un acelerador de onda continua Rhodotron® TT200 abovedado que entrega electrones de 5 MeV a 80 kW de potencia de salida. La Tabla 10 describe los parámetros usados. La Tabla 11 reporta la dosis nominal usada.

Estas muestras procesadas son densificadas para formar gránulos adecuados para consumo por vacas y otro ganado. Los gránulos son distribuidos a granjas y son almacenados en un silo de almacenamiento. Los gránulos son dados como alimento a vacas y otro ganado.

Ejemplo de referencia 25 - Preparación de pienso para animales a partir de papel

Se aplana un palé de papel de 680 kilogramos (1.500 libras), y se alimenta a una trituradora Flinch Baugh de 3 CV a una velocidad de aproximadamente 6,80 a 9,07 kilogramos (15 a 20 libras) por hora. La trituradora está equipada con dos cuchillas rotatorias de 30,48 centímetros (12 pulgadas), dos cuchillas fijas y una criba de descarga de 0,76 centímetros (0,30 pulgadas). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a 0,25 centímetros (0,10 pulgadas). La salida de la trituradora se parece a confeti, que tiene una anchura de entre 0,25 centímetros y 1,27 centímetros (0,1 pulgadas y 0,5 pulgadas), una longitud de entre 0,63 centímetros y 2,54 centímetros (0,25 pulgadas y 1 pulgada) y un grosor equivalente al del material de partida. El material parecido a confeti es alimentado a una cortadora de cuchillas rotatorias Munson, Modelo SC30. La criba de descarga tiene aberturas de 0,32 centímetros (1/8 de pulgada). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a aproximadamente 0,05 centímetros (0,020 pulgadas). La cortadora de cuchillas rotatorias cizalla los trozos parecidos a confeti, liberando un material fibroso a una velocidad de aproximadamente 0,454 kilogramos (una libra) por hora. Una longitud media de las fibras es 1,063 mm y una anchura media de las fibras es 0,0245 mm, dando una L/D media de 43:1.

Estas muestras procesadas son densificadas para formar gránulos adecuados para consumo por vacas y otro ganado. Los gránulos son distribuidos a granjas y son almacenados en un silo de almacenamiento. Los gránulos son dados como alimento a vacas y otro ganado.

Ejemplo 26 - Preparación de pienso para animales a partir de papel

Se alimenta un palé de papel de 680 kilogramos (1.500 libras) a una trituradora Flinch Baugh de 3 CV a una velocidad de aproximadamente 6,80 a 9,07 kilogramos (15 a 20 libras) por hora. La trituradora está equipada con dos cuchillas rotatorias de 30,48 centímetros (12 pulgadas), dos cuchillas fijas y una criba de descarga de 0,76 centímetros (0,30 pulgadas). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a 0,25 centímetros (0,10 pulgadas). La salida de la trituradora se parece a confeti, que tiene una anchura de entre 0,25 centímetros y 1,27 centímetros (0,1 pulgadas y 0,5 pulgadas), una longitud de entre 0,63 centímetros y 2,54 centímetros (0,25 pulgadas y 1 pulgada) y un grosor equivalente al del material de partida. El material parecido a confeti es alimentado a una cortadora de cuchillas rotatorias Munson, Modelo SC30. La criba de descarga tiene aberturas de 0,32 centímetros (1/8 de pulgada). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a aproximadamente 0,05 centímetros (0,020 pulgadas). La cortadora de cuchillas rotatorias cizalla los trozos parecidos a confeti, liberando un material fibroso a una velocidad de aproximadamente 0,454 kilogramos (una libra) por hora. Una longitud media de las fibras es 1,063 mm y una anchura media de las fibras es 0,0245 mm, dando una L/D media de 43:1.

Las muestras son tratadas con un haz de electrones usando un acelerador de onda continua Rhodotron® TT200 abovedado que entrega electrones de 5 MeV a 80 kW de potencia de salida. La Tabla 10 describe los parámetros usados. La Tabla 11 reporta la dosis nominal usada.

Estas muestras procesadas son densificadas para formar gránulos adecuados para consumo por vacas y otro ganado. Los gránulos son distribuidos a granjas y son almacenados en un silo de almacenamiento. Los gránulos son dados como alimento a vacas y otro ganado.

Ejemplo de referencia 27 - Preparación de pienso para animales a partir de hierba

Se alimenta un contenedor de hierba de 680 kilogramos (1.500 libras) a una trituradora Flinch Baugh de 3 CV a una

velocidad de aproximadamente 6,80 a 9,07 kilogramos (15 a 20 libras) por hora. La trituradora está equipada con dos cuchillas rotatorias de 30,48 centímetros (12 pulgadas), dos cuchillas fijas y una criba de descarga de 0,76 centímetros (0,30 pulgadas). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a 0,25 centímetros (0,10 pulgadas). La salida de la trituradora se parece a confeti, que tiene una anchura de entre 0,25 centímetros y 1,27 centímetros (0,1 pulgadas y 0,5 pulgadas), una longitud de entre 0,63 centímetros y 2,54 centímetros (0,25 pulgadas y 1 pulgada) y un grosor equivalente al del material de partida. El material parecido a confeti es alimentado a una cortadora de cuchillas rotatorias Munson, Modelo SC30. La criba de descarga tiene aberturas de 0,32 centímetros (1/8 de pulgada). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a aproximadamente 0,05 centímetros (0,020 pulgadas). La cortadora de cuchillas rotatorias cizalla los trozos parecidos a confeti, liberando un material fibroso a una velocidad de aproximadamente 0,454 kilogramos (una libra) por hora. Una longitud media de las fibras es 1,063 mm y una anchura media de las fibras es 0,0245 mm, dando una L/D media de 43:1.

Estas muestras procesadas son densificadas para formar gránulos adecuados para consumo por vacas y otro ganado. Los gránulos son distribuidos a granjas y son almacenados en un silo de almacenamiento. Los gránulos son dados como alimento a vacas y otro ganado.

15 Ejemplo 28 - Preparación de pienso para animales a partir de hierba

Se alimenta un contenedor de hierba de 680 kilogramos (1.500 libras) a una trituradora Flinch Baugh de 3 CV a una velocidad de aproximadamente 6,80 a 9,07 kilogramos (15 a 20 libras) por hora. La trituradora está equipada con dos cuchillas rotatorias de 30,48 centímetros (12 pulgadas), dos cuchillas fijas y una criba de descarga de 0,76 centímetros (0,30 pulgadas). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a 0,25 centímetros (0,10 pulgadas). La salida de la trituradora se parece a confeti, que tiene una anchura de entre 0,25 centímetros y 1,27 centímetros (0,1 pulgadas y 0,5 pulgadas), una longitud de entre 0,63 centímetros y 2,54 centímetros (0,25 pulgadas y 1 pulgada) y un grosor equivalente al del material de partida. El material parecido a confeti es alimentado a una cortadora de cuchillas rotatorias Munson, Modelo SC30. La criba de descarga tiene aberturas de 0,32 centímetros (1/8 de pulgada). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a aproximadamente 0,05 centímetros (0,020 pulgadas). La cortadora de cuchillas rotatorias cizalla los trozos parecidos a confeti, liberando un material fibroso a una velocidad de aproximadamente 0,454 kilogramos (una libra) por hora. Una longitud media de las fibras es 1,063 mm y una anchura media de las fibras es 0,0245 mm, dando una L/D media de 43:1.

Las muestras son tratadas con un haz de electrones usando un acelerador de onda continua Rhodotron® TT200 que entrega electrones de 5 MeV a 80 kW de potencia de salida. La Tabla 10 describe los parámetros usados. La Tabla 11 reporta la dosis nominal usada.

Estas muestras procesadas son densificadas para formar gránulos adecuados para consumo por vacas y otro ganado. Los gránulos son distribuidos a granjas y son almacenados en un silo de almacenamiento. Los gránulos son dados como alimento a vacas y otro ganado.

Ejemplo de referencia 29 - Preparación de pienso para animales a partir de paja de trigo

Se alimenta un palé de paja de trigo de 680 kilogramos (1.500 libras) a una trituradora Flinch Baugh de 3 CV a una velocidad de aproximadamente 6,80 a 9,07 kilogramos (15 a 20 libras) por hora. La trituradora está equipada con dos cuchillas rotatorias de 30,48 centímetros (12 pulgadas), dos cuchillas fijas y una criba de descarga de 0,76 centímetros (0,30 pulgadas). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a 0,25 centímetros (0,10 pulgadas). La salida de la trituradora se parece a confeti, que tiene una anchura de entre 0,25 centímetros y 1,27 centímetros (0,1 pulgadas y 0,5 pulgadas), una longitud de entre 0,63 centímetros y 2,54 centímetros (0,25 pulgadas y 1 pulgada) y un grosor equivalente al del material de partida. El material parecido a confeti es alimentado a una cortadora de cuchillas rotatorias Munson, Modelo SC30. La criba de descarga tiene aberturas de 0,32 centímetros (1/8 de pulgada). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a aproximadamente 0,05 centímetros (0,020 pulgadas). La cortadora de cuchillas rotatorias cizalla los trozos parecidos a confeti, liberando un material fibroso a una velocidad de aproximadamente 0,454 kilogramos (una libra) por hora. Una longitud media de las fibras es 1,063 mm y una anchura media de las fibras es 0,0245 mm, dando una L/D media de 43:1.

Las muestras procesadas son densificadas para formar gránulos adecuados para consumo por vacas y otro ganado. Los gránulos son distribuidos a granjas y son almacenados en un silo de almacenamiento. Estos gránulos son dados como alimento a vacas y otro ganado.

50 Ejemplo 30 - Preparación de pienso para animales a partir de paja de trigo

Se alimenta un palé de paja de trigo de 680 kilogramos (1.500 libras) a una trituradora Flinch Baugh de 3 CV a una velocidad de aproximadamente 6,80 a 9,07 kilogramos (15 a 20 libras) por hora. La trituradora está equipada con dos cuchillas rotatorias de 30,48 centímetros (12 pulgadas), dos cuchillas fijas y una criba de descarga de 0,76 centímetros (0,30 pulgadas). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a 0,25 centímetros (0,10 pulgadas). La salida de la trituradora se parece a confeti, que tiene una anchura de entre 0,25 centímetros y 1,27 centímetros (0,1 pulgadas y 0,5 pulgadas), una longitud de entre 0,63 centímetros y 2,54 centímetros (0,25 pulgadas y 1 pulgada) y un grosor equivalente al del material de partida. El material parecido a confeti es alimentado a una cortadora de cuchillas rotatorias Munson, Modelo SC30. La criba de descarga tiene aberturas de 0,32 centímetros

(1/8 de pulgada). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a aproximadamente 0,05 centímetros (0,020 pulgadas). La cortadora de cuchillas rotatorias cizalla los trozos parecidos a confeti, liberando un material fibroso a una velocidad de aproximadamente 0,454 kilogramos (una libra) por hora. Una longitud media de las fibras es 1,063 mm y una anchura media de las fibras es 0,0245 mm, dando una L/D media de 43:1.

- 5 Las muestras son tratadas con un haz de electrones usando un acelerador de onda continua Rhodotron® TT200 que entrega electrones de 5 MeV a 80 kW de potencia de salida. La Tabla 10 describe los parámetros usados. La Tabla 11 reporta la dosis nominal usada.

Estas muestras procesadas son densificadas para formar gránulos adecuados para consumo por vacas y otro ganado. Los gránulos son distribuidos a granjas y son almacenados en un silo de almacenamiento. Los gránulos son dados como alimento a vacas y otro ganado.

10

Ejemplo de referencia 31 - Preparación de pienso para animales a partir de biomasa

Se alimentan por separado palés de pasto varilla, alfalfa, papel, hierba y paja de trigo de 680 kilogramos (1.500 libras) a una trituradora Flinch Baugh de 3 CV a una velocidad de aproximadamente 6,80 a 9,07 kilogramos (15 a 20 libras) por hora. La trituradora está equipada con dos cuchillas rotatorias de 30,48 centímetros (12 pulgadas), dos cuchillas fijas y una criba de descarga de 0,76 centímetros (0,30 pulgadas). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a 0,25 centímetros (0,10 pulgadas). La salida de la trituradora se parece a confeti, que tiene una anchura de entre 0,25 centímetros y 1,27 centímetros (0,1 pulgadas y 0,5 pulgadas), una longitud de entre 0,63 centímetros y 2,54 centímetros (0,25 pulgadas y 1 pulgada) y un grosor equivalente al del material de partida. El material parecido a confeti es alimentado a una cortadora de cuchillas rotatorias Munson, Modelo SC30. La criba de descarga tiene aberturas de 0,32 centímetros (1/8 de pulgada). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a aproximadamente 0,05 centímetros (0,020 pulgadas). La cortadora de cuchillas rotatorias cizalla los trozos parecidos a confeti, liberando un material fibroso a una velocidad de aproximadamente 0,454 kilogramos (una libra) por hora. Una longitud media de las fibras es 1,063 mm y una anchura media de las fibras es 0,0245 mm, dando una L/D media de 43:1.

15

20

25

Las muestras procesadas son combinadas y densificadas para formar gránulos adecuados para consumo por vacas y otro ganado. Los gránulos son distribuidos a granjas y son almacenados en un silo de almacenamiento. Estos gránulos son dados como alimento a vacas y otro ganado.

Ejemplo 32 - Preparación de pienso para animales a partir de biomasa

Se alimentan por separado palés de pasto varilla, alfalfa, papel, hierba y paja de trigo de 680 kilogramos (1.500 libras) a una trituradora Flinch Baugh de 3 CV a una velocidad de aproximadamente 6,80 a 9,07 kilogramos (15 a 20 libras) por hora. La trituradora está equipada con dos cuchillas rotatorias de 30,48 centímetros (12 pulgadas), dos cuchillas fijas y una criba de descarga de 0,76 centímetros (0,30 pulgadas). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a 0,25 centímetros (0,10 pulgadas). La salida de la trituradora se parece a confeti, que tiene una anchura de entre 0,25 centímetros y 1,27 centímetros (0,1 pulgadas y 0,5 pulgadas), una longitud de entre 0,63 centímetros y 2,54 centímetros (0,25 pulgadas y 1 pulgada) y un grosor equivalente al del material de partida. El material parecido a confeti es alimentado a una cortadora de cuchillas rotatorias Munson, Modelo SC30. La criba de descarga tiene aberturas de 0,32 centímetros (1/8 de pulgada). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a aproximadamente 0,05 centímetros (0,020 pulgadas). La cortadora de cuchillas rotatorias cizalla los trozos parecidos a confeti, liberando un material fibroso a una velocidad de aproximadamente 0,454 kilogramos (una libra) por hora. Una longitud media de las fibras es 1,063 mm y una anchura media de las fibras es 0,0245 mm, dando una L/D media de 43:1.

30

35

40

Las muestras son tratadas con un haz de electrones usando un acelerador de onda continua Rhodotron® TT200 que entrega electrones de 5 MeV a 80 kW de potencia de salida. La Tabla 10 describe los parámetros usados. La Tabla 11 reporta la dosis nominal usada.

45

Las muestras procesadas son combinadas y densificadas para formar gránulos adecuados para consumo por vacas y otro ganado. Los gránulos son distribuidos a granjas y son almacenados en un silo de almacenamiento. Los gránulos son dados como alimento a vacas y otro ganado.

Ejemplo de referencia 33 - Preparación de pienso para animales a partir de biomasa

Se alimentan por separado palés de pasto varilla, alfalfa, papel, hierba y paja de trigo de 680 kilogramos (1.500 libras) a una trituradora Flinch Baugh de 3 CV a una velocidad de aproximadamente 6,80 a 9,07 kilogramos (15 a 20 libras) por hora. La trituradora está equipada con dos cuchillas rotatorias de 30,48 centímetros (12 pulgadas), dos cuchillas fijas y una criba de descarga de 0,76 centímetros (0,30 pulgadas). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a 0,25 centímetros (0,10 pulgadas). La salida de la trituradora se parece a confeti, que tiene una anchura de entre 0,25 centímetros y 1,27 centímetros (0,1 pulgadas y 0,5 pulgadas), una longitud de entre 0,63 centímetros y 2,54 centímetros (0,25 pulgadas y 1 pulgada) y un grosor equivalente al del material de partida. El material parecido a confeti es alimentado a una cortadora de cuchillas rotatorias Munson, Modelo SC30. La criba de descarga tiene aberturas de 0,32 centímetros (1/8 de pulgada). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se

50

55

ajusta a aproximadamente 0,05 centímetros (0,020 pulgadas). La cortadora de cuchillas rotatorias cizalla los trozos parecidos a confeti, liberando un material fibroso a una velocidad de aproximadamente 0,454 kilogramos (una libra) por hora. Una longitud media de las fibras es 1,063 mm y una anchura media de las fibras es 0,0245 mm, dando una L/D media de 43:1.

- 5 Las muestras procesadas son densificadas para formar gránulos adecuados para consumo por vacas y otro ganado. Los gránulos son distribuidos a granjas y son almacenados en un silo de almacenamiento. Estos gránulos son dados como alimento a vacas y otro ganado.

Ejemplo 34 - Preparación de pienso para animales a partir de biomasa

10 Se alimentan por separado palés de pasto varilla, alfalfa, papel, hierba y paja de trigo de 680 kilogramos (1.500 libras) a una trituradora Flinch Baugh de 3 CV a una velocidad de aproximadamente 6,80 a 9,07 kilogramos (15 a 20 libras) por hora. La trituradora está equipada con dos cuchillas rotatorias de 30,48 centímetros (12 pulgadas), dos cuchillas fijas y una criba de descarga de 0,76 centímetros (0,30 pulgadas). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a 0,25 centímetros (0,10 pulgadas). La salida de la trituradora se parece a confeti, que tiene una anchura de entre 0,25 centímetros y 1,27 centímetros (0,1 pulgadas y 0,5 pulgadas), una longitud de entre 0,63 centímetros y 2,54 centímetros (0,25 pulgadas y 1 pulgada) y un grosor equivalente al del material de partida. El material parecido a confeti es alimentado a una cortadora de cuchillas rotatorias Munson, Modelo SC30. La criba de descarga tiene aberturas de 0,32 centímetros (1/8 de pulgada). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a aproximadamente 0,05 centímetros (0,020 pulgadas). La cortadora de cuchillas rotatorias cizalla los trozos parecidos a confeti, liberando un material fibroso a una velocidad de aproximadamente 0,454 kilogramos (una libra) por hora. Una longitud media de las fibras es 1,063 mm y una anchura media de las fibras es 0,0245 mm, dando una L/D media de 43:1.

Las muestras son tratadas con un haz de electrones usando un acelerador de onda continua Rhodotron® TT200 que entrega electrones de 5 MeV a 80 kW de potencia de salida. La Tabla 10 describe los parámetros usados. La Tabla 11 reporta la dosis nominal usada.

- 25 Las muestras procesadas son densificadas para formar gránulos adecuados para consumo por vacas y otro ganado. Los gránulos son distribuidos a granjas y son almacenados en un silo de almacenamiento. Estos gránulos son dados como alimento a vacas y otro ganado.

Ejemplo de referencia 35 - Preparación de pienso para animales a partir de biomasa

30 Se alimentan por separado palés de pasto varilla, alfalfa, papel, hierba y paja de trigo de 680 kilogramos (1.500 libras) a una trituradora Flinch Baugh de 3 CV a una velocidad de aproximadamente 6,80 a 9,07 kilogramos (15 a 20 libras) por hora. La trituradora está equipada con dos cuchillas rotatorias de 30,48 centímetros (12 pulgadas), dos cuchillas fijas y una criba de descarga de 0,76 centímetros (0,30 pulgadas). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a 0,25 centímetros (0,10 pulgadas). La salida de la trituradora se parece a confeti, que tiene una anchura de entre 0,25 centímetros y 1,27 centímetros (0,1 pulgadas y 0,5 pulgadas), una longitud de entre 0,63 centímetros y 2,54 centímetros (0,25 pulgadas y 1 pulgada) y un grosor equivalente al del material de partida. El material parecido a confeti es alimentado a una cortadora de cuchillas rotatorias Munson, Modelo SC30. La criba de descarga tiene aberturas de 0,32 centímetros (1/8 de pulgada). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a aproximadamente 0,05 centímetros (0,020 pulgadas). La cortadora de cuchillas rotatorias cizalla los trozos parecidos a confeti, liberando un material fibroso a una velocidad de aproximadamente 0,454 kilogramos (una libra) por hora. Una longitud media de las fibras es 1,063 mm y una anchura media de las fibras es 0,0245 mm, dando una L/D media de 43:1.

