

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 399 580**

51 Int. Cl.:

**D21C 1/02** (2006.01)

**D21C 3/22** (2006.01)

**D21C 3/26** (2006.01)

**D21C 7/00** (2006.01)

**D21B 1/36** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.02.2009 E 09714368 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.11.2012 EP 2247781**

54 Título: **Sistema y procedimiento para la extracción previa de la hemicelulosa mediante el uso de un proceso de tratamiento previo continuo de hidrólisis y explosión de vapor**

30 Prioridad:

**28.02.2008 US 32115 P**

**19.02.2009 US 389020**

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

**02.04.2013**

73 Titular/es:

**ANDRITZ, INC. (100.0%)**

**One Namic Place**

**Glens Falls, NY 12801, US**

72 Inventor/es:

**PSCHORN, THOMAS;**

**SHIN, NAMHEE y**

**STROMBERG, BERTIL**

74 Agente/Representante:

**LÓPEZ MARCHENA, Juan Luis**

**ES 2 399 580 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

Sistema y procedimiento para la extracción previa de la hemicelulosa mediante el uso de un proceso de tratamiento previo continuo de hidrólisis y explosión de vapor

5

## ANTECEDENTES DE LA INVENCION

1. La presente invención se refiere al tratamiento previo de materia prima de biomasa celulósica, tales como residuos agrícolas (incluidos tallos, forrajes y cortezas), pajas e hierbas, residuos forestales y de aserradero (incluidas virutas y clareos triturados). En particular, la invención se refiere a la hidrólisis previa y al tratamiento previo de explosión de vapor a fin de extraer azúcares de carbono de materias primas de biomasa.

10

2. Las altas presiones y/o las altas temperaturas son habituales en los tratamientos previos utilizados para generar alcoholes, por **ejemplo** etanol, de las materias primas celulósicas. En estos tratamientos previos habituales, algunos azúcares C5 se convierten en componentes que inhiben la fermentación del alcohol de los azúcares C6 en el paso de fermentación que sigue al tratamiento previo. La retirada de estos componentes inhibidores, tales como aldehídos (por **ejemplo**, HMF, furtural y formaldehído), fenólicos monoméricos (por **ejemplo** vanilina y aldehído de coniferilo), ácidos (por **ejemplo** ácido fórmico) y otros inhibidores, deberá aumentar la producción de alcohol en el paso de fermentación C6, después del tratamiento previo.

15

20

3. La patente US-A-4966 650 describe un procedimiento para fraccionar las ligninas de la lignocelulosa explotada por vapor a fin de proporcionar fracciones con diferentes propiedades.

25

## RESUMEN DE LA INVENCION

4. Se ha desarrollado un sistema para el tratamiento previo de materia prima de biomasa celulósica, que incluye: un primer reactor presurizado que recibe la materia prima, en el cual la materia prima es hidrolizada en el primer reactor presurizado; un dispositivo de cierre que tiene un primer acople presurizado a un orificio de descarga del primer reactor presurizado, y un segundo acople presurizado a un segundo reactor presurizado; un drenaje para un líquido, que incluye material hemicelulósico disuelto extraído de la materia prima en al menos uno del primer reactor presurizado y el dispositivo de cierre; recibiendo el segundo conjunto de reactor presurizado la materia prima del dispositivo de cierre a una presión algo mayor que la presión en el primer reactor presurizado, y un dispositivo de expansión aguas abajo del segundo conjunto reactor presurizado, en el cual el dispositivo de expansión libera rápidamente la presión de la materia prima descargada del segundo reactor presurizado, de modo que la materia prima sufra una reacción de explosión de vapor, donde el primer reactor y el segundo reactor incluyen cada uno una fase de vapor que recibe el calentamiento de vapor directo, y la reacción o calentamiento de la materia prima.

30

35

5. En otra realización, el sistema para el tratamiento previo de la materia prima de biomasa celulósica puede comprender: un primer reactor presurizado que recibe la materia prima, en el cual la materia prima es hidrolizada en el primer reactor a una presión manométrica en un rango de 1,5 bares a 6 bares, y a una temperatura de al menos 110 grados Celsius; un dispositivo de cierre y extracción que tiene un primer acople presurizado a un orificio de descarga de materia prima del primer reactor presurizado, y un segundo acople presurizado a un segundo reactor presurizado; una etapa de lavado que introduce líquido en la materia prima en al menos uno del primer reactor presurizado y el dispositivo de cierre y extracción; un drenaje para retirar un líquido, incluyendo material hemicelulósico disuelto extraído de la materia prima en al menos uno del primer reactor presurizado y el dispositivo de cierre y extracción; recibiendo el segundo conjunto de reactor presurizado la materia prima presurizada del dispositivo de cierre y extracción e infundiendo un vapor y vapor de agua en la materia prima en el segundo reactor presurizado, en el cual el conjunto de reactor aplica una presión manométrica a la materia prima en un rango de 8 bares a 25,5 bares, y teniendo el segundo conjunto reactor presurizado una descarga presurizada acoplada a un conducto de descarga, y un dispositivo de expansión aguas abajo del segundo conjunto reactor presurizado, en el cual el dispositivo de expansión libera rápidamente la presión de la materia prima descargada del segundo reactor presurizado, de manera que la materia prima sufre una reacción de explosión de vapor.

40

45

50

6. Se ha desarrollado un procedimiento para el tratamiento previo de materia prima de biomasa celulósica que comprende: tratar previamente la materia prima en un primer reactor presurizado, en el cual la materia prima es hidrolizada en el primer reactor presurizado; descargar la materia prima del primer reactor presurizado a un primer dispositivo de cierre presurizado que tiene un primer acople presurizado a un orificio de descarga de la materia prima del primer reactor presurizado; mantener una fase de vapor en el primer reactor presurizado mediante la inyección de vapor en el primer reactor presurizado, en el cual el vapor inyectado proporciona energía térmica a la materia prima en el primer reactor presurizado; lavar la materia prima en una zona aguas abajo del primer reactor presurizado o el dispositivo de cierre presurizado; drenar un líquido, que incluye material hemicelulósico disuelto extraído de la materia prima de al menos uno del primer reactor presurizado y el dispositivo de cierre presurizado; descargar la materia prima del dispositivo de cierre presurizado a través de un segundo acople a un segundo reactor presurizado; en el cual la materia prima se mantiene a una presión superior en el segundo reactor presurizado que en el primer reactor presurizado; en el segundo reactor presurizado, infundir a las células de la materia prima con

60

65

vapor o vapor de agua, inyectando vapor o vapor de agua en el segundo reactor presurizado, y liberar rápidamente la presión aplicada a la materia prima para provocar una expansión del vapor en las células de la materia prima, pudiendo refinarse la materia prima.