Las muestras procesadas se combinan con granos de destilería secos (DDG) para producir una mezcla adecuada para consumo por vacas y otro ganado. Estas mezclas son distribuidas a granjas y son almacenadas en un silo de almacenamiento. Estos gránulos son dados como alimento a vacas y otro ganado.

- 45 Ejemplo 36 - Preparación de pienso para animales a partir de biomasa

Se alimentan por separado palés de pasto varilla, alfalfa, papel, hierba y paja de trigo de 680 kilogramos (1.500 libras) a una trituradora Flinch Baugh de 3 CV a una velocidad de aproximadamente 6,80 a 9,07 kilogramos (15 a 20 libras) por hora. La trituradora está equipada con dos cuchillas rotatorias de 30,48 centímetros (12 pulgadas), dos cuchillas fijas y una criba de descarga de 0,76 centímetros (0,30 pulgadas). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a 0,25 centímetros (0,10 pulgadas). La salida de la trituradora se parece a confeti, que tiene una anchura de entre 0,25 centímetros y 1,27 centímetros (0,1 pulgadas y 0,5 pulgadas), una longitud de entre 0,63 centímetros y 2,54 centímetros (0,25 pulgadas y 1 pulgada) y un grosor equivalente al del material de partida. El material parecido a confeti es alimentado a una cortadora de cuchillas rotatorias Munson, Modelo SC30. La criba de descarga tiene aberturas de 0,32 centímetros (1/8 de pulgada). El hueco entre las cuchillas rotatorias y fijas se ajusta a aproximadamente 0,05 centímetros (0,020 pulgadas). La cortadora de cuchillas rotatorias cizalla los trozos parecidos a confeti, liberando un material fibroso a una velocidad de aproximadamente 0,454 kilogramos (una libra) por hora. Una longitud media de las fibras es 1,063 mm y una anchura media de las fibras es 0,0245 mm, dando una L/D media de 43:1.

Las muestras son tratadas con un haz de electrones usando un acelerador de onda continua Rhodotron® TT200 que entrega electrones de 5 MeV a 80 kW de potencia de salida. La Tabla 10 describe los parámetros usados. La Tabla 11 reporta la dosis nominal usada.

- 5 Las muestras procesadas son combinadas con granos de destilerías secos (DDG) para producir una mezcla adecuada para consumo por vacas y otro ganado. Estas mezclas son distribuidas a granjas y son almacenadas en un silo de almacenamiento. Estos gránulos son dados como alimento a vacas y otro ganado.

Ejemplo 37 - Cultivo en granja autosuficiente

- 10 Un granjero recoge una cosecha de pasto varilla y la envía para procesamiento a una planta de procesamiento. El pasto varilla es procesado como se describe en el Ejemplo 21. El material procesado es suministrado al granjero en la forma de un gránulo que es dado como alimento a las vacas del granjero y otro ganado.

Ejemplo 38 - Cultivo en granja autosuficiente

Un granjero recoge una cosecha de pasto varilla y la envía para procesamiento a una planta de procesamiento. El pasto varilla es procesado como se describe en el Ejemplo 22. El material procesado es suministrado al granjero en la forma de un gránulo que es dado como alimento a las vacas del granjero y otro ganado.

- 15 Ejemplo 39 - Cultivo en granja autosuficiente

Un granjero recoge una cosecha de pasto varilla y procesa el material usando un equipo ubicado en el lugar de la granja. El pasto varilla es procesado como se describe en el Ejemplo 21. El material procesado es dado como alimento a las vacas del granjero y otro ganado.

Ejemplo 40 - Cultivo en granja autosuficiente

- 20 Un granjero recoge una cosecha de pasto varilla y procesa el material usando un equipo ubicado en el lugar de la granja. El pasto varilla es procesado como se describe en el Ejemplo 22. El material procesado es dado como alimento a las vacas del granjero y otro ganado.

Procesamiento de biomasa móvil

- 25 Se han descrito instalaciones de procesamiento estacionarias para procesar biomasa. Sin embargo, dependiendo de la fuente de materia prima de biomasa y los productos producidos a partir de la misma, puede ser ventajoso procesar biomasa en instalaciones móviles que pueden estar ubicadas cerca de la fuente de la materia prima y/o cerca de mercados diana para productos producidos a partir de la materia prima. Como ejemplo, en algunas realizaciones, se usan diversas hierbas tales como pasto varilla como materia prima de biomasa. Transportar volúmenes grandes de pasto varilla desde los campos donde crece hasta instalaciones de procesamiento a cientos o miles de kilómetros puede ser costoso, tanto energéticamente como económicamente (por ejemplo, se estima que el transporte de materia prima en tren cuesta entre 3,00 dólares y 6,00 dólares por tonelada por 800 kilómetros (500 millas)). Además, algunos de los productos del procesamiento de materia prima de pasto varilla pueden ser adecuados para mercados en regiones donde se cultiva materia prima de biomasa (p.ej., pienso de rumiantes para materia prima). Una vez más, transportar pienso de rumiantes cientos o miles de kilómetros al mercado puede no ser económicamente viable.
- 30
- 35

REIVINDICACIONES

1. Un método para preparar un material de alimentación, método que comprende:
- 5 cambiar la estructura molecular de los polisacáridos de una biomasa que contiene polisacáridos en forma de celulosa exponiendo la biomasa a un haz de electrones de un dispositivo de irradiación de haces de electrones que tiene una potencia de al menos 1 kW y hasta 500 kW, para producir un material de alimentación que tiene una disponibilidad de nutrientes mayor que la disponibilidad de nutrientes de la biomasa, y en donde el método no comprende el uso de un microorganismo.
2. El método de la reivindicación 1, que comprende además proporcionar el material de alimentación a un animal, en particular a un ser humano, o a un cultivo.
- 10 3. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, que comprende además utilizar el material de alimentación en agricultura, en particular en una solución hidropónica, o en acuicultura.
4. El método de la reivindicación 1, en donde el haz de electrones aplica radiación a la biomasa a una tasa de dosis de 1 Mrad/s a 10 Mrad/s.
5. El método de la reivindicación 1, en donde la biomasa comprende un material lignocelulósico.
- 15 6. El método de la reivindicación 1, en donde la biomasa se selecciona del grupo que consiste en hierbas, cáscaras de arroz, bagazo, yute, cáñamo, lino, bambú, sisal, abacá, paja, mazorcas de maíz, forraje de maíz, alfalfa, heno, pelo de coco, algas marinas y mezclas de los mismos.
7. El método de la reivindicación 6, en donde la biomasa comprende mazorcas de maíz o forraje de maíz.
8. El método de la reivindicación 1, en donde la biomasa recibe una dosis de radiación de al menos 2,5 Mrad.
- 20 9. El método de la reivindicación 1, en donde la biomasa recibe una dosis de radiación de al menos 5,0 Mrad.
10. El método de la reivindicación 1, en donde la disponibilidad de nutrientes se determina alimentando cantidades iguales del material de alimentación y biomasa al menos a dos grupos distintos de uno o más animales y determinando la pérdida fecal de uno o más nutrientes durante un periodo de tiempo definido.
- 25 11. El método de la reivindicación 1, en donde el material es procesado adicionalmente para aumentar la esterilidad del material, y/o retirar, inactivar y/o neutralizar materiales que puedan estar presentes en la biomasa.
12. El método de la reivindicación 1, en donde el material es sometido a densificación para aumentar la densidad aparente del material.
13. El método de la reivindicación 1, en donde el material está en una forma sólida.
- 30 14. El método de la reivindicación 13, en donde la forma sólida es un polvo, comprimido, bloque mineral, gránulo, bizcocho o una mezcla de material no procesado y un material procesado.

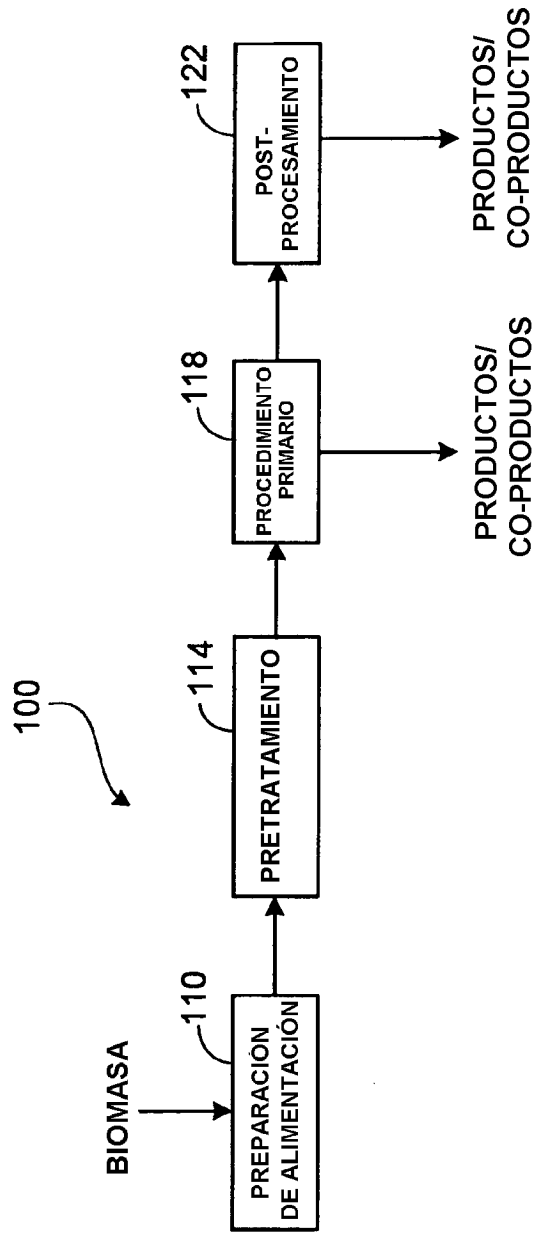


FIG. 1

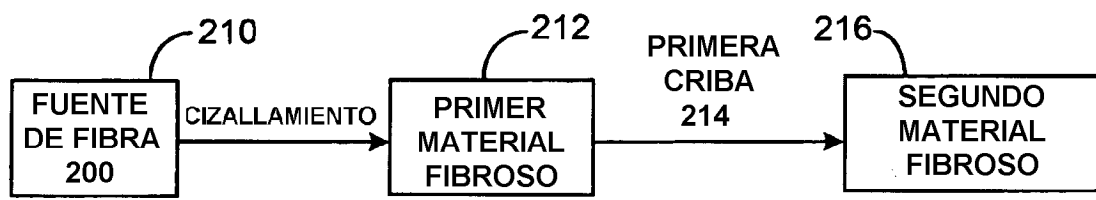
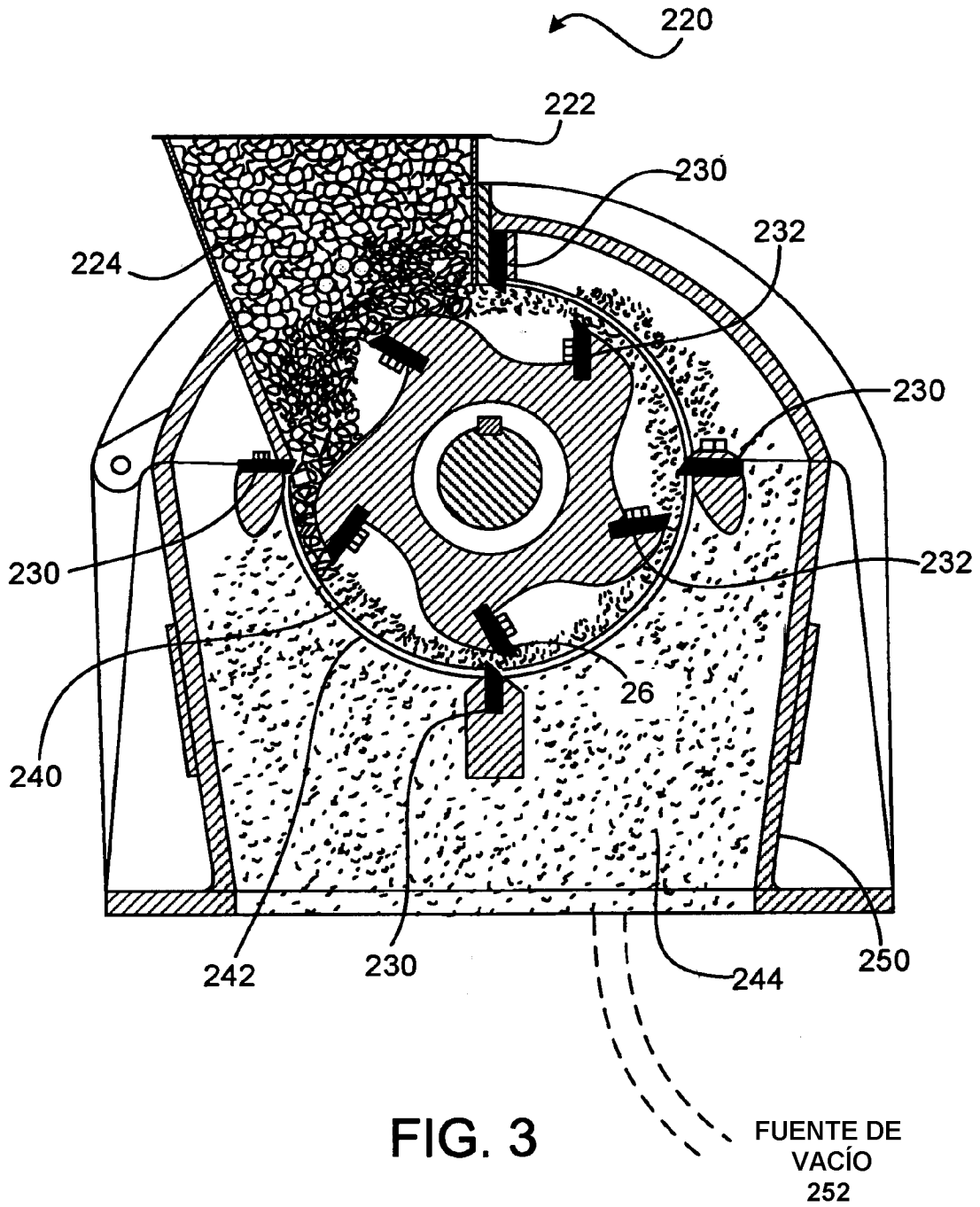


FIG. 2



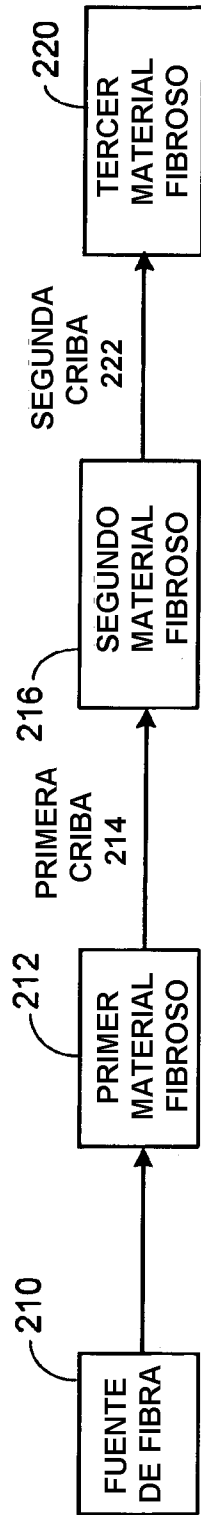


FIG. 4

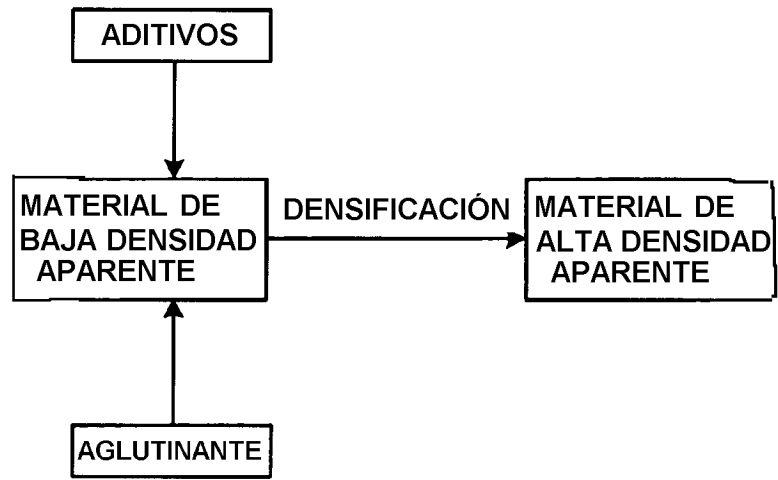


FIG. 5

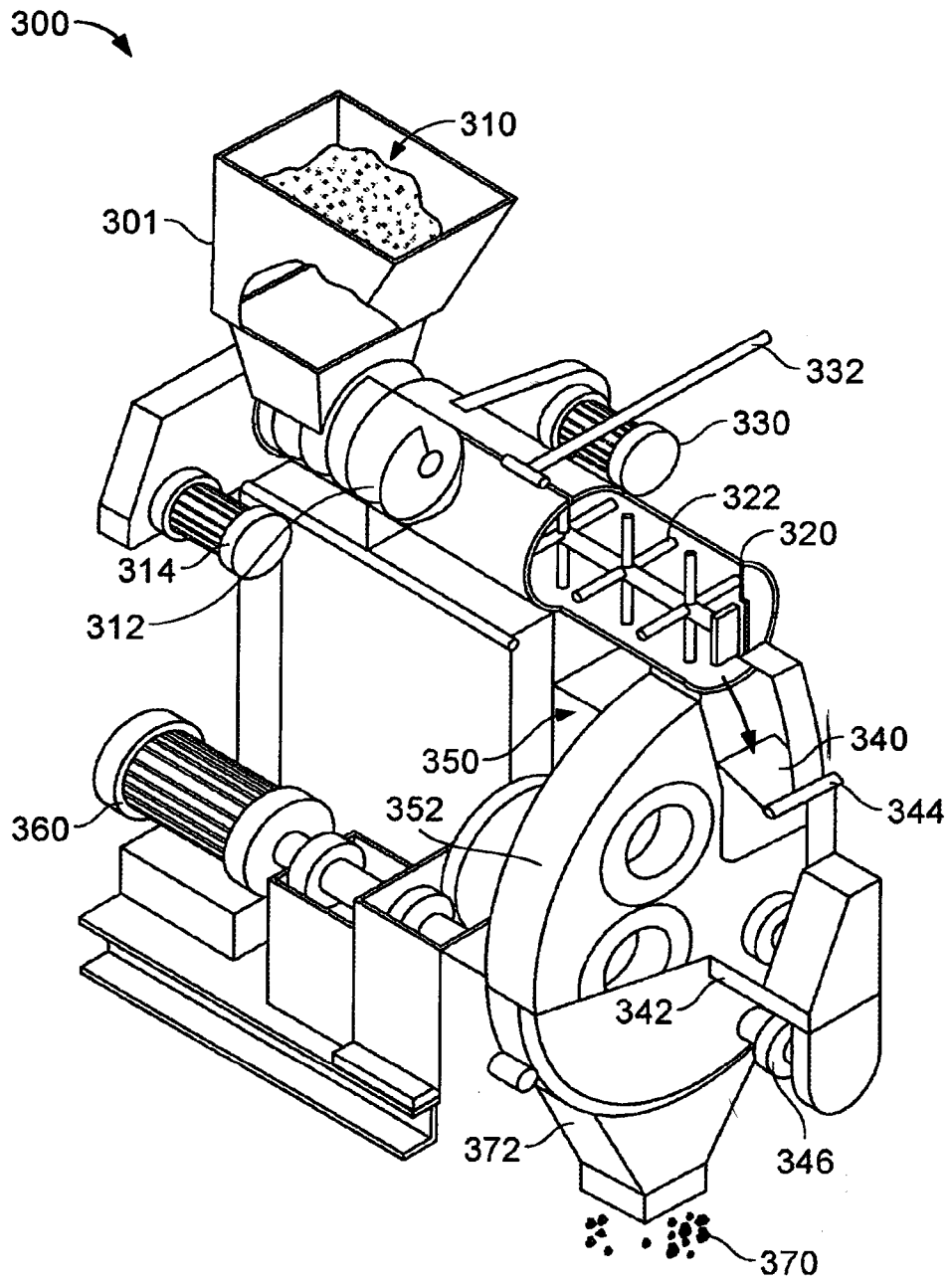


FIG. 6

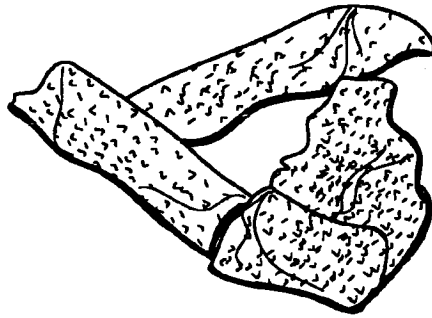


FIG. 7A

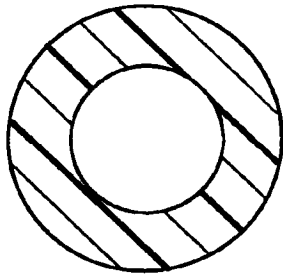


FIG. 7B

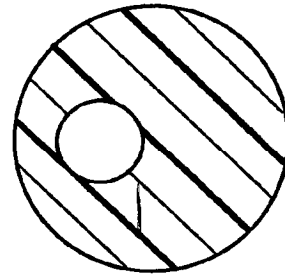


FIG. 7C

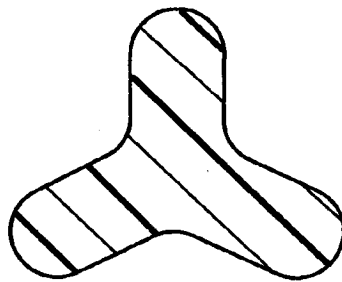


FIG. 7D

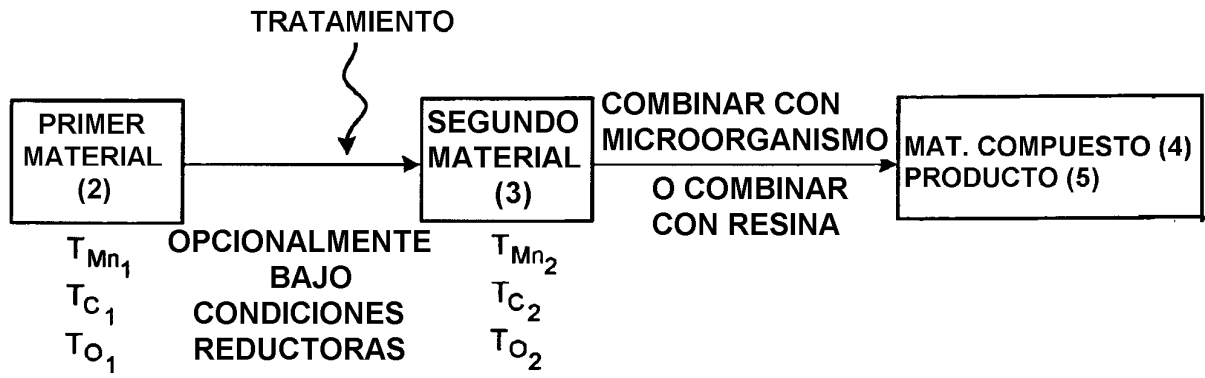


FIG. 8

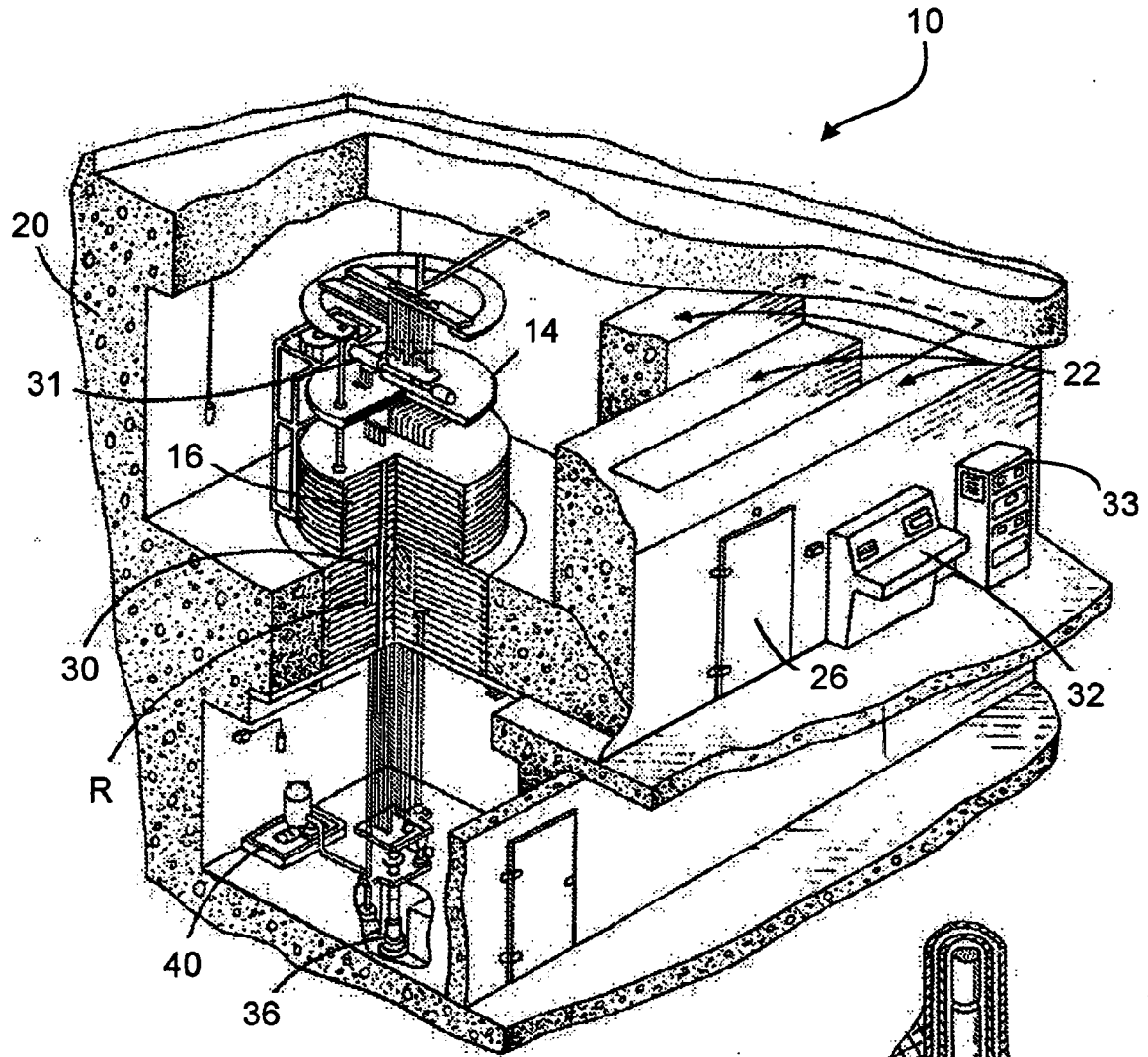


FIG. 9

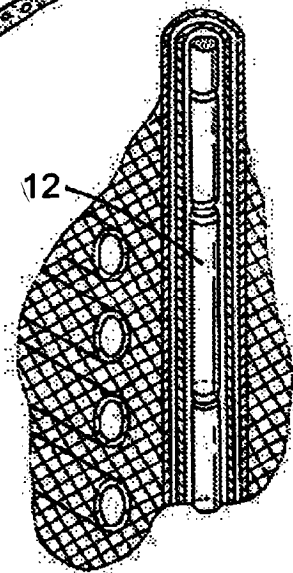


FIG. 10

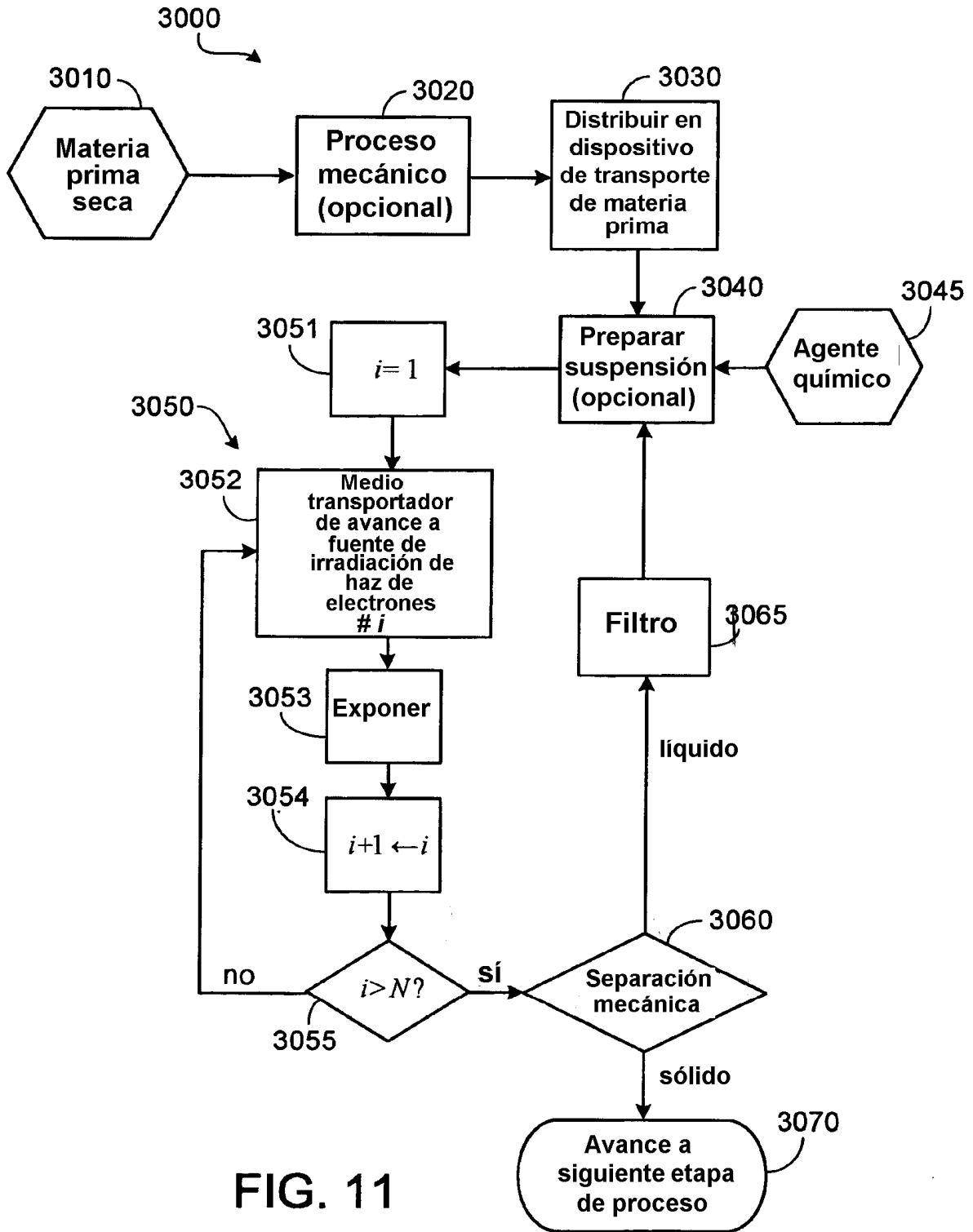


FIG. 11

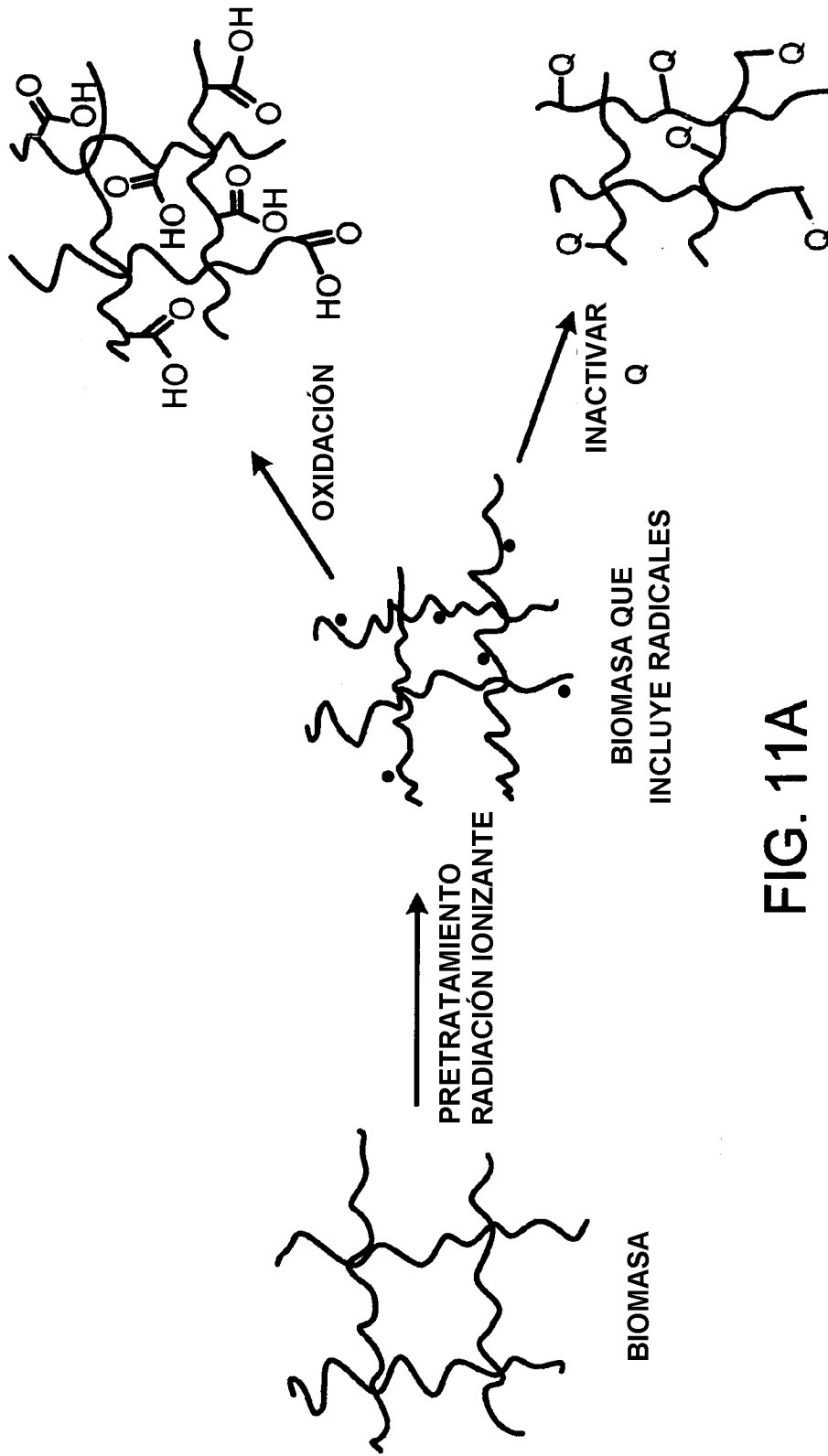
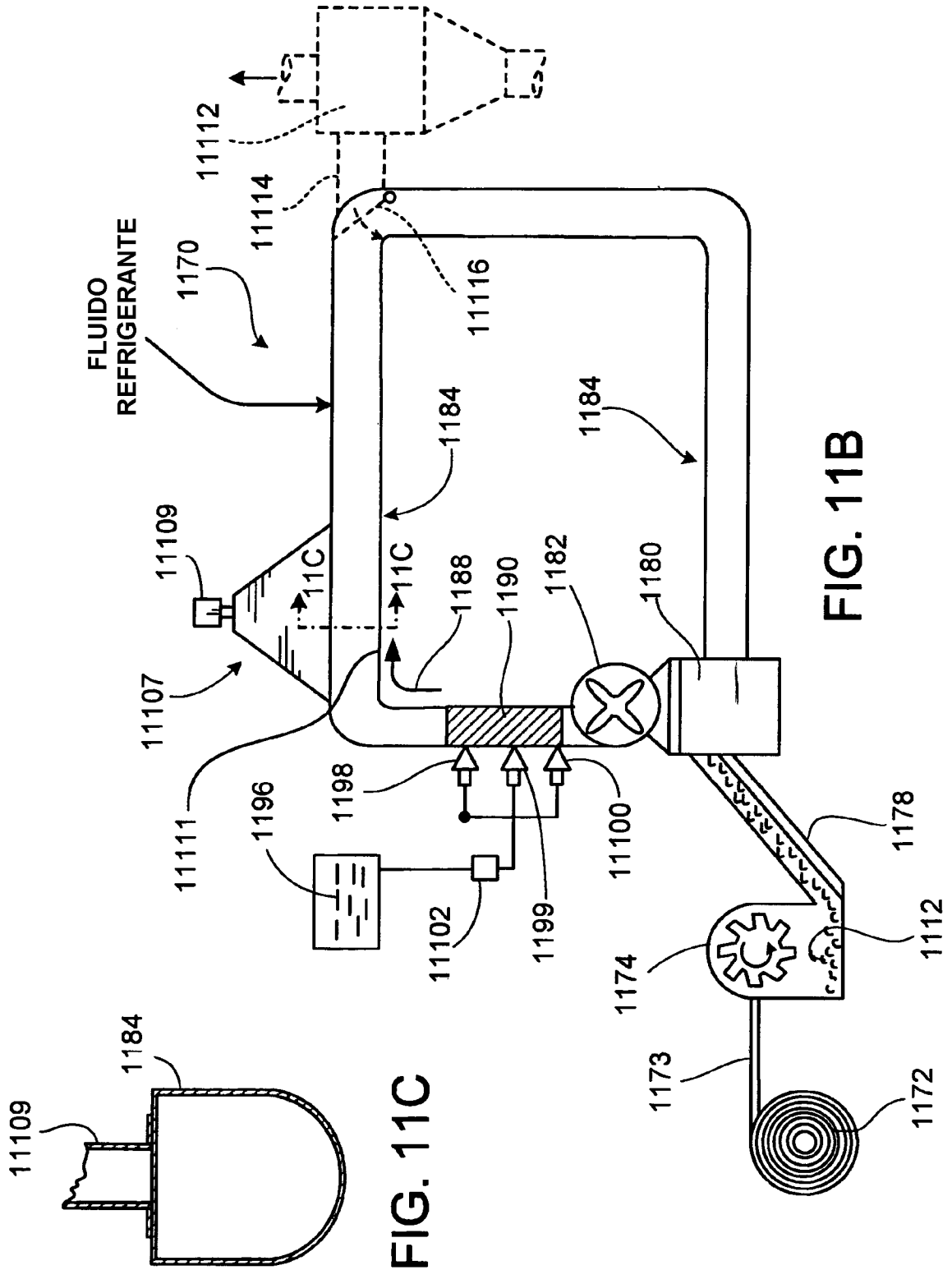