5 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

7. La FIGURA 1 ilustra un diagrama esquemático de un flujo a través de un proceso de dos reactores para el tratamiento previo de materia prima de biomasa celulósica.

10 8. La FIGURA 2 ilustra un sistema de reactor con un primer reactor inclinado con una entrada más baja que la descarga, y un segundo reactor horizontal.

9. La FIGURA 3 ilustra un sistema de reactor con un primer reactor inclinado con una entrada más alta que la descarga, y un segundo reactor horizontal.

15 10. La FIGURA 4 ilustra un sistema de reactor con un segundo reactor cónico.

11. La FIGURA 5 ilustra un sistema de reactor con una serie de separadores de ciclón.

20 12. La FIGURA 6 describe un sistema de reactor con un distribuidor de tornillo a presión.

13. La FIGURA 7 describe un sistema de reactor con un primer reactor vertical.

25 14. La FIGURA 8 ilustra una disposición alternativa de un sistema de reactor con un segundo reactor cónico.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

15. La FIGURA 1 muestra un dibujo de flujo de un proceso 10 de tratamiento previo de la materia prima de biomasa celulósica, que tiene un primer reactor presurizado 12 para hidrolizar y disolver la hemicelulosa de la materia prima  
 30 14. La hemicelulosa se disuelve en un líquido para extraer azúcares C5 antes de que la materia prima fluya a un segundo reactor presurizado 16, a fin de cocinar la celulosa restante de la materia prima. Un cierre presurizado 18 permite un flujo continuo de materia prima directamente del primer reactor 12 al segundo reactor 16.

35 16. La materia prima 14 puede ser un material de biomasa celulósica tales como residuos agrícolas (incluidos tallos, forrajes y cortezas), pajas e hierbas, residuos forestales y de aserradero (incluidas virutas y clareos triturados). La materia prima 14 se introduce en una cubeta de almacenamiento 20 donde se mantiene la materia prima, al menos temporalmente, a presión atmosférica. La cubeta de almacenamiento puede proporcionar una vaporización previa para calentar la materia prima. Desde la cubeta de almacenamiento 20, un transportador 22 lleva la materia prima a un dispositivo de cierre a presión 24, tal como una válvula giratoria, distribuidor de tornillo a presión o un MSD Impressafiner®, vendido por Andritz Inc, de Glens Falls, Nueva York, EE.UU. El dispositivo de cierre a presión 24  
 40 sirve como portal de entrada para la materia prima a un primer reactor presurizado 12.

45 17. En el primer reactor presurizado 12, se trata previamente la materia prima de biomasa celulósica utilizándose la hidrólisis, por **ejemplo** hidrólisis previa o auto hidrólisis, para extraer azúcares de carbono, preferentemente azúcares C5, de la materia prima, antes del segundo reactor presurizado 16. El primer reactor presurizado puede ser horizontal, inclinado o vertical. El cocinado por hidrólisis en el primer reactor 12 puede ser un proceso continuo en el cual la materia prima entra, fluye y se descarga continuamente desde el reactor 12 al cierre presurizado 18 y a través de segundo reactor 16.

50 18. En el primer reactor presurizado 12, la hemicelulosa, que es principalmente azúcares de carbono-5 (denominados en la presente azúcares C5), se disuelve e hidroliza. La hemicelulosa se extrae en un líquido desde el primer reactor presurizado 12 a través de un conducto 26 que se extiende desde el reactor 12 hasta un depósito o tambor 28 de purga.

55 19. La hemicelulosa en maderas blandas es en su mayor parte glucomanano, que se disuelve e hidroliza en un procesos de hidrólisis previa y auto hidrólisis del primer reactor 12. La hemicelulosa en, por **ejemplo**, maderas duras, pajas de cereal e hierbas puede disolverse e hidrolizarse en la solución ácida del primer reactor 12 (optativamente en presencia de catalizador(es)) en azúcares C5 de bajo peso molecular, tales como xilosa y arabinosa y, en cierta medida, en azúcares C6 amorfos. Los azúcares C5 de bajo peso molecular y azúcares C6  
 60 amorfos se disuelven en el reactor 12 y se drenan como un licor (líquido) desde el reactor 12 al tubo 26. Los **ejemplos** de subproductos de azúcar C5 que se retiran preferentemente como licor de la materia prima en el primer reactor 12 incluyen: aldehídos (HMF, furtural y formaldehído), fenólicos monoméricos (vanilina y aldehído de coniferilo) y ácidos (tales como ácido acético y ácido fórmico). La retirada de estos subproductos de azúcar C5 es conveniente dado ellos, o los subproductos de su reacción, podrían inhibir la fermentación de los azúcares C6 si no  
 65 se separan en el primer reactor 12 de la materia prima.