FIG. 11A



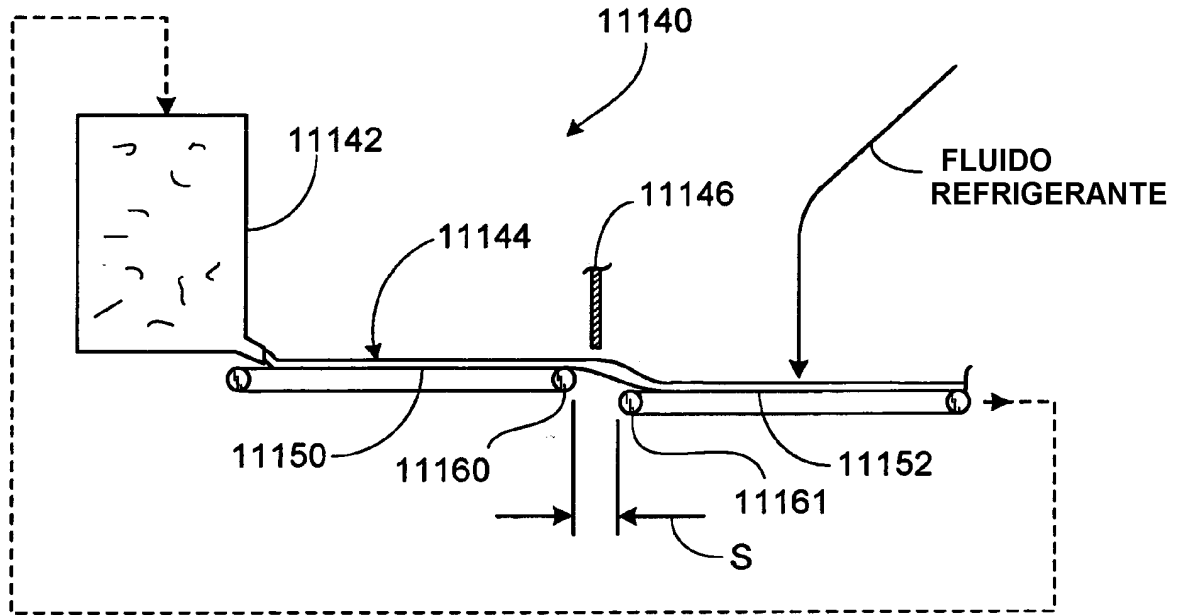


FIG. 11E

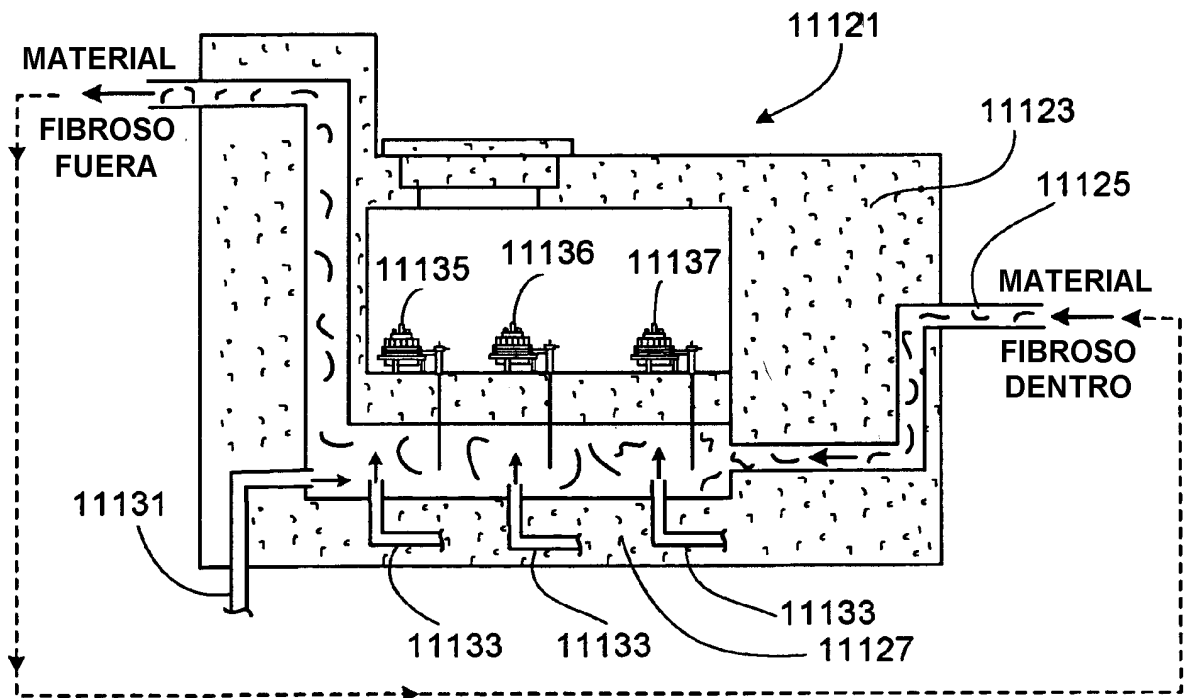


FIG. 11D

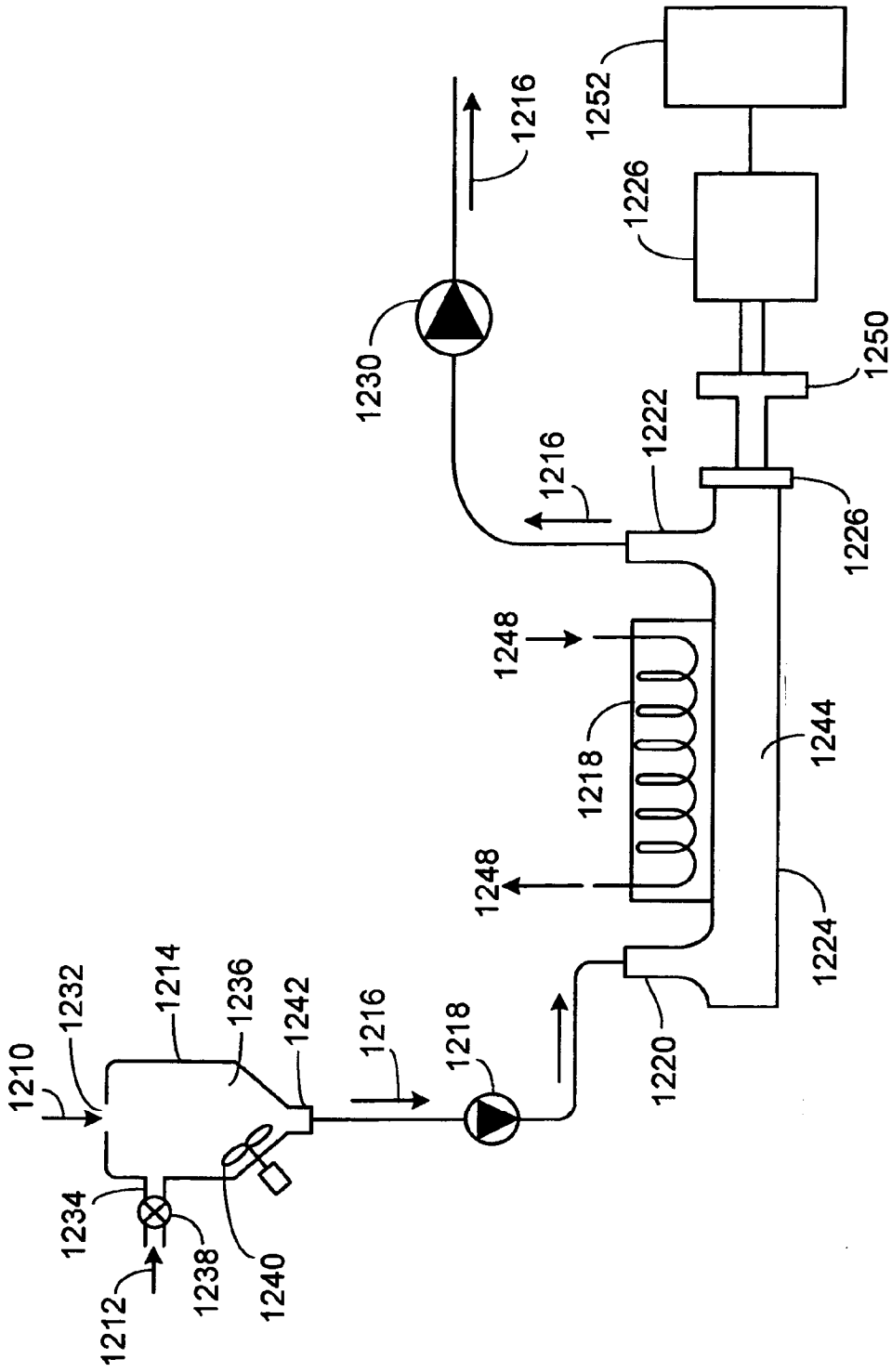


FIG. 12

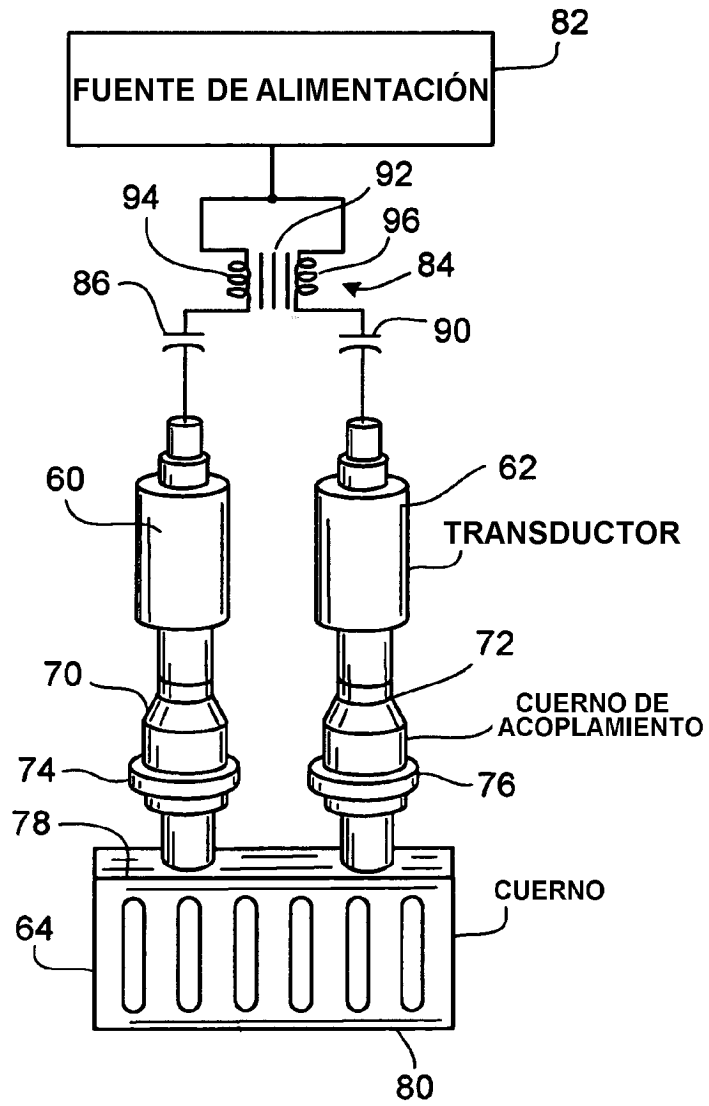


FIG. 13

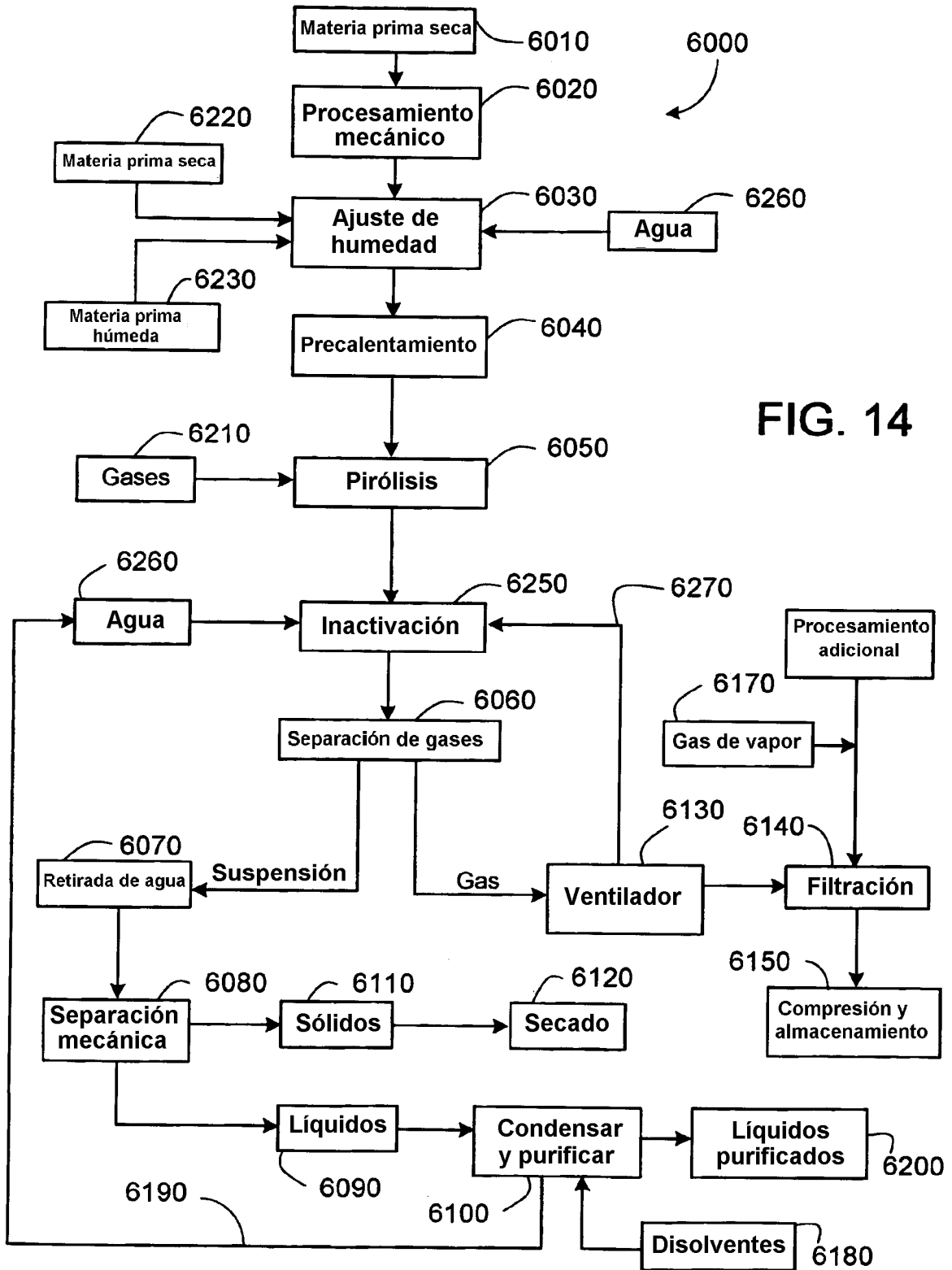


FIG. 14

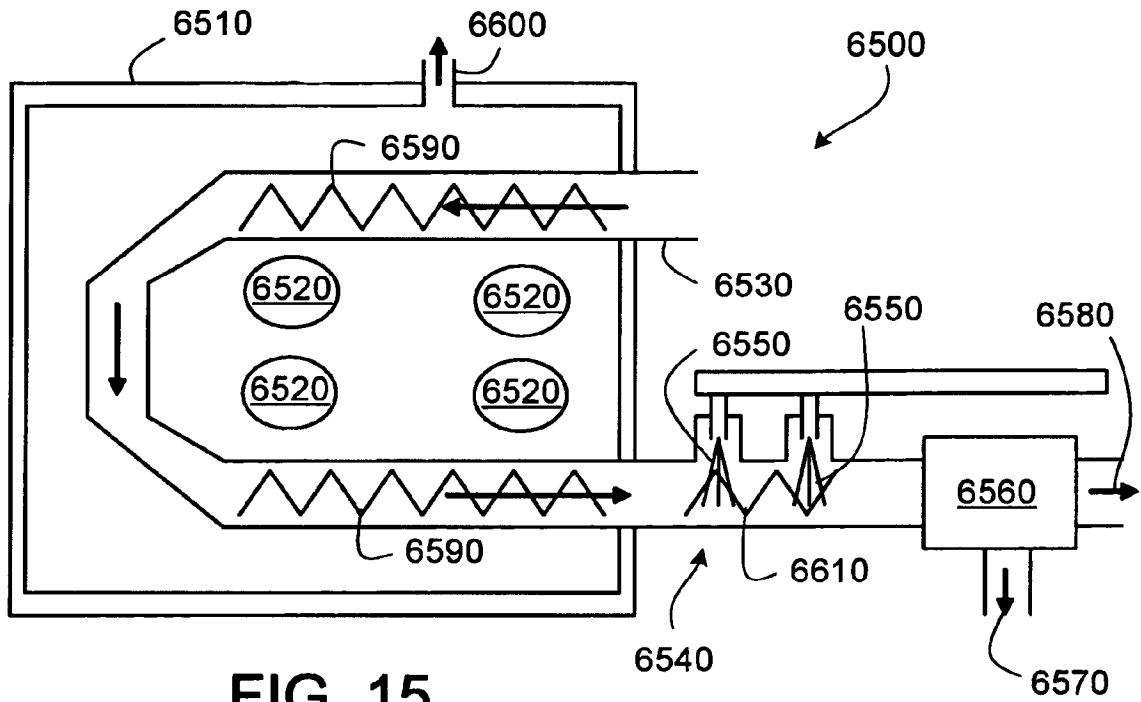


FIG. 15

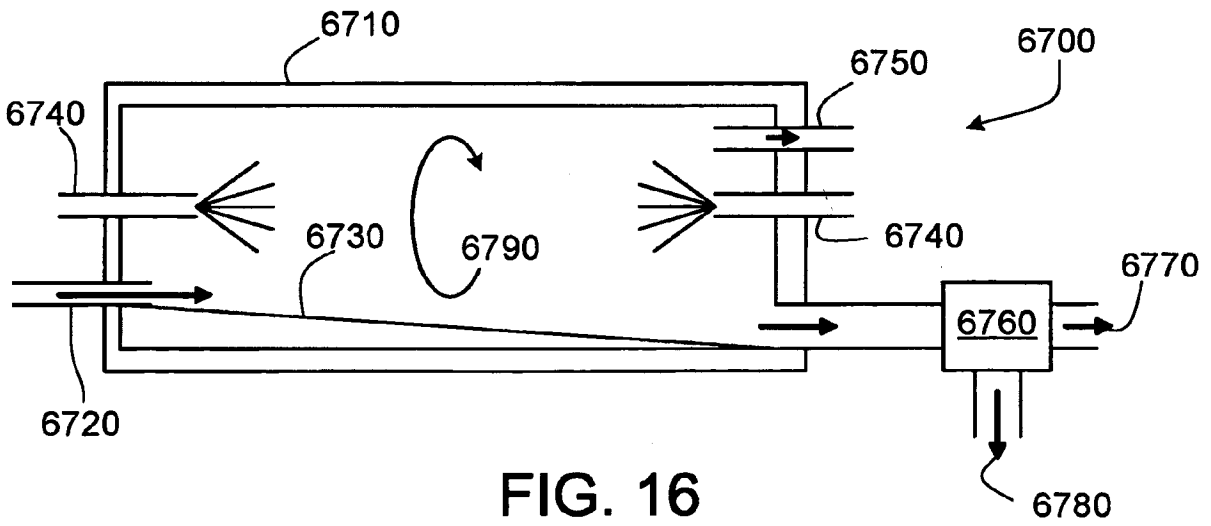


FIG. 16

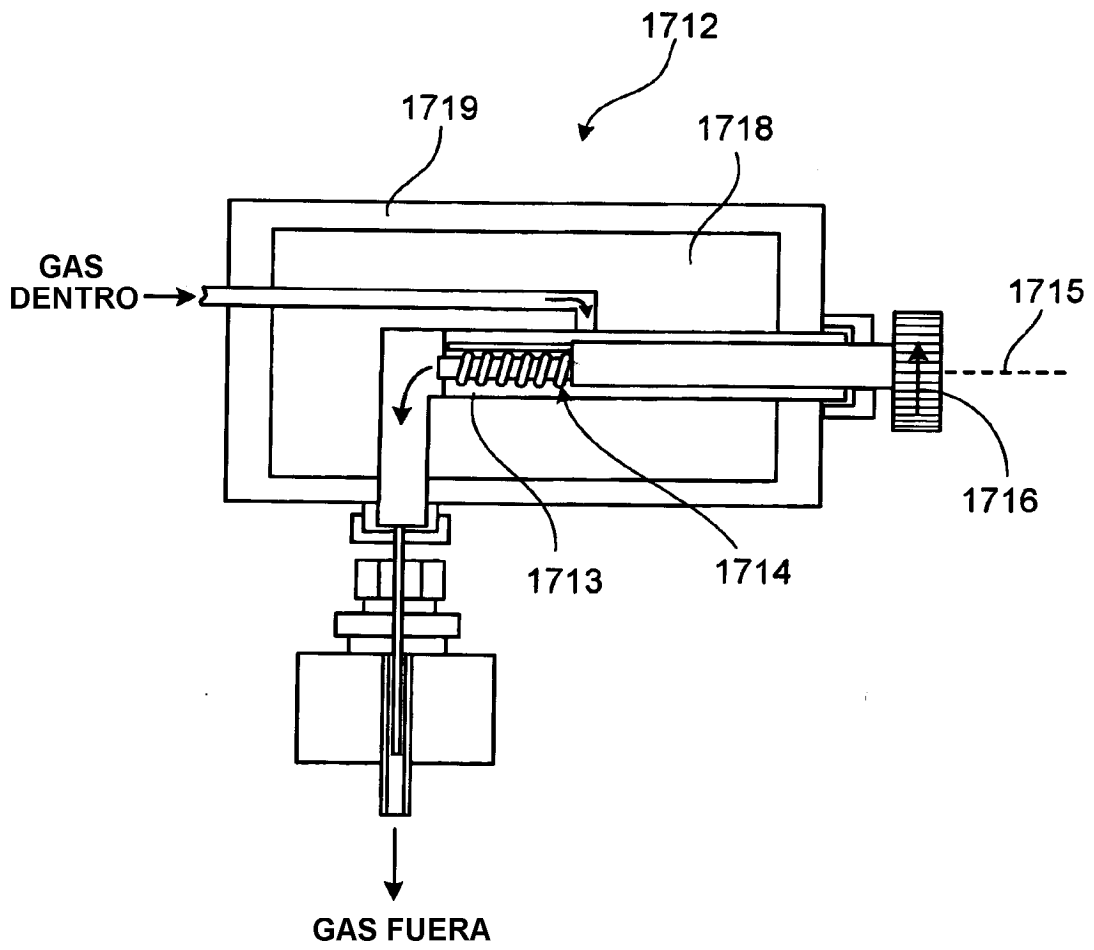


FIG. 17

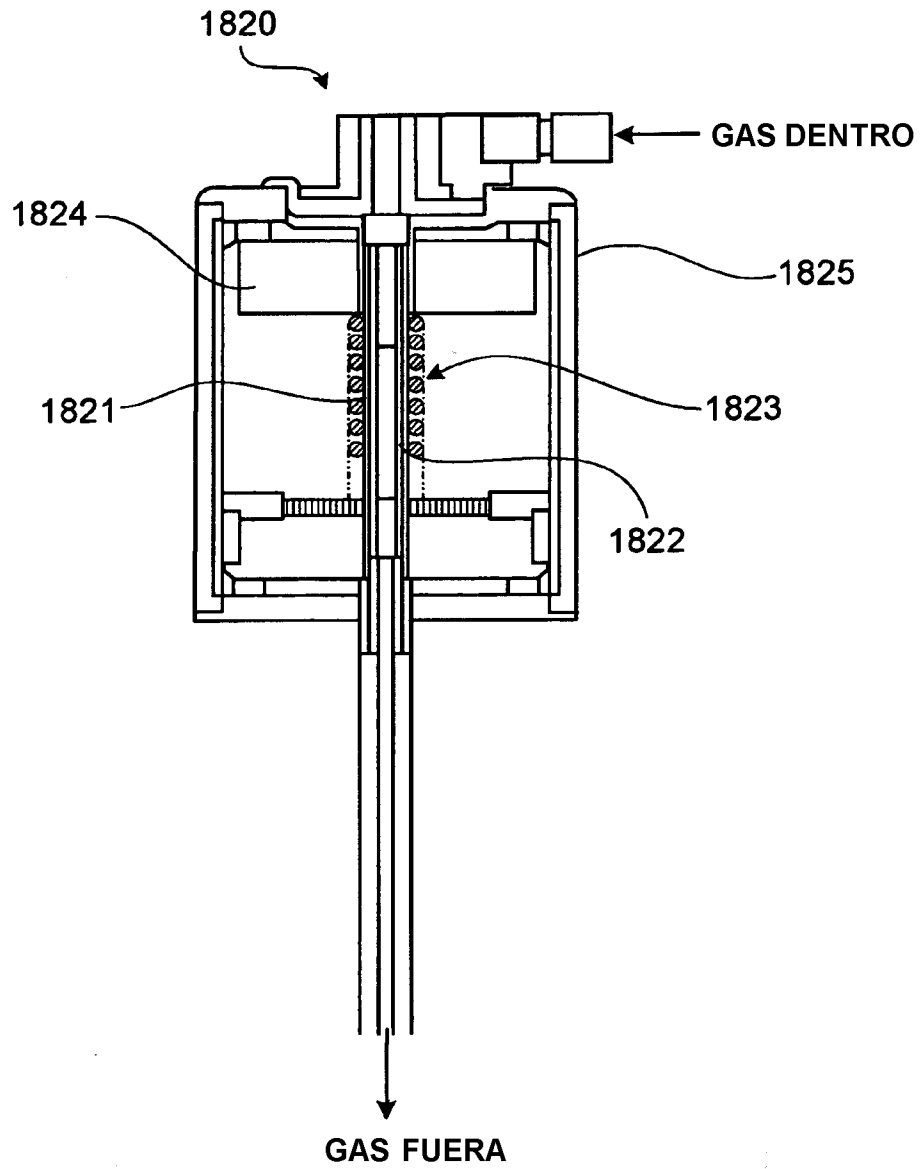


FIG. 18

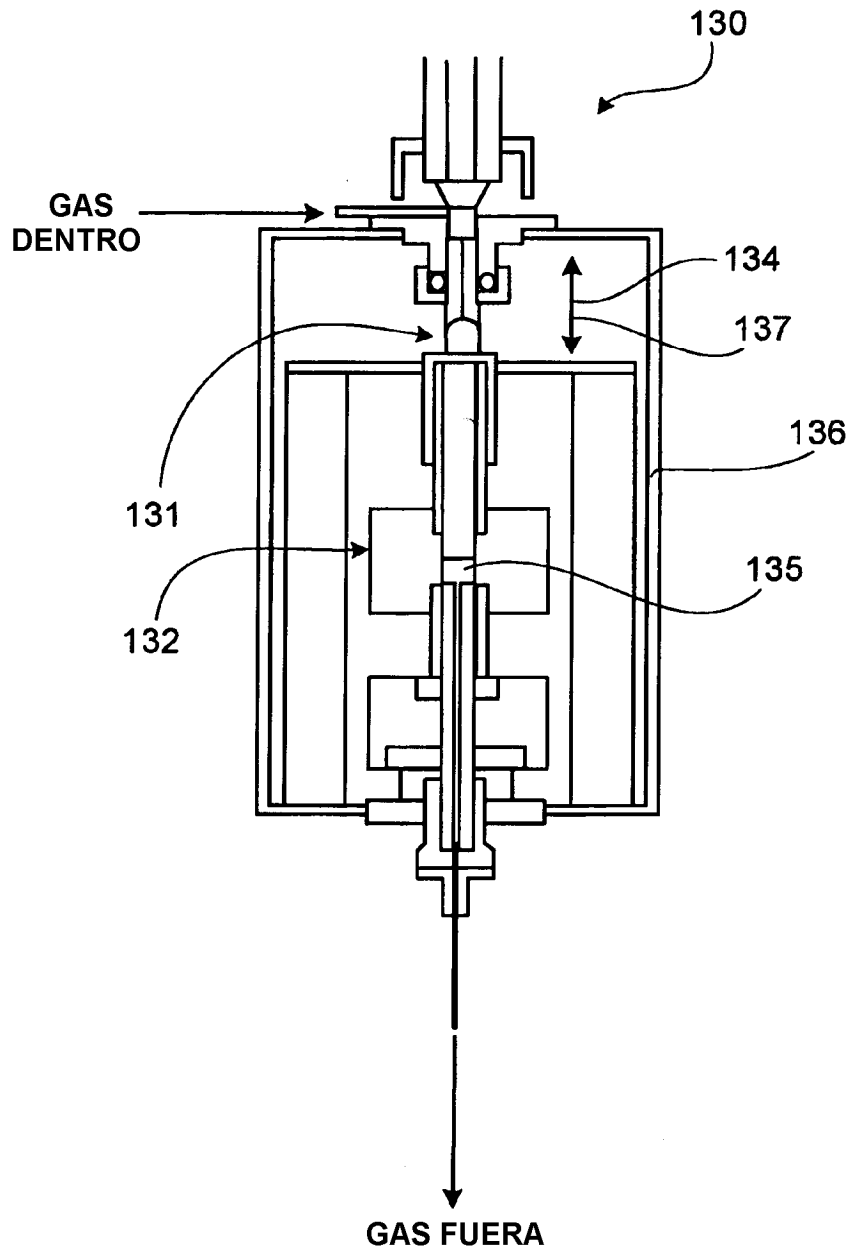


FIG. 19

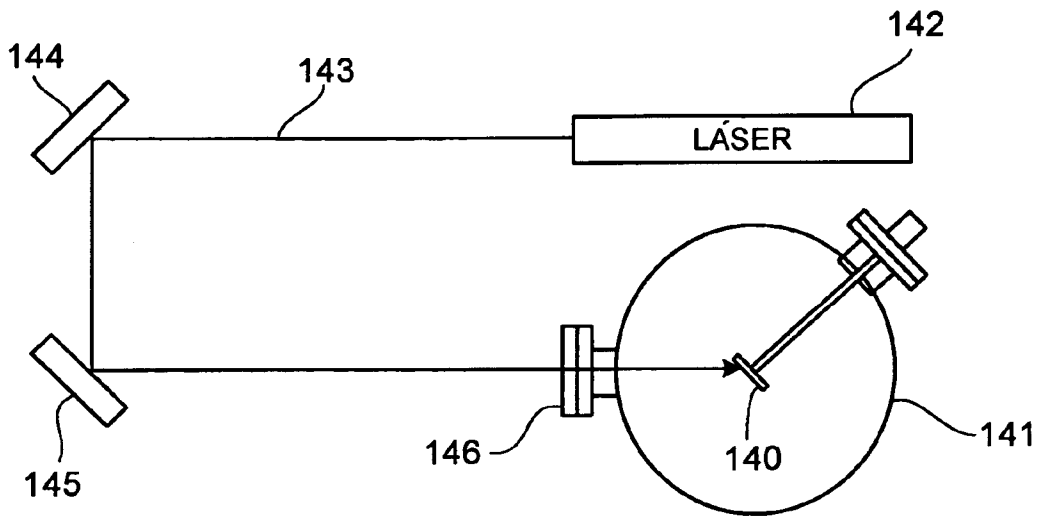


FIG. 20

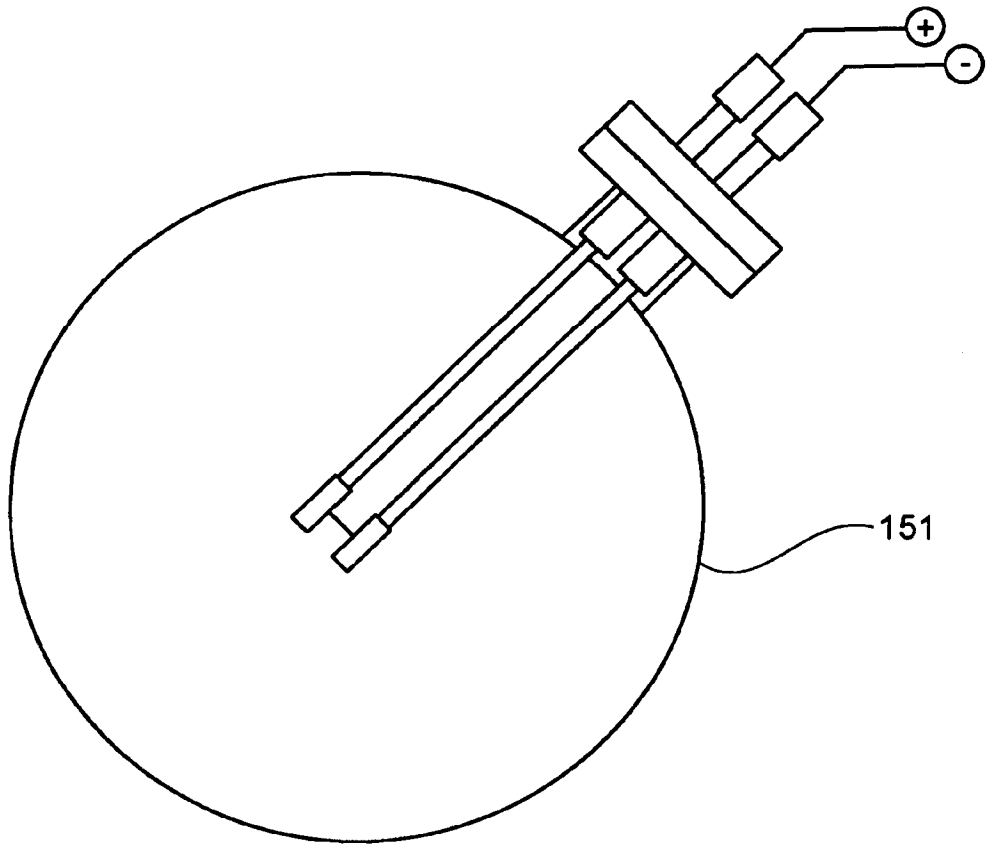


FIG. 21

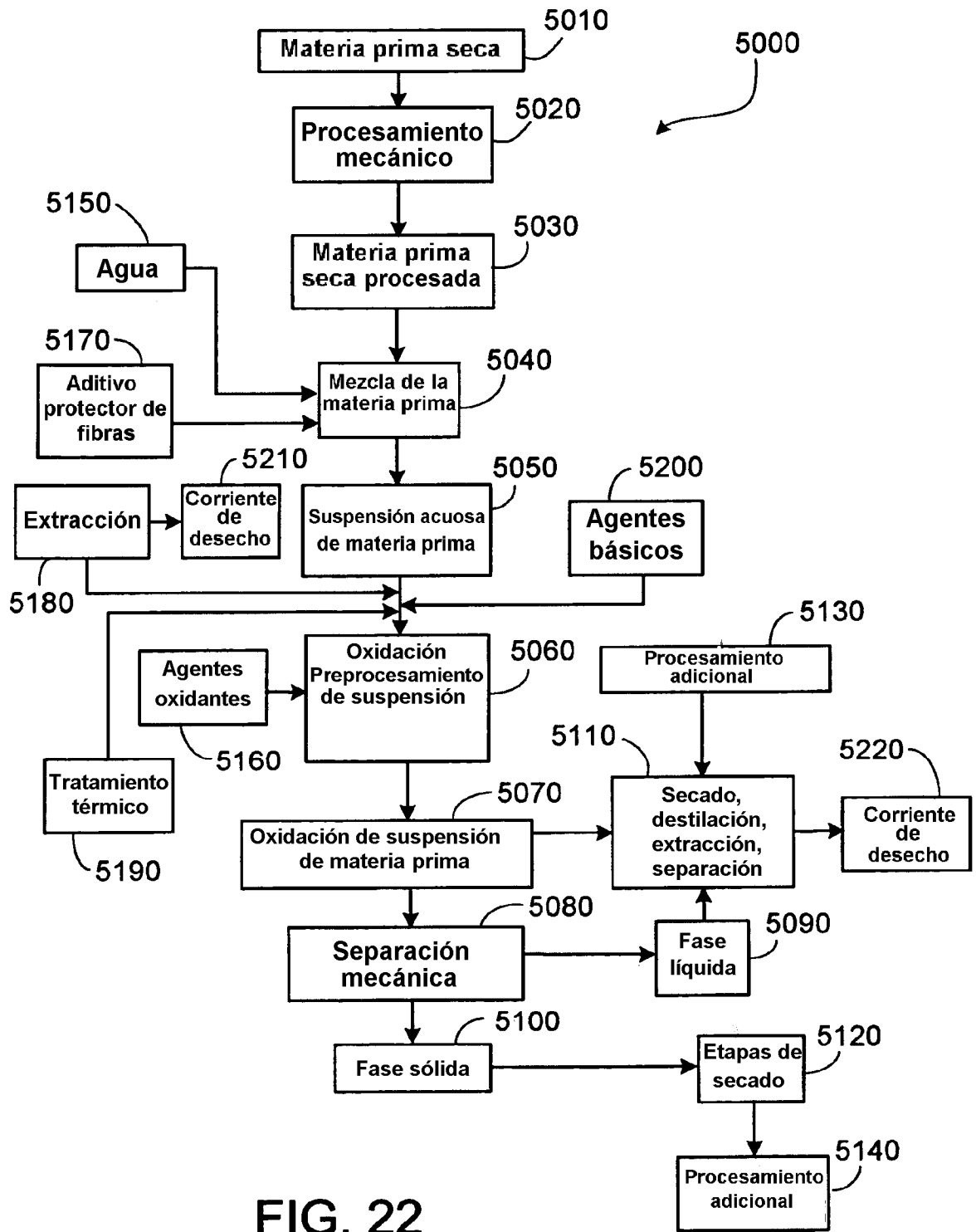


FIG. 22

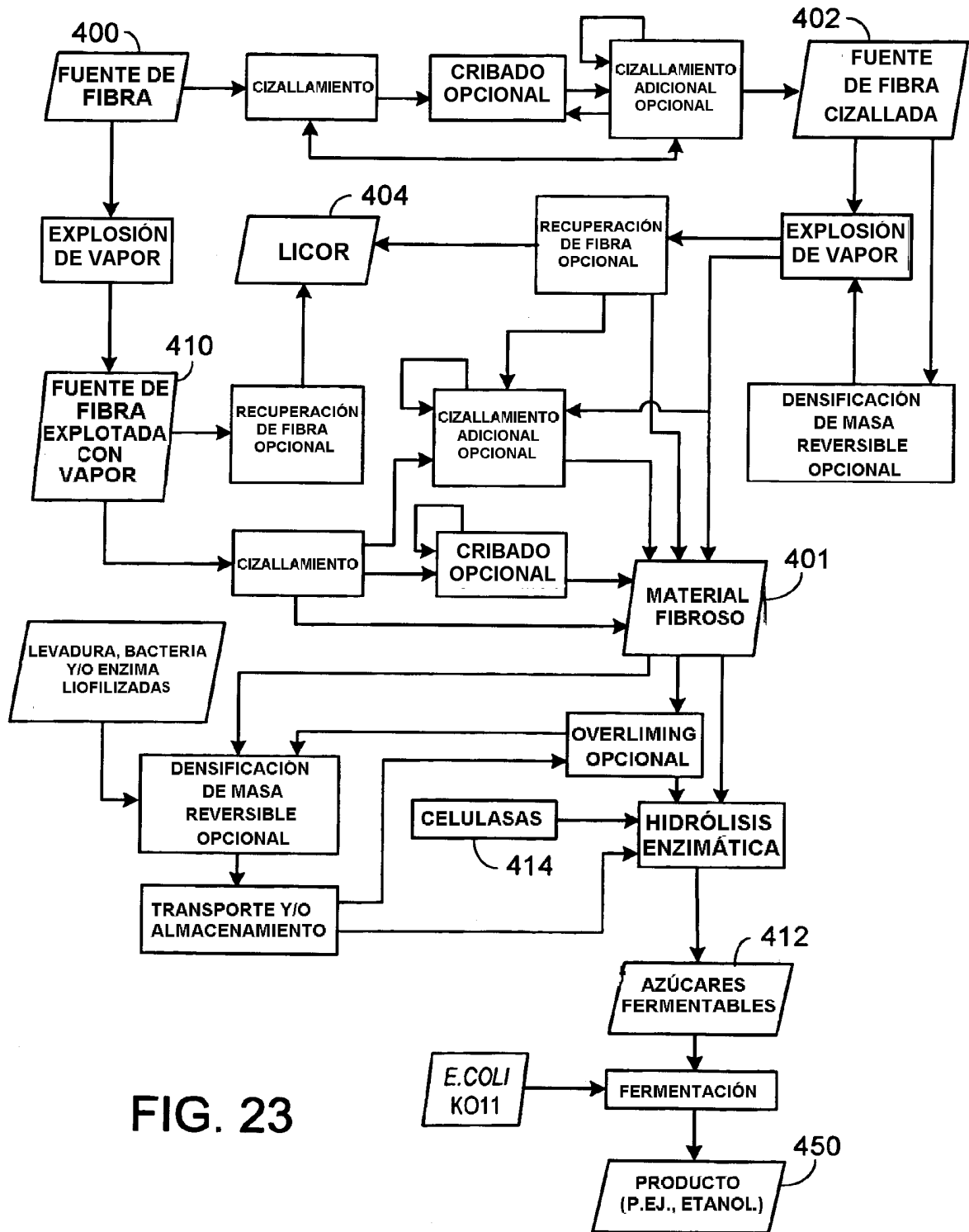


FIG. 23

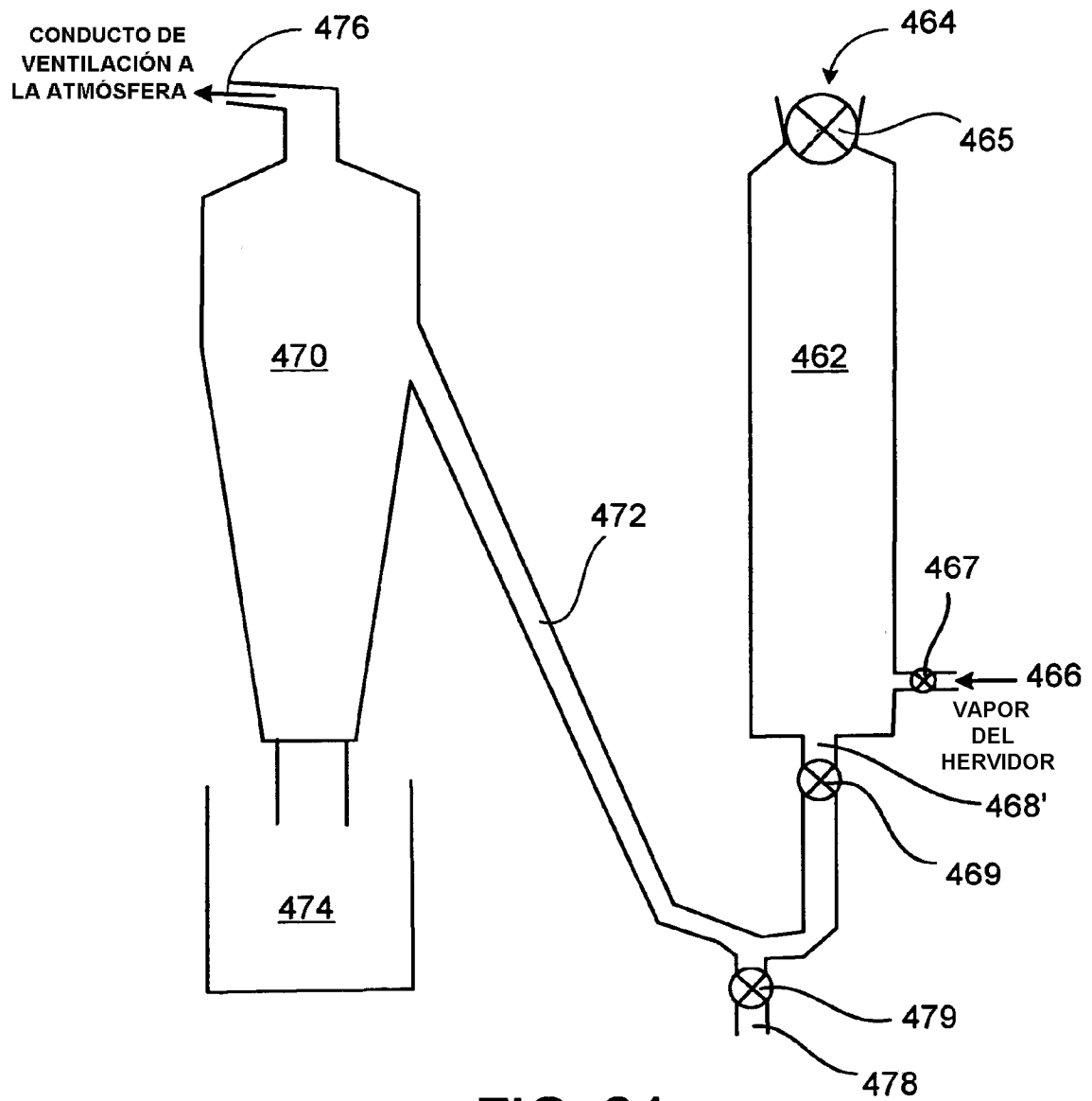