20. En el primer recipiente reactor presurizado 12, la materia prima puede procesarse en una solución ácida que promueve la hidrólisis previa o auto hidrólisis para disolver e hidrolizar la hemicelulosa de la materia prima en azúcares C5 de bajo peso molecular y azúcares C6 amorfos. El reactor 12 podría no llenarse con materia prima para permitir una fase de vapor en el reactor. La fase de vapor proporciona energía térmica para la materia prima y promueve la reacción de hidrólisis en la materia prima, que puede ser en una o ambas de la fase de vapor o la fase líquida del reactor. El vapor al reactor 12 puede suministrarse desde una fuente de vapor 13 que inyecta vapor directamente en el reactor en una o más posiciones del reactor 12, y preferentemente cerca de la entrada de materia prima del reactor. El vapor puede inyectarse también en los transportadores 22, 24 de materia prima, inmediatamente aguas arriba de la entrada del reactor 12. La inyección de vapor aguas arriba de la entrada al reactor 12 mejora la mezcla de vapor y la materia prima antes de que la mezcla entre al reactor.
21. La hidrólisis, y en particular la hidrólisis previa y la auto hidrólisis, se refiere en general al cocinado de la materia prima de biomasa celulósica a temperaturas de, por **ejemplo**, entre 110 grados Celsius (°C) y 160°C o 110°C a 175°C, a una presión manométrica de 1,5 bares a 6 bares (150 a 600 kilopascales) o 1,5 bares a 10 bares (150 a 1000 kilopascales), durante aproximadamente diez (10) minutos a sesenta (60) minutos (min.) y preferentemente de 20 a 30 minutos. Para promover la hidrólisis y proporcionar presurización, el primer reactor presurizado 12 puede recibir flujos de uno o más de un ácido suave, gas de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) oxígeno, aire comprimido, amoníaco, agua, vapor de agua, vapor (para calentar y mantener la temperatura) y agentes catalizadores de las fuentes 30, 13 de cada uno de estos compuestos. El flujo o flujos recibidos 30, 13 pueden introducirse en el primer reactor presurizado 12 cerca de donde la materia prima sale del primer recipiente presurizado. Como alternativa a la adición de ácidos, el primer reactor 12 puede utilizar condiciones de auto hidrólisis, como por **ejemplo** el uso de los ácidos de la madera liberados por la materia prima bajo condiciones de auto hidrólisis.
22. La materia prima puede descargarse húmeda o seca del primer reactor 12. El agua de dilución o licor 32 puede añadirse opcionalmente al primer reactor 12 o al dispositivo de cierre y extracción 18. La adición de agua beneficia a la retirada de cualesquiera sustancias disueltas del dispositivo de cierre y extracción 18, y aumenta la cantidad de azúcares recuperados en las corrientes que fluyen a través de los conductos 26 y 48.
23. Además, puede incluirse una etapa de lavado 15 inmediatamente aguas abajo del primer reactor 12 y aguas arriba del segundo reactor 16, y preferentemente aguas arriba del dispositivo de cierre y extracción 18 para lavar la materia prima con agua de dilución a fin de, por **ejemplo**, asegurar que ha cesado la reacción de hidrólisis. Por **ejemplo**, la etapa de lavado puede colocarse al final del flujo de primer reactor 12 o en el dispositivo de cierre y extracción 18. La etapa de lavado 15 introduce agua limpia, por **ejemplo** desde la fuente 32 de agua de dilución, a la materia prima, en una zona de lavado (véase Fig. 7), cerca de la salida del primer reactor o en el dispositivo de cierre y extracción 18. El agua de lavado de la fuente 32 puede tener una temperatura de no más de 160 grados Celsius, no más de 140° grados Celsius, o no más de 110 grados Celsius. La temperatura del agua de lavado es inferior a la temperatura en el primer reactor 12, a fin de suprimir la reacción de hidrólisis en la zona de lavado. La zona de lavado extrae el líquido filtrado 17 de la materia prima a través de, por **ejemplo**, el conducto de drenaje 48.
24. La etapa de lavado debería ser aguas arriba del proceso de explosión de vapor, por **ejemplo** aguas arriba de la válvula 34. Es más económico y eficiente lavar la materia prima aguas arriba del proceso de explosión de vapor que lavar la materia prima después del proceso de explosión de vapor. El proceso de explosión de vapor reduce el tamaño de las partículas de la materia prima y aumenta así la superficie específica de la materia prima. Las partículas pequeñas y la gran superficie específica resultante aumentan la dificultad de desecar y lavar la materia prima. El lavado aguas arriba del proceso de explosión de vapor evita estas dificultades debido a que las partículas de materia prima son relativamente gruesas y tienen una superficie específica menor antes de la explosión de vapor.
25. Dado que lavar la materia prima con partículas de mayor tamaño es más eficiente en comparación con el lavado de partículas más pequeñas, el equipo de lavado, tales como zonas de lavado, inyectores de agua, pantallas de filtración y dispositivos de extracción, puede ser más sencillo y más barato que el equipo de lavado necesario para lavar aguas abajo del proceso de explosión de vapor. De igual modo, los costes asociados con el lavado, tales como los costes de suministrar líquido de lavado y extraer el líquido filtrado, es menor si la etapa de lavado es aguas arriba del proceso de explosión de vapor que si la etapa es aguas abajo del proceso.
26. El depósito de descarga 28 recoge los componentes disueltos tales como azúcares C5 de la hemicelulosa extraída de la materia prima en el primer reactor 12 y el dispositivo de cierre y extracción 18 a través de los tubos (denominados también conductos) 26 y 48. La solución líquida de hemicelulosa disuelta, por **ejemplo** azúcares C5, extraída del reactor 12, puede despresurizarse a través de una válvula 49 de reducción de la presión en el tubo 48, al depósito de descarga, o en la descarga del depósito de descarga 28. Habiendo sido separados de la materia prima y almacenados en el depósito 28, los azúcares C5 de la hemicelulosa pueden convertirse en xilosa utilizándose procesos habituales, para su uso como aditivos alimentarios, biogás mediante la fermentación aeróbica y anaeróbica, metil-furano mediante la oxigenación de alto octanaje y en un azúcar acuoso para la conversión en alcoholes, tales como etanol. La conversión de los azúcares C5 puede utilizar microorganismos especiales, por **ejemplo** enzimas, para promover la reacción de conversión.