FIG. 24

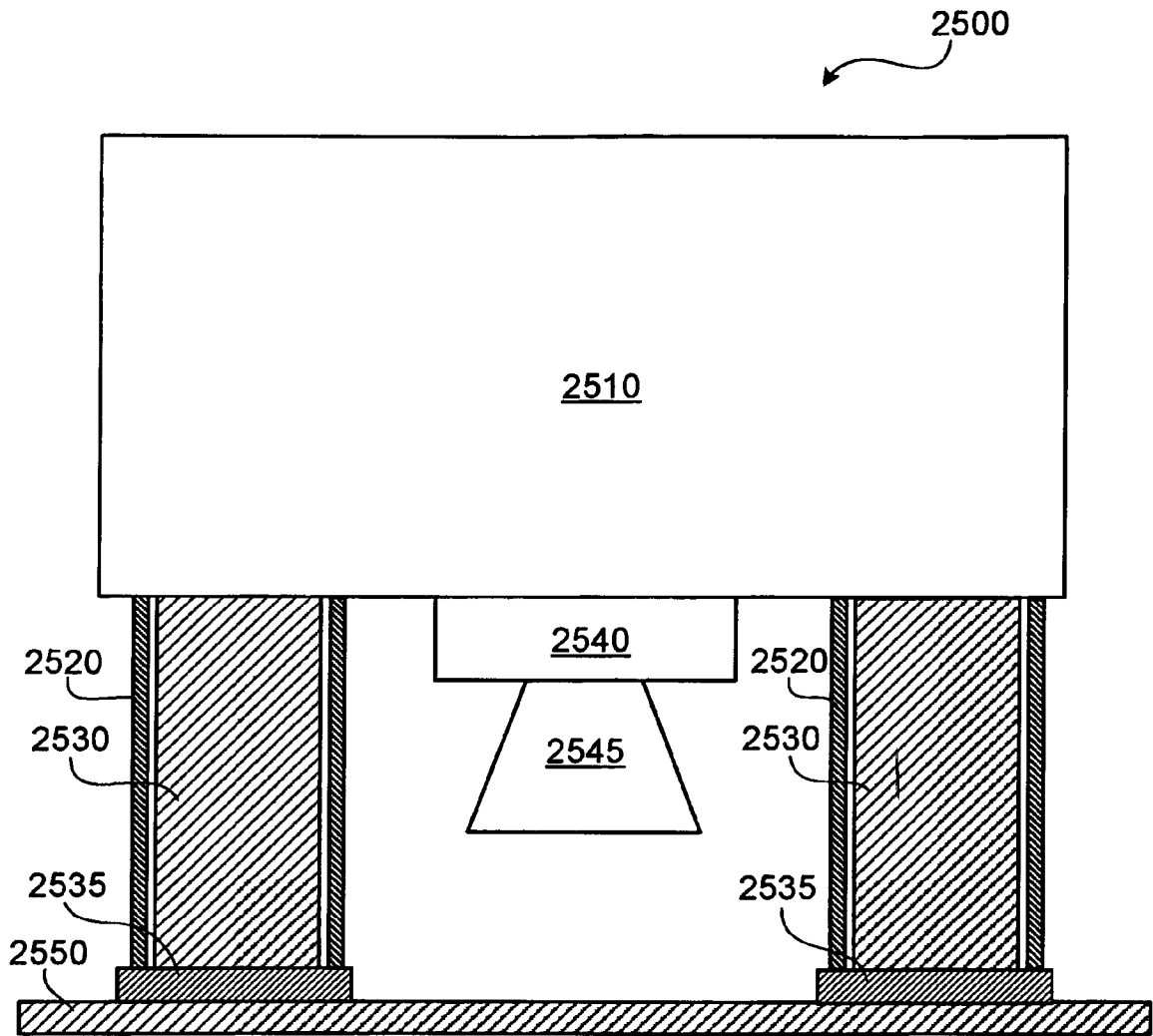


FIG. 25



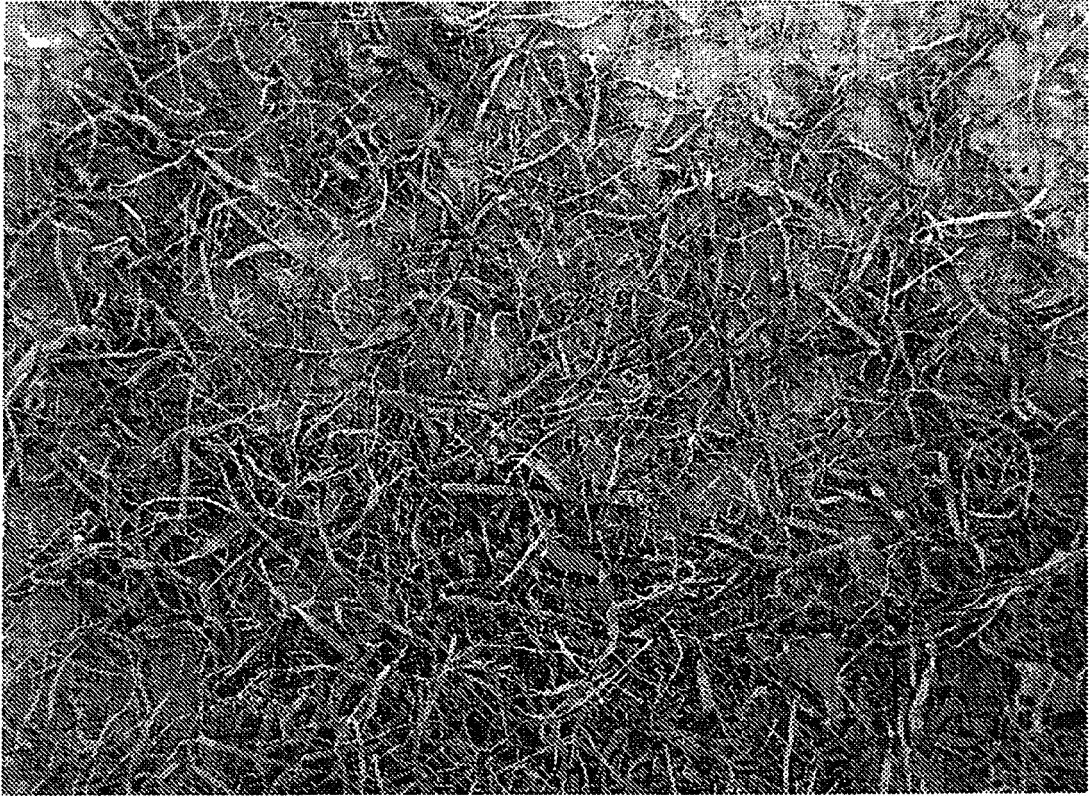
X25 1mm

FIG. 26



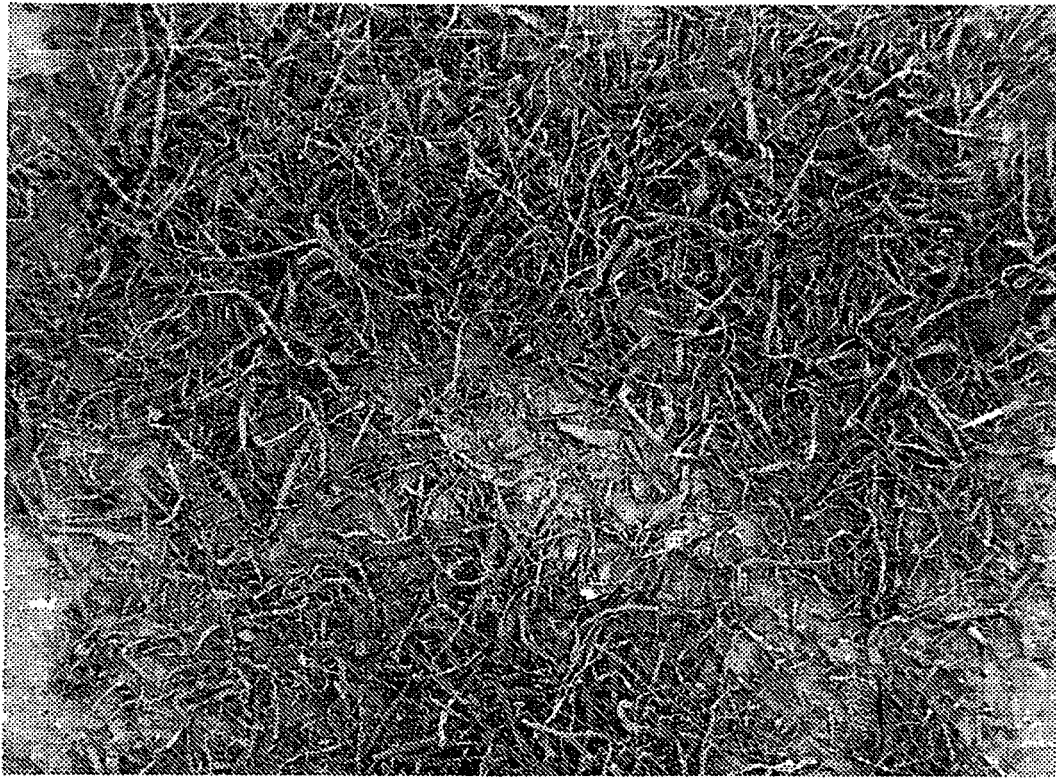
X25 1mm

FIG. 27



X25 1mm

FIG. 28



X25 1mm

FIG. 29

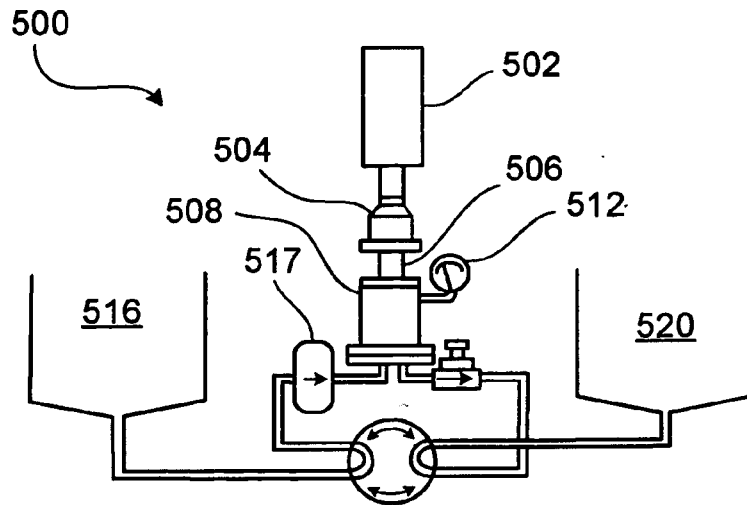


FIG. 30

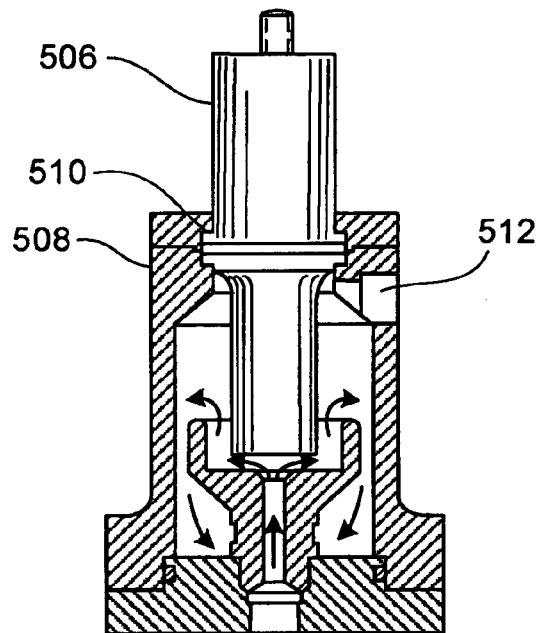


FIG. 31

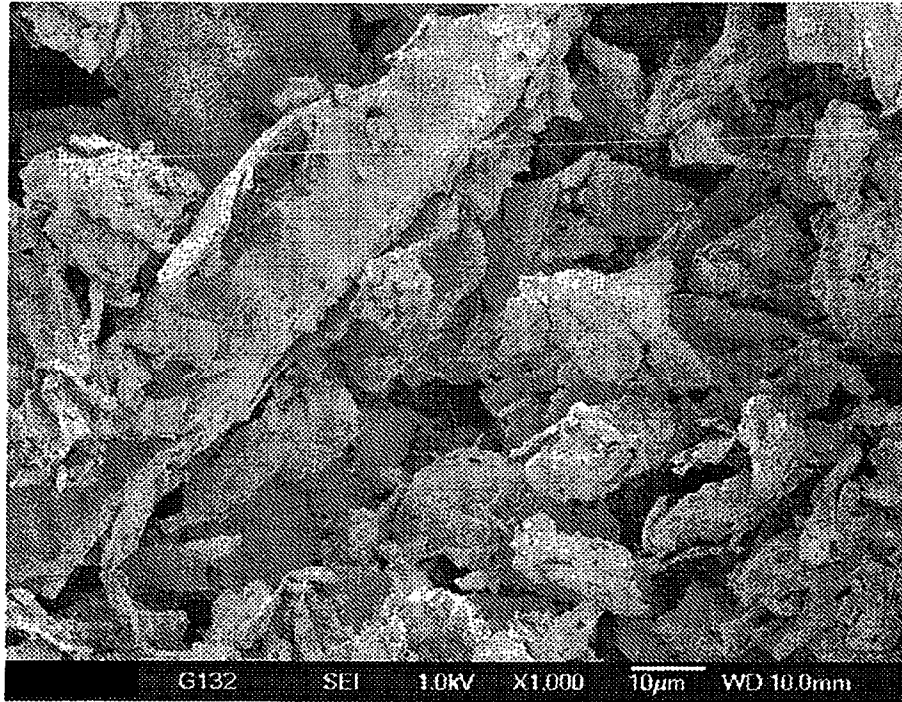


FIG. 32