27. Para cualquiera de los sistemas de reactor de la presente descripción, entre el primer y el segundo reactor puede incluirse un aparato de lavado opcional a fin de lavar la materia prima. Los aparatos de lavado pueden incluir una entrada para un disolvente (tales como las soluciones ácidas utilizadas en el primer reactor, agua, vapor o una combinación de los mismos) para que se mezcle con la materia prima antes o después de la retirada de la hemicelulosa disuelta. El disolvente puede disolver además la hemicelulosa asociada con la materia prima que no se retiró después de la primera retirada de los componentes disueltos. El disolvente puede introducirse a una temperatura o presión que esté por debajo de la temperatura o presión del primer reactor. Dado que la temperatura o la presión, o ambos, son inferiores a las del primer reactor, el disolvente tiene el beneficio adicional de detener la reacción o reacciones químicas inducidas en la materia prima por el primer reactor. La salida del aparato de salida que contiene disolvente con hemicelulosa adicional puede procesarse separadamente o puede combinarse con el componente disuelto previamente extraído en el depósito de descarga 28. El aparato de lavado puede comprender además orificios de vapor adicionales y entradas para mantener la temperatura y presión del proceso. El aparato de lavado puede incorporarse en el primer reactor (12), o el dispositivo de extracción de cierre (18) de modo que no es necesario hardware adicional para poner en práctica la etapa de lavado. Por **ejemplo**, el primer reactor o el dispositivo de extracción de cierre pueden incluir un orificio de entrada para el disolvente adicional a fin de lavar posteriormente la materia prima. El disolvente puede retirarse utilizándose los orificios normales de retirada de disolvente del sistema de reacción, tales como el conducto 26 o 48.
28. Después de la retirada de la hemicelulosa disuelta, la materia prima restante se descarga del primer reactor 12 al dispositivo de cierre o extracción 18. La materia prima continúa presurizada y fluye desde el primer reactor 12 al dispositivo de cierre y extracción 18. El dispositivo de cierre y extracción 18 transporta la materia prima desde el primer reactor 12 al segundo reactor 16. El dispositivo de cierre o extracción 18 puede aumentar la presión aplicada a la materia prima a un nivel superior a la presión del primer reactor 12, y a un nivel adecuado para una explosión de vapor, que tendrá lugar después del segundo reactor 16. El segundo reactor presurizado 16 puede incluir un recipiente de reacción horizontal o cónico.
29. El dispositivo presurizado de cierre y extracción 18 puede ser un (MSD) Impressafiner®, un extrusor del tipo dispositivo de tornillo, o un distribuidor de tornillo a presión o una unidad similar que comprime la materia prima procesada previamente para extraer los componentes disueltos (principalmente hemicelulosa), que se descarga a través del conducto 48 a un depósito de descarga 28 o dispositivo similar. El dispositivo de cierre y extracción puede aumentar la presión de la materia prima en relación con la presión manométrica, por **ejemplo**, 1,5 bares a 10 bares, en la descarga del primer reactor, hasta la presión manométrica en el segundo reactor 16, de 8 bares a más de 25 bares.
30. La materia prima presurizada puede fluir del primer reactor 12 al dispositivo de cierre y extracción 18 por la fuerza de la gravedad, mediante el flujo continuo de materia prima en el reactor (tal como se ilustra en las Figuras 2 a 6) o mediante un raspador de descarga o un tornillo de descarga 51, tal como se ilustra en la Figura 7. El dispositivo de extracción 18 proporciona un cierre presurizado entre el primer y segundo reactor 12 y 16. Dado que la materia prima se descarga del primer reactor 12 bajo presión, el dispositivo de cierre y extracción 18 tiene preferentemente una entrada configurada para recibir la materia prima bajo presión. Por **ejemplo**, la entrada al dispositivo de cierre y extracción 18 se cierra en la salida del primer reactor 12, y no libera la presión de la materia prima que entra al dispositivo 18.
31. El segundo reactor 16 puede ser, por **ejemplo**, un reactor horizontal o cónico. En las Figuras 7 y 8 se ilustran los reactores verticales y pueden incluir una sección inferior para promover el flujo hacia abajo de la materia prima, tal como una sección de dorso de diamante descrita en las patentes de los EE.UU. 5.617.975 y 5.628.873. Los recipientes adecuados para el segundo reactor 16 son los habituales y se utilizan normalmente en procesos de conversión en pasta por explosión de vapor.
32. El segundo reactor actúa preferentemente a una presión superior a la del primer reactor. Desde el segundo conjunto reactor (que puede incluir un segundo reactor 16 o un segundo reactor 16 y un dispositivo de descarga 36 del reactor), la materia prima se descarga a elevadas presiones manométricas, por **ejemplo** entre los 8 bares y los 25,5 bares. El segundo conjunto reactor puede incluir un dispositivo de descarga 52, por **ejemplo** un distribuidor de tornillo de descarga que mueve la materia prima a un dispositivo de descarga 36 del reactor. El proceso 10 mantiene la materia prima a una presión manométrica esencialmente elevada, por **ejemplo** por encima de 1,5 bares, desde el primer reactor 12, a través del dispositivo de extracción y cierre 18, el segundo reactor 16, el dispositivo de descarga 36 del reactor y a la válvula de descarga 34.
33. El segundo reactor 16 procesa la materia prima de biomasa celulósica a temperaturas de, por **ejemplo**, 170°C a 230°C durante aproximadamente dos a cinco minutos (o durante más tiempo) a una presión manométrica de ocho (8) bares a 25,5 bares (800 kilopascales a 2.550 kilopascales). El segundo reactor 16 puede incluir una fase de vapor en la cual el vapor se inyecta directamente en el reactor para suministrar energía térmica a la materia prima. En el segundo reactor 16, uno o más de vapor, vapor y agua líquida de las fuentes 53, 32, se difunde dentro de la estructura interior de material lignocelulósico de la materia prima. Además, las fuentes de vapor, vapor de agua o

agua líquida 53, 52 pueden proporcionar otros líquidos tales como una fuente líquida de agentes catalizadores, que deben inyectarse al segundo reactor presurizado 16.

5 34. En el segundo reactor 16 o el dispositivo de cierre y extracción 18 puede inyectarse directamente agua 32 a fin de suministrar agua diluida para ser infundida en la materia prima. El agua de dilución 32 y las fuentes 53 de vapor, vapor de agua y agentes catalizadores pueden inyectarse en el segundo reactor 16 en un punto o puntos cercanos a donde la materia prima entra en el reactor.

10 35. El vapor o vapor de agua se infunde en la materia prima en el segundo reactor 16. El vapor y el vapor de agua se condensan parcialmente como agua líquida en la estructura microporosa de tipo capilar de la estructura interior del material lignocelulósico que se procesa en el segundo reactor.

15 36. La presión de la materia prima se reduce drásticamente cuando pasa a través de una válvula de descarga 34, aguas abajo del segundo conjunto de reactor. La caída de presión en la válvula de descarga 34 es preferentemente una reducción en la presión de al menos de diez (10) bares. La presión de la materia prima puede reducirse por la válvula de descarga 34 de uno a dos bares, donde cero bares es prácticamente la presión atmosférica. La importante caída en la presión a través de la válvula 34 es adecuada para la conversión en pasta por explosión de vapor. La rápida caída en la presión, por **ejemplo**, "vaporización instantánea" convierte en vapor el agua líquida condensada de las células del material lignocelulósico de la materia prima. La conversión en vapor del agua de las células de la materia prima provoca una ruptura masiva, por **ejemplo**, una "explosión" de las células de la materia prima de biomasa celulósica. La ruptura tiene lugar debido a que el volumen ocupado por el vapor es mucho mayor que el volumen ocupado por el agua en las células. La ruptura masiva incluye la explosión de las células individuales de la materia prima y la rotura de las fibras en la celulosa amorfa, tal como entre los tubos y las fibras cilíndricas de la estructura celulósica de la materia prima.

25 37. La presión de la materia prima en la descarga del segundo reactor 16 puede ser suficiente para la conversión en pasta por explosión de vapor, tal como se ilustra en la Figura 8. Como variante, en el segundo conjunto reactor puede incluirse un dispositivo de descarga 36 para impulsar la presión de la materia prima a una presión superior a la del segundo reactor. El dispositivo de descarga 36 del reactor puede aumentar también la presión de la materia prima a una presión adecuada para la conversión en pasta por explosión de vapor, por **ejemplo** de 8 bares a 25 bares.

35 38. El segundo reactor presurizado 16 puede descargar la materia prima bajo una elevada presión a un dispositivo de descarga 36 del reactor, entre el segundo reactor y la válvula de descarga 34. El segundo conjunto reactor presurizado puede comprender el reactor 16, con o sin un dispositivo de descarga 36 del reactor. El dispositivo de descarga 36 del reactor podría ser, por **ejemplo**, uno o más de un raspador o un barredero en el orificio de descarga de la materia prima del segundo reactor, una refinadora de fresa de discos, una refinadora de discos de panel de fibras de densidad media (MDF), un compresor de discos de alta presión o un distribuidor de tapón de descarga. Por **ejemplo**, una realización del dispositivo de descarga 36 del reactor puede ser una refinadora de disco individual que funciona a una velocidad de giro de 1.200 revoluciones por minuto (RPM) a 3.000 RPM, accionada por un motor eléctrico con una potencia de 150 caballos (110 kilovatios). La realización de la refinadora de fresa de discos del dispositivo de descarga 36 del reactor puede refinar también parcialmente la materia prima presurizada, antes de que la materia prima se refine por explosión de vapor, pasando a través de la válvula de descarga 34.

45 39. Durante la explosión de vapor, las partículas de la materia prima tratada se separan de la red celulósica de la materia prima. El separador de ciclón o depósito de descarga 38 incluye una descarga inferior 39 para partículas y una descarga de vapor superior 41 para el vapor, gases no condensables (NCG), gases comprimibles y otros vapores químicos 40. Estos vapores 40, que pueden incluir compuestos orgánicos volátiles (VOCs), pueden recuperarse haciéndose pasar los vapores a través de un termointercambiador para recuperar la energía térmica del vapor.

50 40. Las partículas separadas de la materia prima tratado, descargadas desde la descarga inferior 39 o el orificio del depósito de descarga o ciclón 38, pueden ser enfriadas en un dispositivo de enfriamiento 42, que puede incluir un transportador de correa o de tornillo. La materia prima tratada puede procesarse por un reactor o reactores 44 que pueden aplicar ácido o tratamientos de enzimas a la materia prima tratada. La materia prima tratada se descarga por último como materia prima tratada previamente 46.

55 41. El proceso 10 ilustrado en la Figura 1 puede realizarse en diferentes configuraciones de reactores y otros dispositivos. En las Figuras 2 a 8 se ilustran las realizaciones de dichas configuraciones de reactores y otros dispositivos. Los números de referencia en las Figuras 2 a 8 que son comunes con la Figura 1, se refieren a dispositivos que cumplen la misma función identificada por el número de referencia común de la Figura 1.

60 42. Como se ilustra en las FIGURAS 2 a 8, el primer reactor 12, por **ejemplo**, un reactor de hidrólisis previa, puede ser: inclinado como se ilustra en las Figuras 2 a 8, dispuesto verticalmente como se ilustra en la Figura 9, o dispuesto prácticamente horizontal tal como se ilustra en la Figura 10.

65

- 5 43. El primer reactor presurizado 12 puede ser un reactor clásico tal como un reactor tipo pandia que tiene una hélice o tornillo interno para mover la materia prima a través del reactor. La materia prima puede entrar al primer reactor 12 a través de un dispositivo de cierre a presión 24 (en la Fig. 1), que puede ser una válvula giratoria 60 (tal como se ilustra en las Figuras 2, 4, 5,7 y 8) un distribuidor de pantalla a presión 62, por **ejemplo**, un MSD Impressafiner® (tal como se ilustra en las Figuras 3 y 6) u otro sistema de alimentación que introduce materia prima a un reactor presurizado.
- 10 44. La hemicelulosa disuelta descargada del reactor 12 puede drenarse al conducto 26 (tal como se ilustra en las Figuras 2, 4, 6 y 7) o drenarse completamente en el dispositivo presurizado de cierre y extracción 18 (tal como se ilustra en las Figuras 3 y 5). Como se muestra en las Figuras 2, 3, 4 y 5, los primeros reactores inclinados 12 con el extremo inferior 50 opuesto a un extremo superior 54, que descargan la materia prima, drenarán la mayoría o la totalidad de la hemicelulosa disuelta, por **ejemplo** azúcares C5, como un líquido, en un extremo inferior 50 del reactor. El extremo superior 54 de estos primeros reactores inclinados tiene una presión que mantiene el acople al dispositivo de cierre presurizado 18, que puede ser un distribuidor de tornillo a presión. Del dispositivo de cierre 18 puede extraerse el licor adicional que tiene la hemicelulosa disuelta, dirigiéndose a través de los conductos 48 y 26 a la válvula de reducción 49 y al depósito o tambor de descarga 28. Tal como se ilustra en la Figura 3, el primer reactor 12 podría ser inclinado, de manera que el extremo inferior 56 del recipiente reactor tiene una presión que mantiene el acople al dispositivo de cierre presurizado. El extremo inferior 56 de los reactores 12, ilustrado en la Figura 3, descarga la materia prima y la totalidad del material de hemicelulosa líquida al dispositivo de cierre a presión 18. Un conducto 48 drena la hemicelulosa líquida del dispositivo de cierre y extracción a presión 18 y dirige el líquido a la válvula de reducción de presión 49 y al depósito o tambor 28.
- 15 45. Las FIGURAS 4 a 6 muestran que la materia prima, después de pasar a través de la válvula de descarga 34 y ser tratada mediante explosión de vapor, puede separarse en diferentes flujos, teniendo cada uno un separador de ciclón diferente 382, 384 y 386, y diferentes dispositivos de descarga y reactores adicionales 422, 424 426. Por **ejemplo**, una parte de la celulosa de la materia prima puede retenerse para separarse y procesarse por separado para pasta (papel) o aplicaciones químicas especiales.
- 20 46. El primer reactor inclinado presurizado 12, ilustrado en la Figura 8, tiene un extremo inferior 56 acoplado al cierre presurizado 18. El extremo superior 58 del reactor puede tener un conducto de drenaje optativo 26 que permite al líquido de hemicelulosa fluir desde el reactor a la válvula de reducción 49 y el depósito 28.
- 25 47. El primer reactor presurizado vertical 12, ilustrado en la figura 7, incluye un barretero y transportador 51 de materia prima que descarga la materia prima del recipiente reactor, y drena el líquido de hemicelulosa al conducto 26, el cual dirige el líquido a través de la válvula de reducción 49 y al depósito o tambor de descarga.
- 30 48. Un beneficio de una realización del proceso 10 de tratamiento previo de materia prima de biomasa celulósica es que los recipientes reactores son preferentemente de secciones transversales constantes o que se expanden, para permitir una expansión del volumen de flujo o caudal de flujo de la materia prima, sin que importe la variación de la carga en sección transversal, canalización o atascamiento de los recipientes del reactor. Por **ejemplo**, cada uno de los recipientes reactores 12, 16 pueden estar orientados verticalmente, inclinados y horizontales. De igual modo, el flujo de la materia prima de los reactores a través de cada uno de los reactores puede ser hacia abajo, hacia arriba u horizontal dependiendo de la orientación del recipiente reactor.
- 35 49. Aunque la invención se ha descrito en relación con lo que se considera actualmente la realización más práctica y preferida, debe entenderse que no se limita a la realización descrita, sino que, por el contrario, se pretende que cubra las diferentes modificaciones incluidas dentro del ámbito de las reivindicaciones adjuntas.
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65