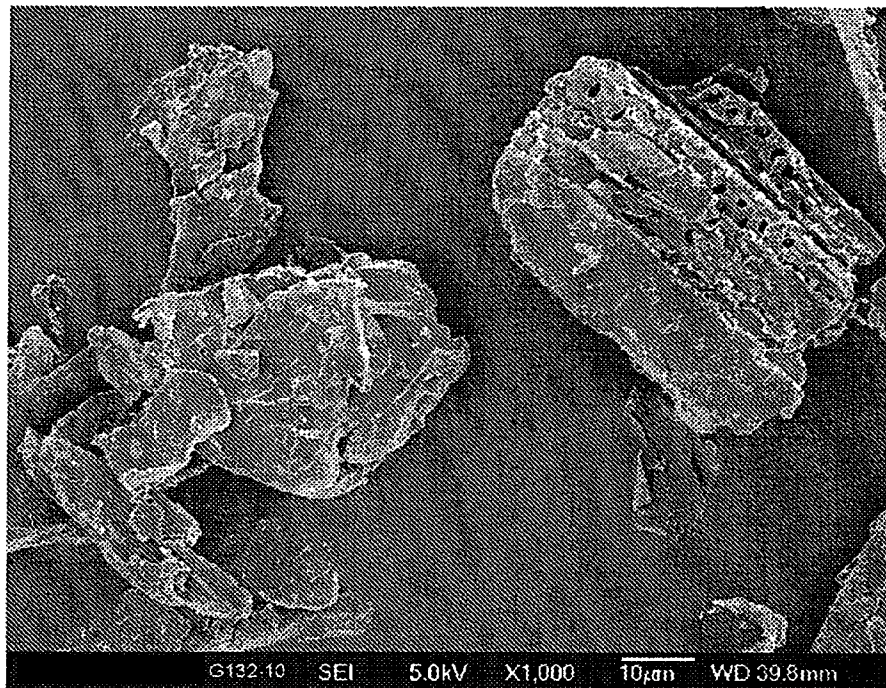


FIG. 33

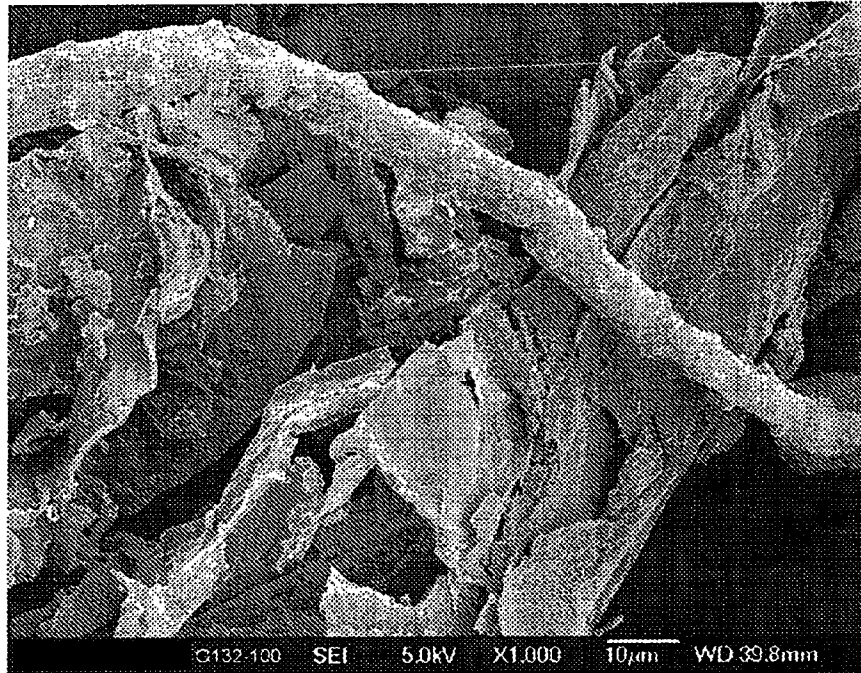


FIG. 34

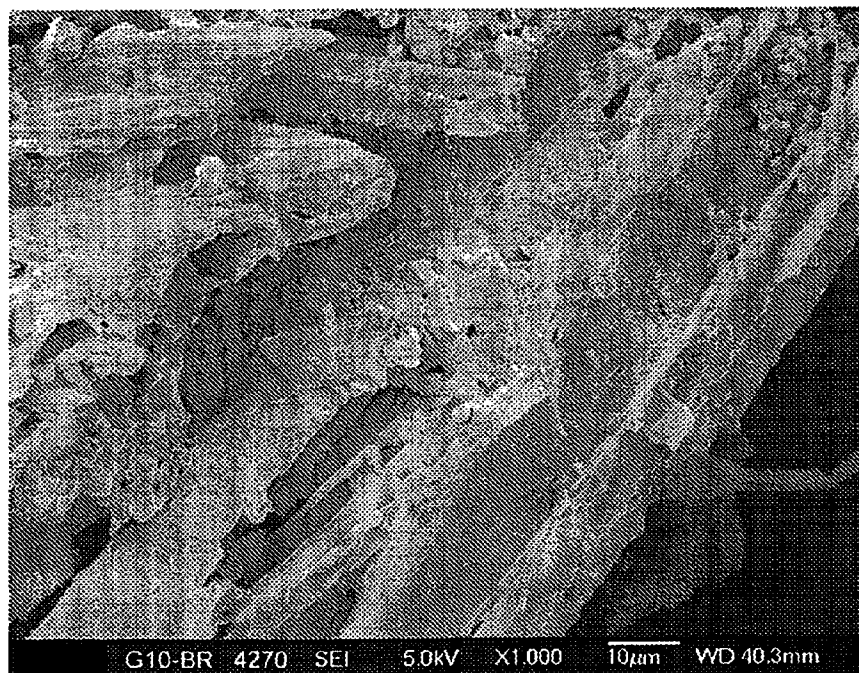


FIG. 35

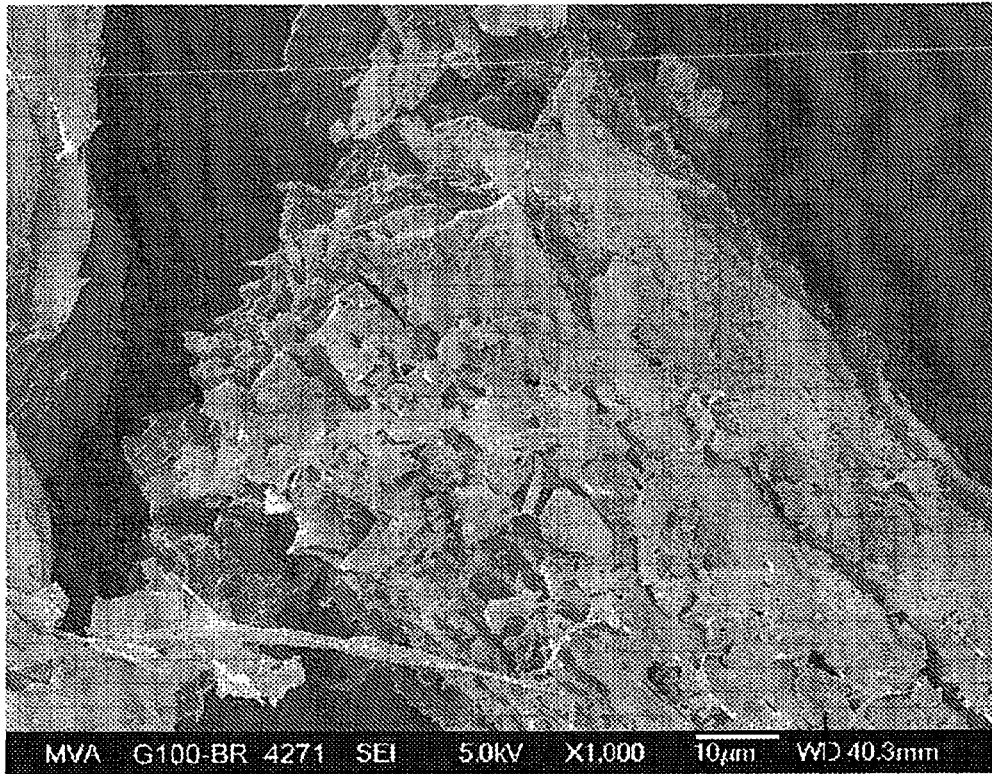


FIG. 36

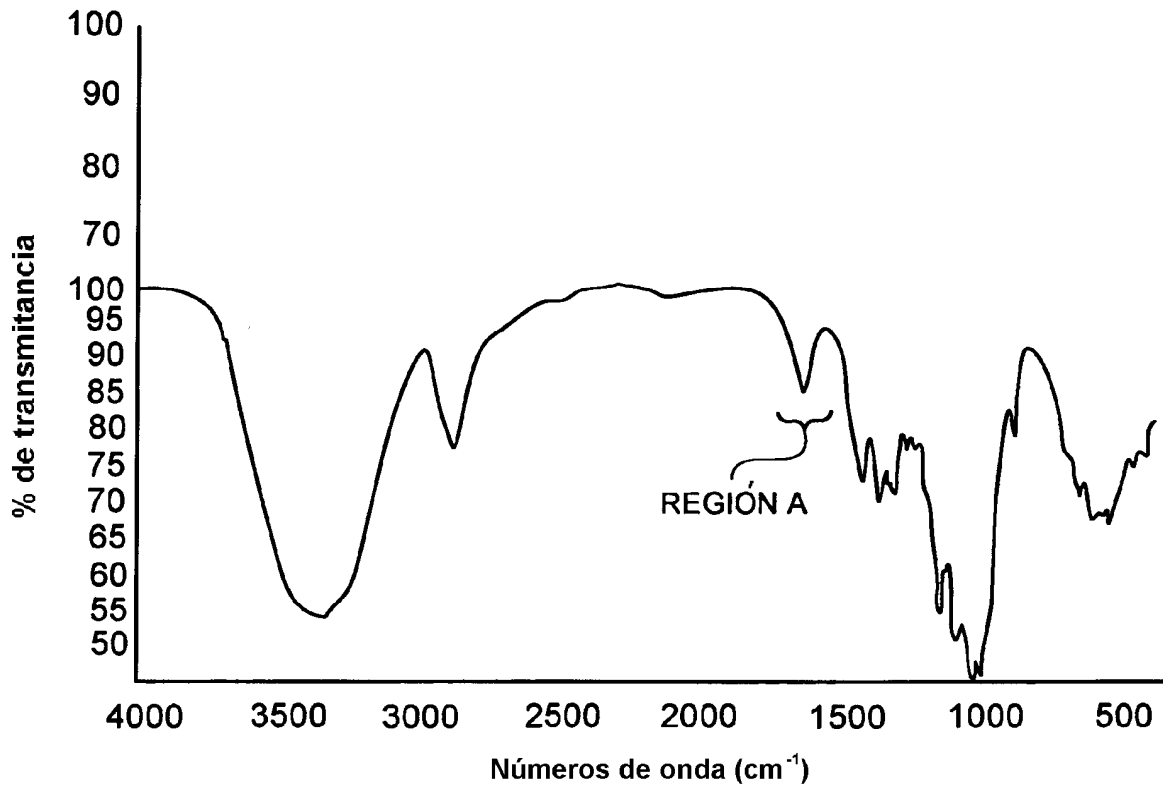


FIG. 37

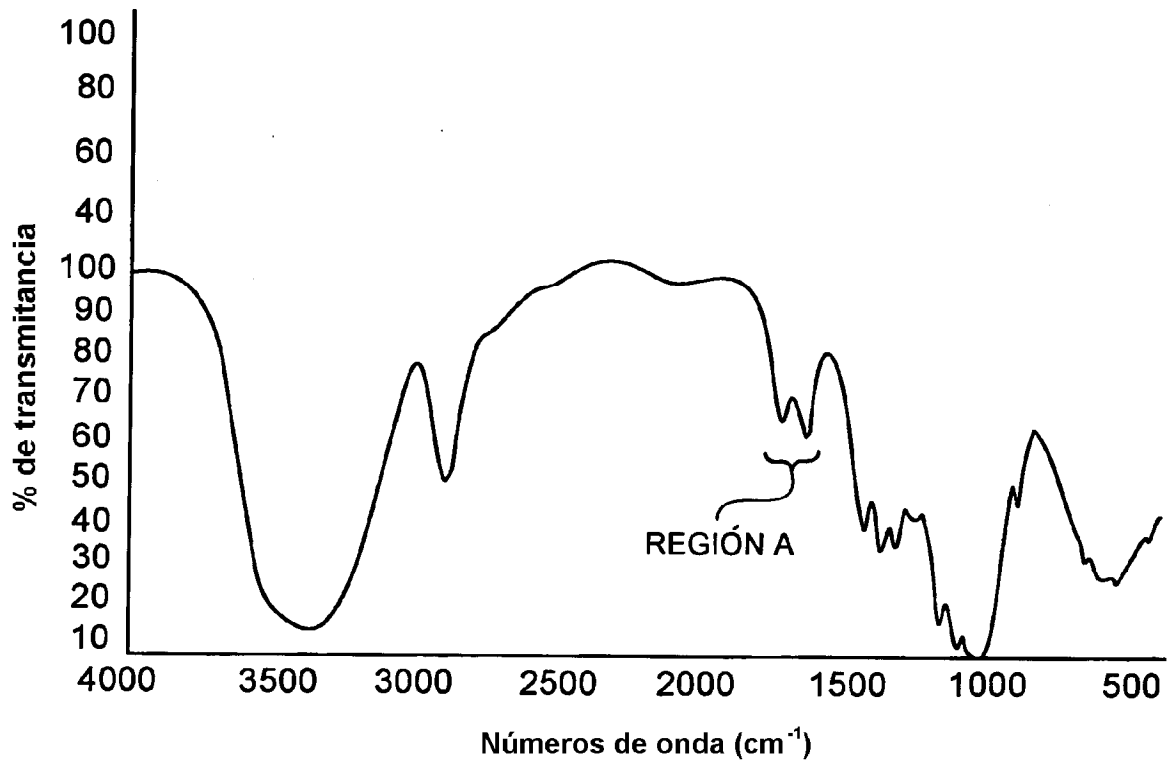


FIG. 38

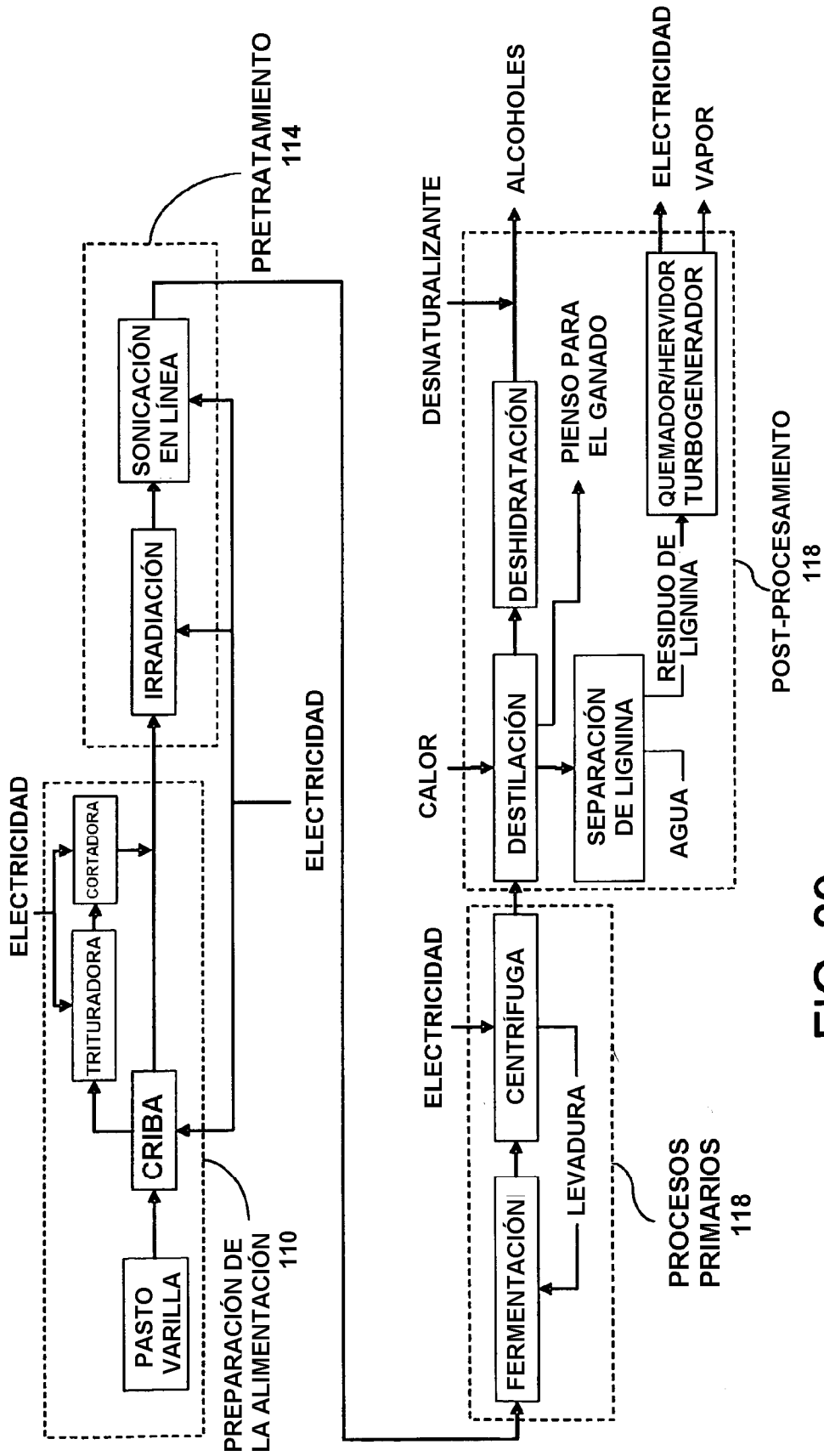
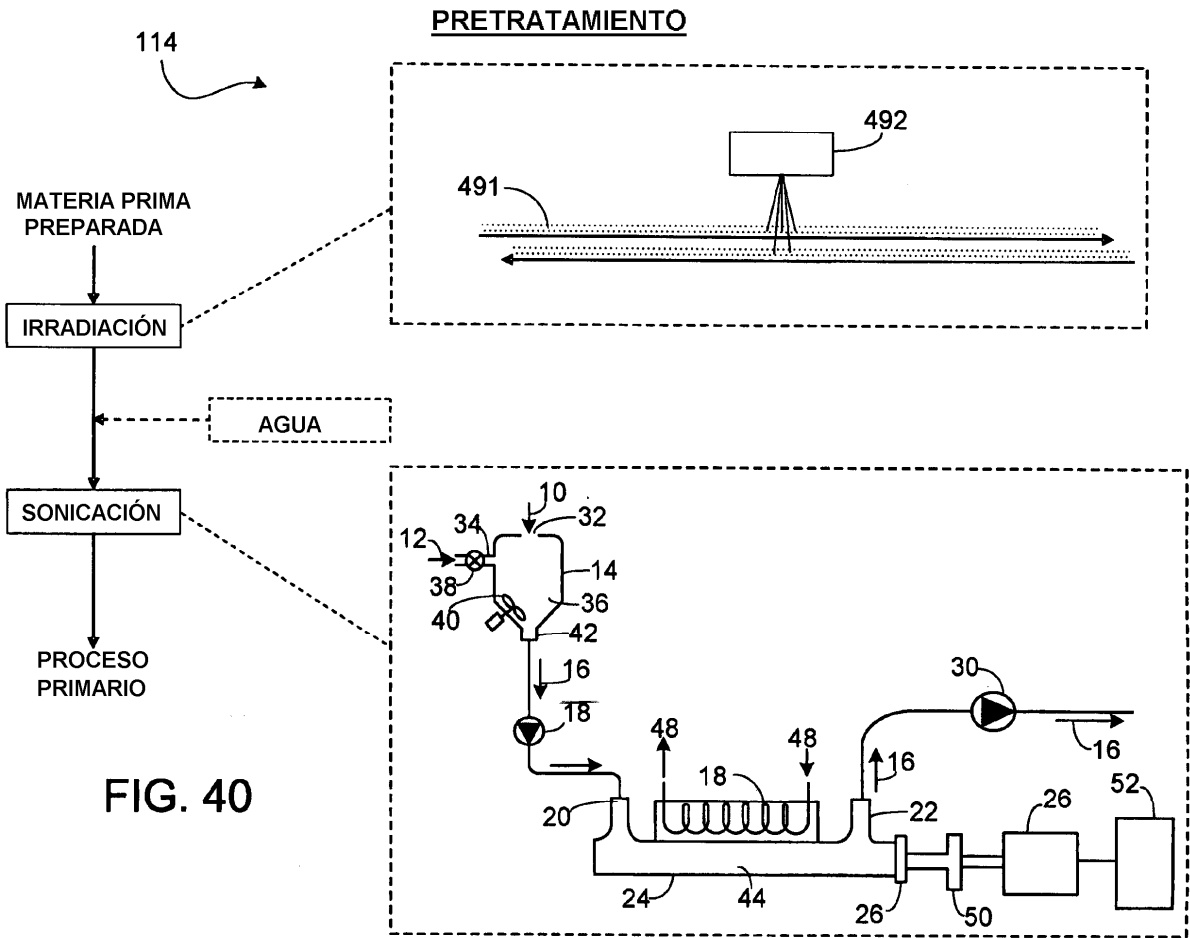