REFERENCIAS CITADAS EN LA MEMORIA DESCRIPTIVA

Esta lista de referencias citadas por el solicitante es para comodidad del lector solamente. No forma parte del documento de la patente europea. Aun cuando se tuvo gran cuidado en cumplir las referencias, no se pueden excluir errores u omisiones y la EPO declina toda responsabilidad a este respecto.

5

**Documentos de patentes citados en la memoria descriptiva**

- US 4966650 A [0003]
- US 5617975 A [0031]
- US 5628873 A [0031]

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

## REIVINDICACIONES

1. Sistema para el tratamiento previo de materia prima (14) de biomasa celulósica, que comprende:
- 5 un primer reactor presurizado (12) que recibe la materia prima (14), en el cual la materia prima (14) es hidrolizada en el primer reactor presurizado (12);  
 un dispositivo de cierre (18) que tiene un primer acople presurizado a un orificio de descarga de materia prima del primer reactor presurizado (12), y un segundo acople presurizado a un segundo conjunto reactor presurizado;
- 10 un drenaje para un líquido, que incluye material hemicelulósico disuelto extraído de la materia prima (14) en al menos uno del primer reactor presurizado (12) y el dispositivo de cierre (18);  
 recibiendo el segundo conjunto reactor presurizado la materia prima presurizada (14) del dispositivo de cierre (18) a una presión algo mayor que la presión del primer reactor presurizado (12), y  
 un dispositivo de expansión aguas abajo del segundo conjunto reactor presurizado, en el cual el dispositivo de expansión libera rápidamente la presión de la materia prima (14) descargada del segundo conjunto reactor presurizado, de modo que la materia prima (14) sufre una reacción de explosión de vapor,  
 15 en el cual el primer reactor presurizado (12) y el segundo conjunto reactor presurizado incluyen cada uno una fase de vapor que recibe calentamiento por vapor de agua directo y una fase líquida para hacer reaccionar o calentar la materia prima.
- 20
2. Sistema según la reivindicación 1, en el cual el primer reactor presurizado (12) tiene una zona inferior que recibe la materia prima y una zona superior que incluye el orificio de descarga de materia prima, y el drenaje se encuentra en la zona inferior y descarga el material hemicelulósico disuelto del primer reactor presurizado (12).  
 en el cual el primer reactor presurizado (12) está preferentemente inclinado de manera que el orificio de descarga de la materia prima está situado en un extremo inferior del reactor,  
 25 en el cual el drenaje para el material hemicelulósico disuelto pasa preferentemente a través de una válvula de reducción y a un depósito,  
 comprendiendo además preferentemente una fuente (53, 32) de al menos un ácido suave, gas de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), oxígeno, aire comprimido, amoníaco, vapor, agua u otro agente catalizador, y  
 30 en el cual la fuente (53, 32) está preferentemente acoplada a una entrada de al menos uno del primer reactor presurizado (12) o el segundo conjunto reactor presurizado,  
 en el cual el dispositivo de cierre (18) es preferentemente un distribuidor de tornillo presurizado,  
 que comprende además preferentemente un dispositivo de descarga de reactor que recibe la materia prima (14) del segundo conjunto reactor presurizado y que suministra la materia prima (14) al dispositivo de expansión,  
 35 en el cual el segundo conjunto reactor presurizado incluye un segundo reactor presurizado (16) y un dispositivo de descarga (36) del reactor, acoplado a un orificio presurizado de descarga de la materia prima del segundo reactor a presión.
- 40
3. Sistema para el tratamiento previo de materia prima (14) de biomasa celulósica, que comprende:
- un primer reactor presurizado (12) que recibe la materia prima (14), en el cual la materia prima (14) se hidroliza en el primer reactor presurizado (12) a una presión manométrica en un rango de 1,5 bares a 6 bares, y a una temperatura de al menos 110 grados Celsius;
- 45 un dispositivo de cierre y extracción (18) que tiene un primer acople presurizado al orificio de descarga de la materia prima del primer reactor presurizado (12) y un segundo acople presurizado a un segundo conjunto reactor presurizado;
- una etapa de lavado (15) que introduce un líquido de lavado en la materia prima (14) en al menos uno del primer reactor presurizado (12) y el dispositivo de cierre y extracción (18);
- 50 un drenaje para retirar un líquido que incluye material hemicelulósico disuelto extraído de la materia prima (14) en al menos uno del primer reactor presurizado (12) y el dispositivo de cierre y extracción;  
 recibiendo el segundo conjunto reactor presurizado la materia prima presurizada (14) del dispositivo de cierre y extracción, e infundiendo un vapor o vapor de agua en la materia prima (14), en el segundo conjunto reactor presurizado, aplicando el conjunto reactor una presión manométrica a la materia prima (14)  
 55 en un rango de 8 bares a 25,5 bares, y teniendo el segundo conjunto reactor presurizado una descarga presurizada acoplada a un conducto de descarga, y  
 un dispositivo de expansión aguas abajo del segundo conjunto reactor presurizado, en el cual el dispositivo de expansión libera rápidamente la presión de la materia prima (14) descargada del segundo conjunto reactor presurizado, de manera que la materia prima (14) sufre una reacción de explosión de vapor.
- 60
4. Sistema según la reivindicación 3, caracterizado porque el dispositivo de cierre y extracción (18) es un dispositivo presurizado de cierre y extracción, e incluye un drenaje de líquido para el material hemicelulósico disuelto del dispositivo presurizado de cierre y extracción.