FIG. 39



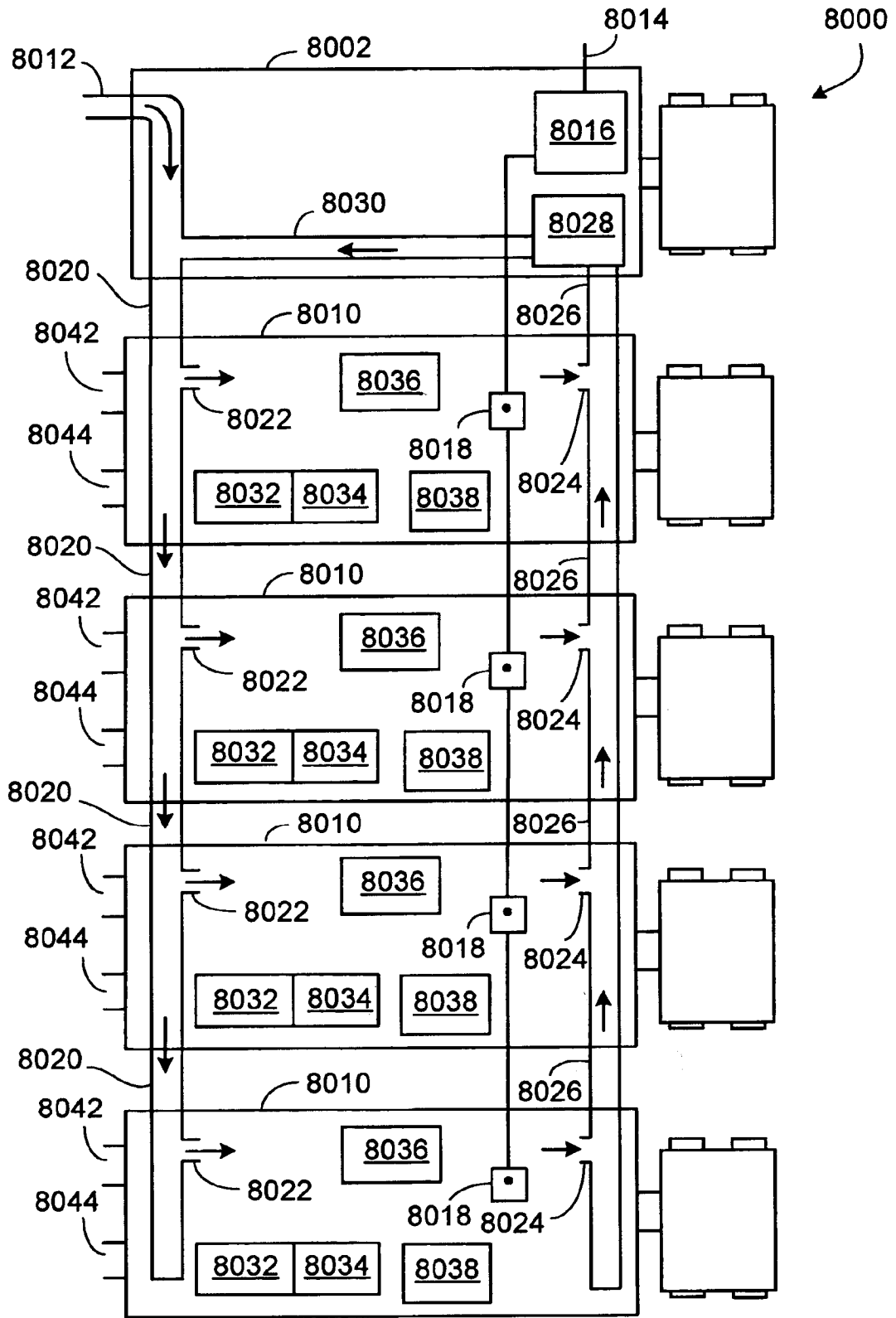
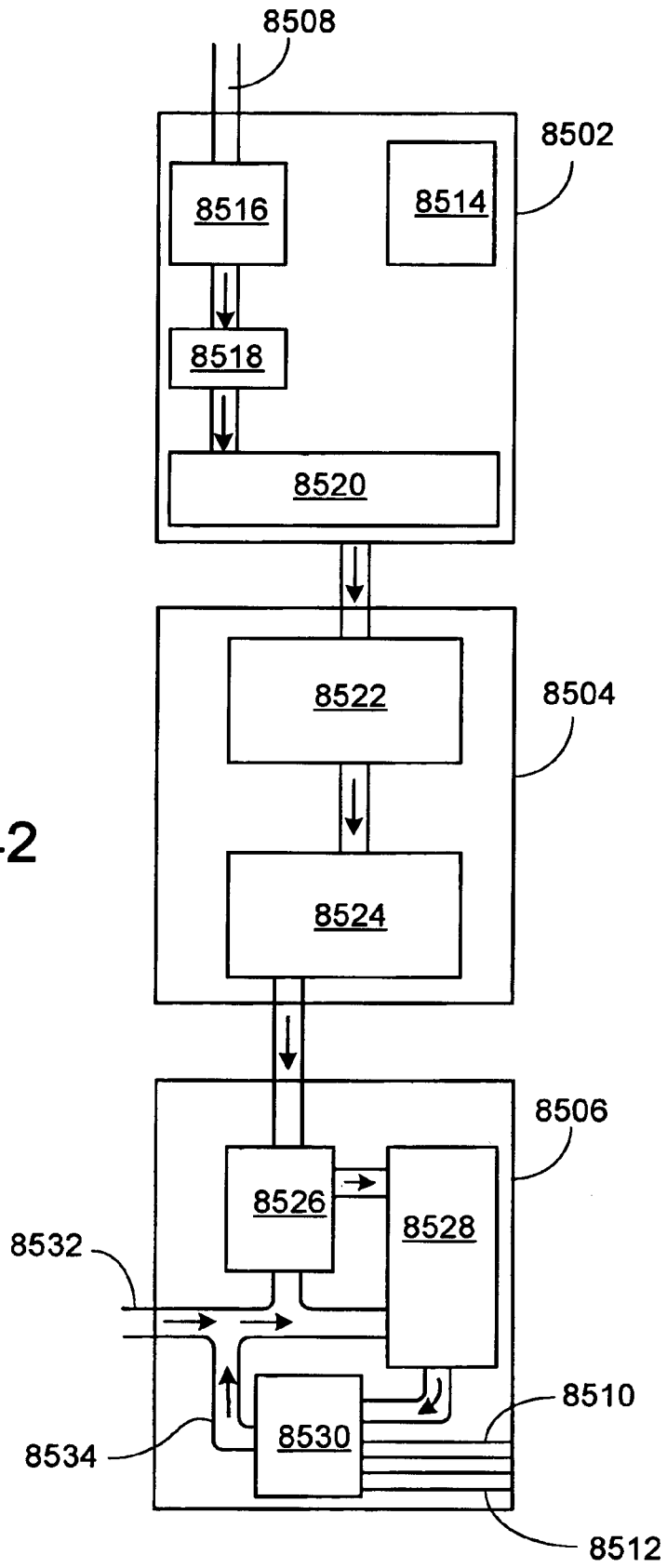


FIG. 41

FIG. 42



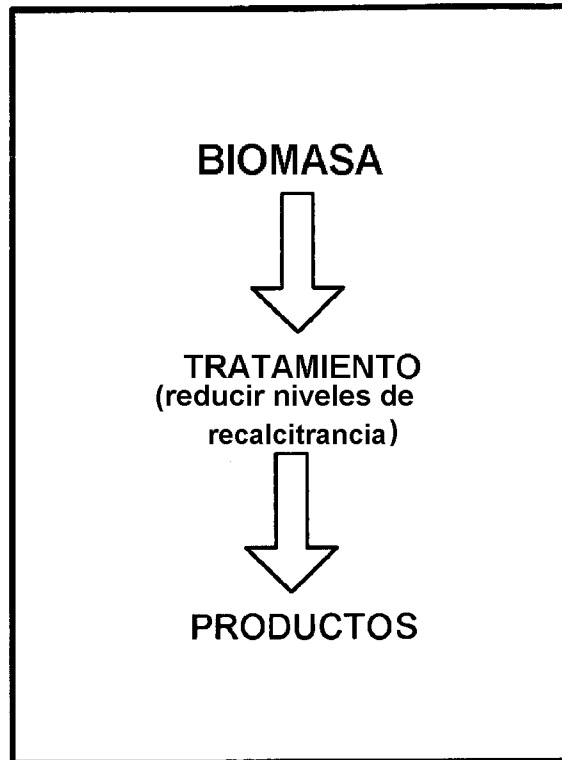


FIG. 43A

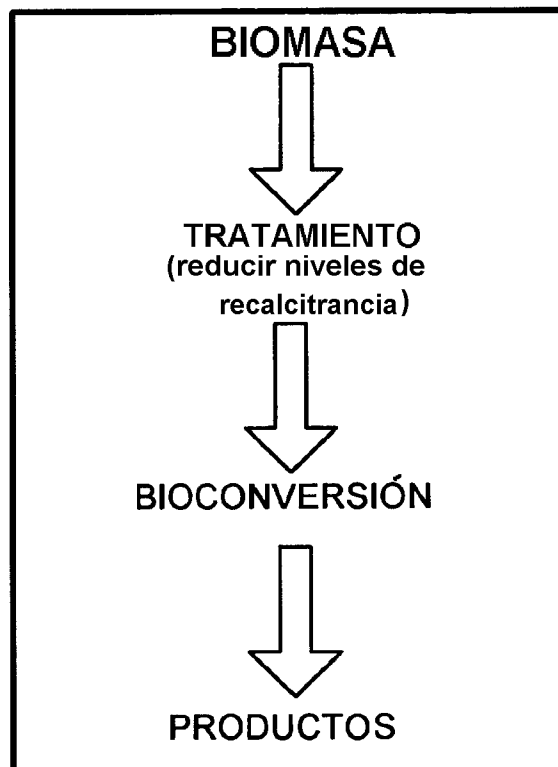


FIG. 43B

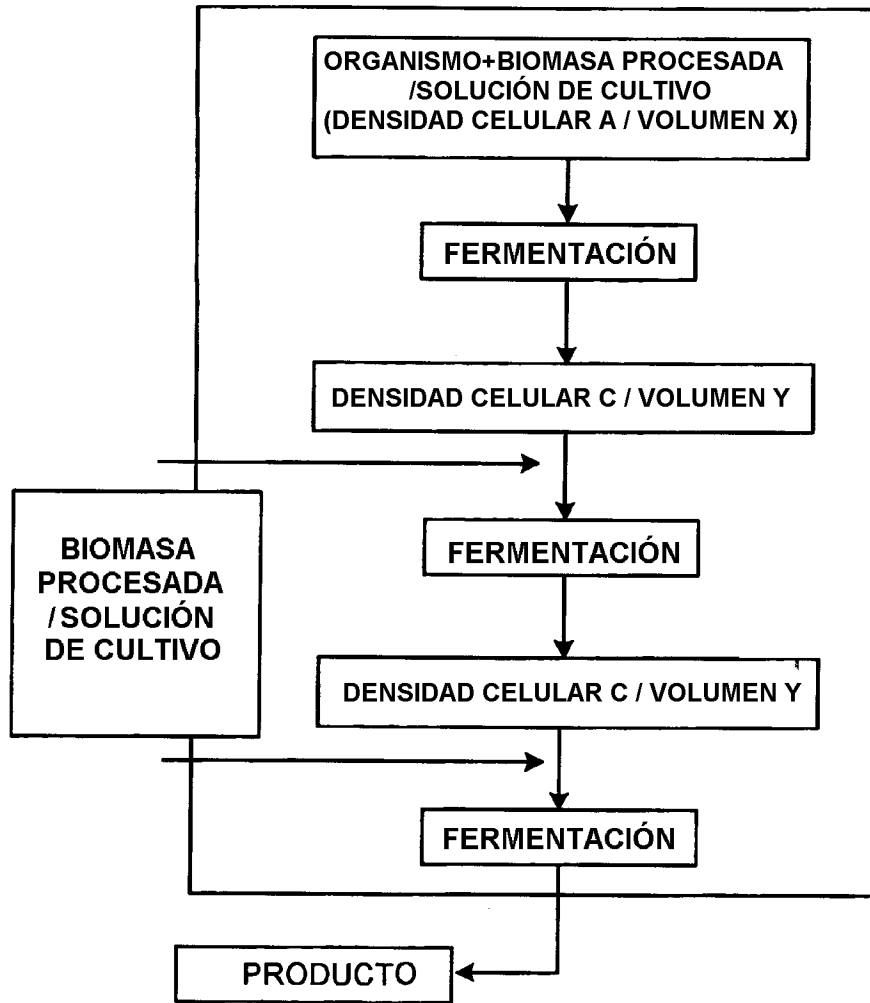


FIG. 44

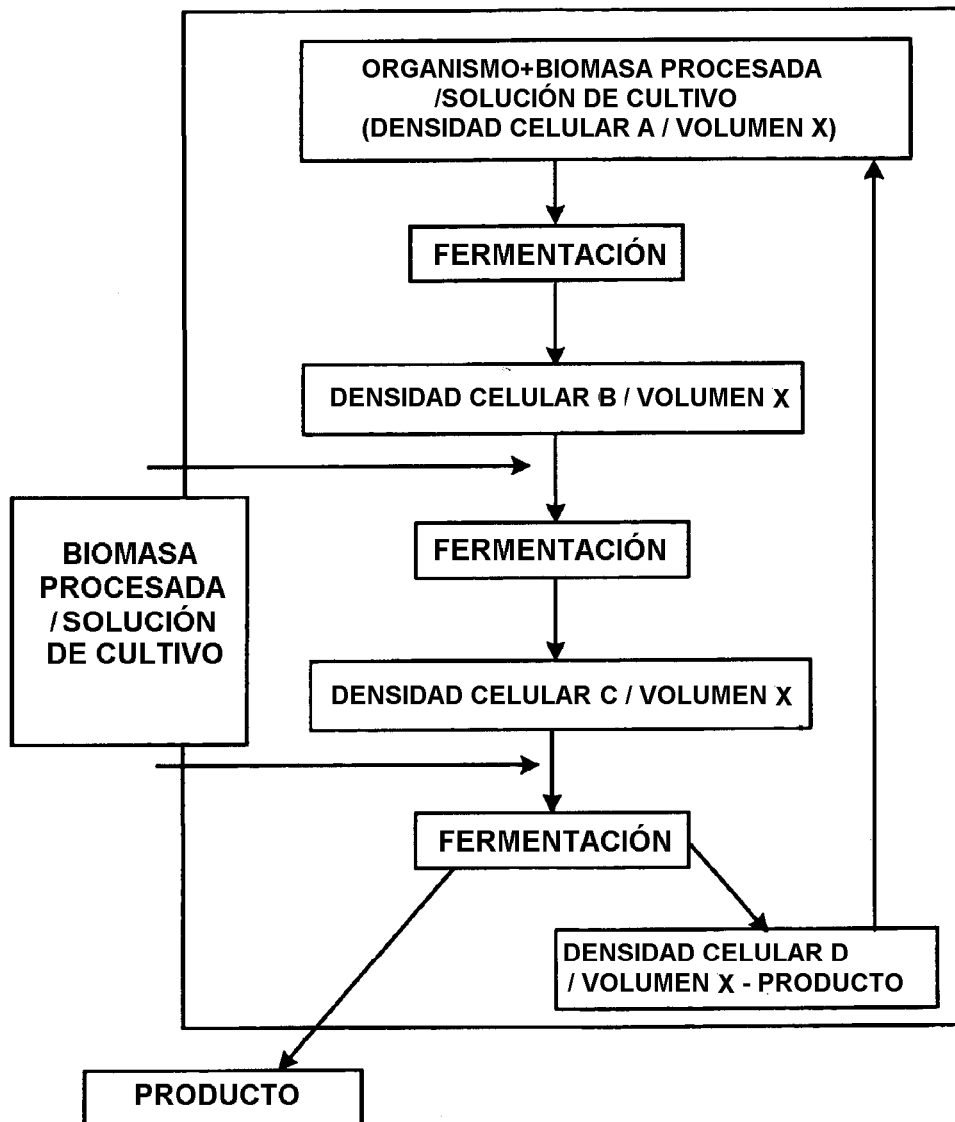


FIG. 45

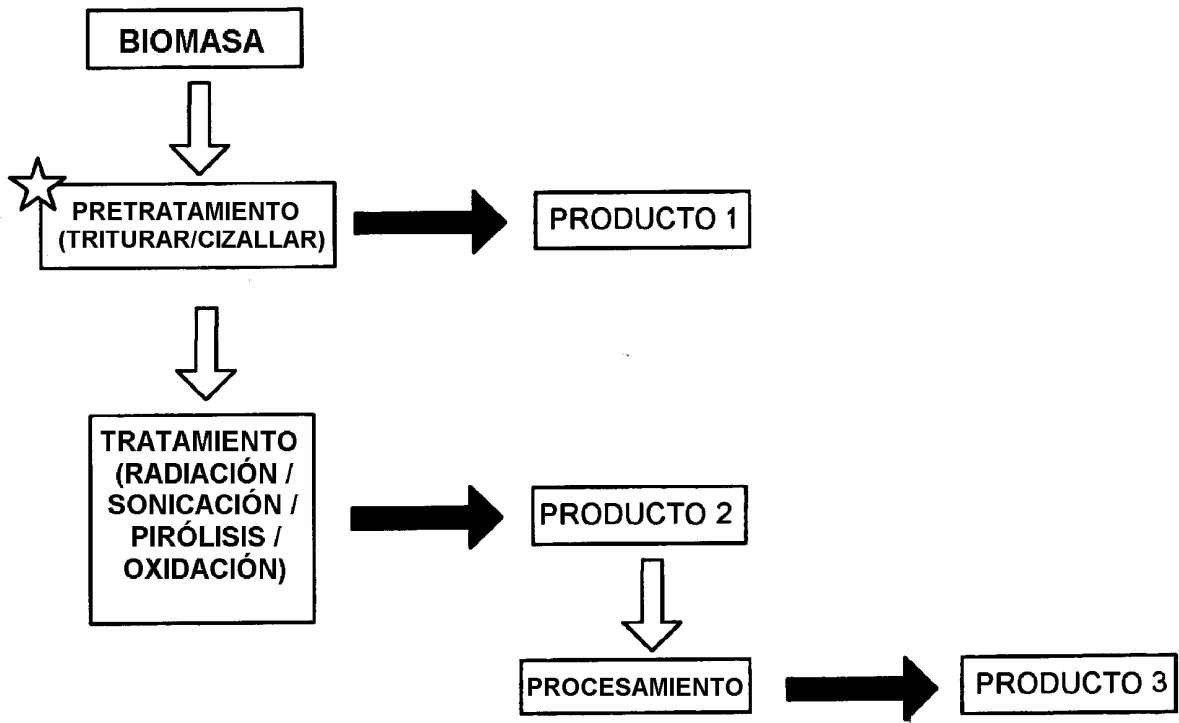


FIG. 46