5. Sistema según las reivindicaciones 3 o 4, caracterizado porque el segundo conjunto reactor presurizado incluye un segundo reactor presurizado (16) y un dispositivo de descarga (36) del reactor, acoplado a un orificio presurizado de descarga de la materia prima del segundo reactor a presión.
- 5 6. Sistema según la reivindicación 5, caracterizado porque el dispositivo de descarga del reactor incluye al menos uno de una refinadora de fresa de discos, una refinadora de discos de panel de fibras de densidad media (MDF), un compresor de discos de alta presión o un distribuidor de tapón de descarga.
- 10 7. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 6, caracterizado porque el dispositivo de expansión reduce la presión de la materia prima (14) en al menos diez bares, en el cual el primer reactor presurizado (12) está preferentemente inclinado de modo que un extremo inferior del primer reactor presurizado (12) está opuesto a un extremo del primer reactor presurizado que tiene el orificio de descarga de la materia prima, y un drenaje en el extremo inferior del primer reactor presurizado descarga el material hemicelulósico disuelto del primer reactor presurizado (12),  
 15 comprendiendo además preferentemente una fuente (53, 32) de al menos uno de un ácido suave, gas de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), oxígeno, aire comprimido, amoníaco y un agente catalizador, vapor, agua, y la fuente (53, 32) va acoplada a una entrada de al menos uno del primer reactor presurizado (12) y el segundo conjunto reactor presurizado,  
 20 en el cual el segundo conjunto reactor presurizado incluye preferentemente un segundo reactor presurizado (16), y un dispositivo de descarga (36) del reactor, acoplado a un orificio presurizado de descarga de la materia prima del segundo reactor a presión (16).
8. Procedimiento para el tratamiento previo de materia prima (14) de biomasa celulósica, que comprende:  
 25 tratar previamente la materia prima (14) en un primer reactor presurizado (12), en el cual la materia prima (14) es hidrolizada en el primer reactor presurizado (12);  
 descargar la materia prima (14) del primer reactor presurizado (12) a un dispositivo de cierre presurizado (18) que tiene un primer acople presurizado a un orificio de descarga de la materia prima del primer reactor presurizado (12);  
 30 mantener una fase de vapor en el primer reactor presurizado (12) mediante la inyección de vapor en el primer reactor presurizado (12), en la cual el vapor inyectado proporciona energía térmica a la materia prima en el primer reactor presurizado (12);  
 lavar la materia prima (14) en una zona aguas abajo del primer reactor presurizado (12) o el dispositivo de cierre presurizado (18);  
 35 drenar un líquido, que incluye material hemicelulósico disuelto extraído de la materia prima (14) de al menos uno del primer reactor presurizado (12) y el dispositivo de cierre presurizado (18);  
 descargar la materia prima (14) del dispositivo de cierre presurizado (18) a través de un segundo acople, a un segundo reactor presurizado (16), en el cual la materia prima (14) se mantiene a una presión superior en el segundo reactor presurizado (16) que en el primer reactor presurizado (12);  
 40 en el segundo reactor presurizado (16), infundir a las células de la materia prima (14) con vapor o vapor de agua, inyectando vapor o vapor de agua en el segundo reactor presurizado (16), y liberar rápidamente la presión aplicada a la materia prima (14) infundida con el agua para provocar la expansión del vapor en las células de la materia prima (14), y refinar la materia prima (14).
- 45 9. Procedimiento según la reivindicación 8, que comprende además la introducción de al menos uno de un ácido suave, gas de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), oxígeno, aire comprimido, vapor, agua y agentes catalizadores a la materia prima (14) en al menos uno del primer reactor presurizado (12) y el segundo reactor presurizado (16), en el cual la etapa de tratamiento previo de la materia prima (14) tiene lugar preferentemente en el primer reactor presurizado (12) que tiene una temperatura interna en un rango de 110°C a 160°C, una presión en un  
 50 rango de 150 kPa a 600 kPa, y en el cual la materia prima (14) permanece preferentemente en el primer reactor presurizado (12) durante un periodo de 10 a 60 minutos,  
 en el cual la etapa de tratamiento previo de la materia prima (14) tiene lugar preferentemente en el primer reactor presurizado (12) que tiene una temperatura interna en un rango de 110°C a 175°C, una presión en un rango de 150 kPa a 1000 kPa, y en el cual la materia prima (14) permanece preferentemente en el primer reactor presurizado (12) durante un periodo de 10 a 60 minutos,  
 55 en el cual la materia prima (14) fluye preferentemente como una corriente continua a través del primer reactor presurizado (12), el dispositivo de cierre presurizado (18), el segundo reactor presurizado (16), con la rápida liberación de la presión aguas abajo del segundo reactor presurizado (16),  
 en el cual la rápida liberación de la presión reduce preferentemente la presión de la materia prima (14), en al  
 60 menos 10 bares.
10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 8 y 9, en el cual la etapa de lavado tiene lugar entre la citada etapa de descarga y la citada etapa de drenaje, y lava el material hemicelulósico disuelto en dicha materia prima, entre el primer reactor presurizado (12) y el segundo reactor presurizado (16).
- 65

11. Procedimiento según la reivindicación 10, en el cual la etapa de lavado se realiza a una temperatura por debajo de los 160°C.
- 5 12. Procedimiento según las reivindicaciones 10 a 11, caracterizado porque la etapa de lavado se realiza a una temperatura por debajo de 140°C.
- 10 13. Proceso según las reivindicaciones 8 a 12, en el cual el proceso es un proceso continuo, en el cual la materia prima preferentemente fluye a través del primer y el segundo reactor presurizado (16) como un flujo continuo, en el cual la inyección de vapor o el vapor de agua en el segundo reactor forma preferentemente una fase de vapor en el segundo reactor presurizado (16).

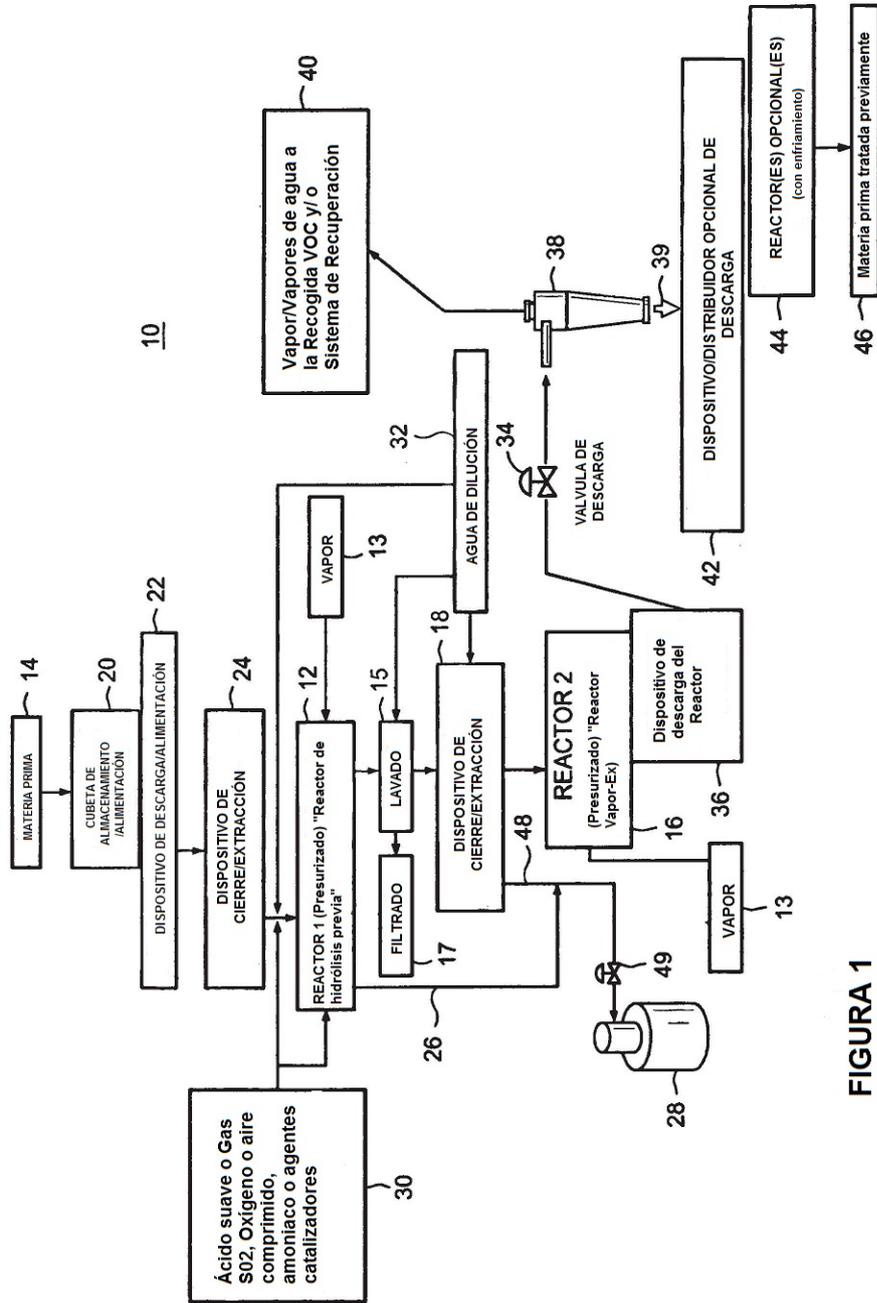


FIGURA 1



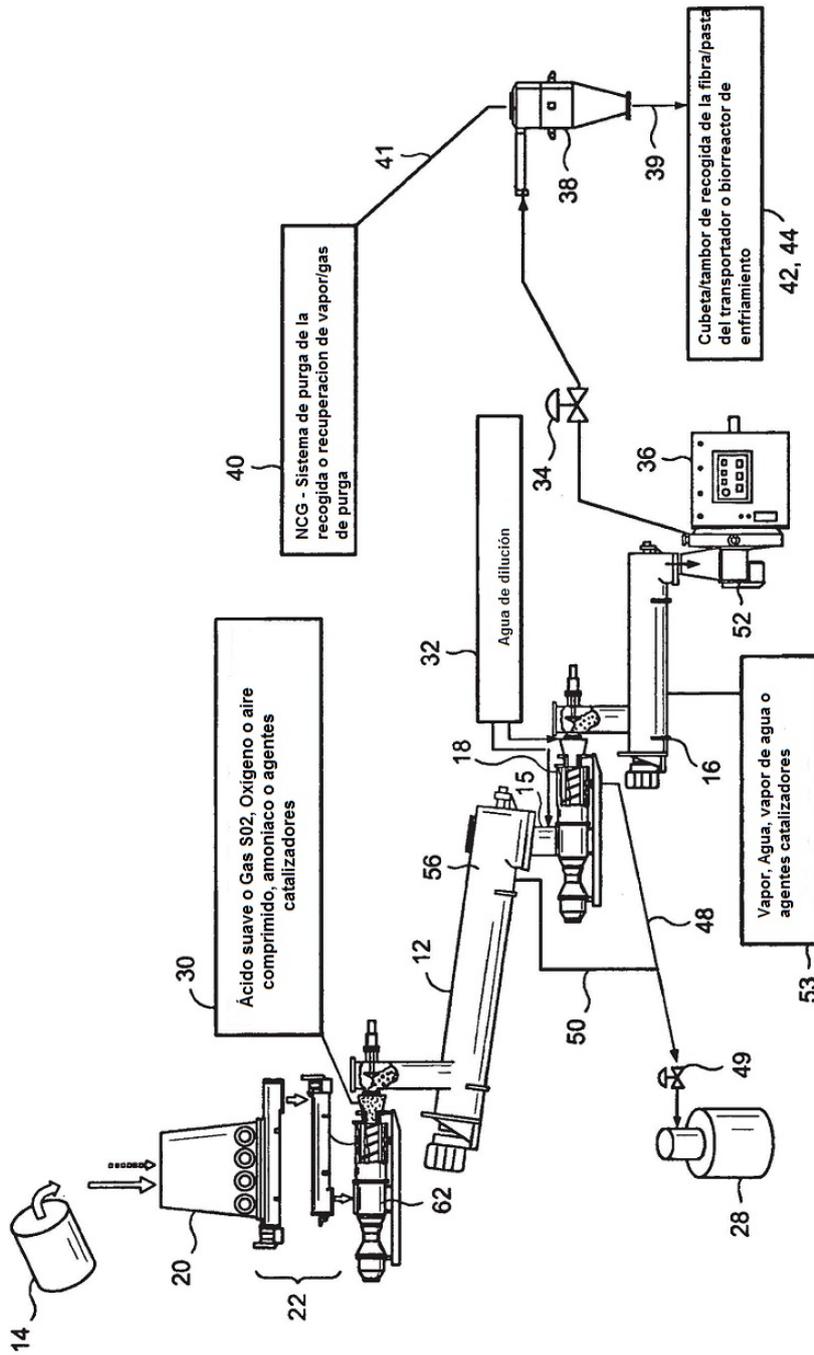


FIGURA 3

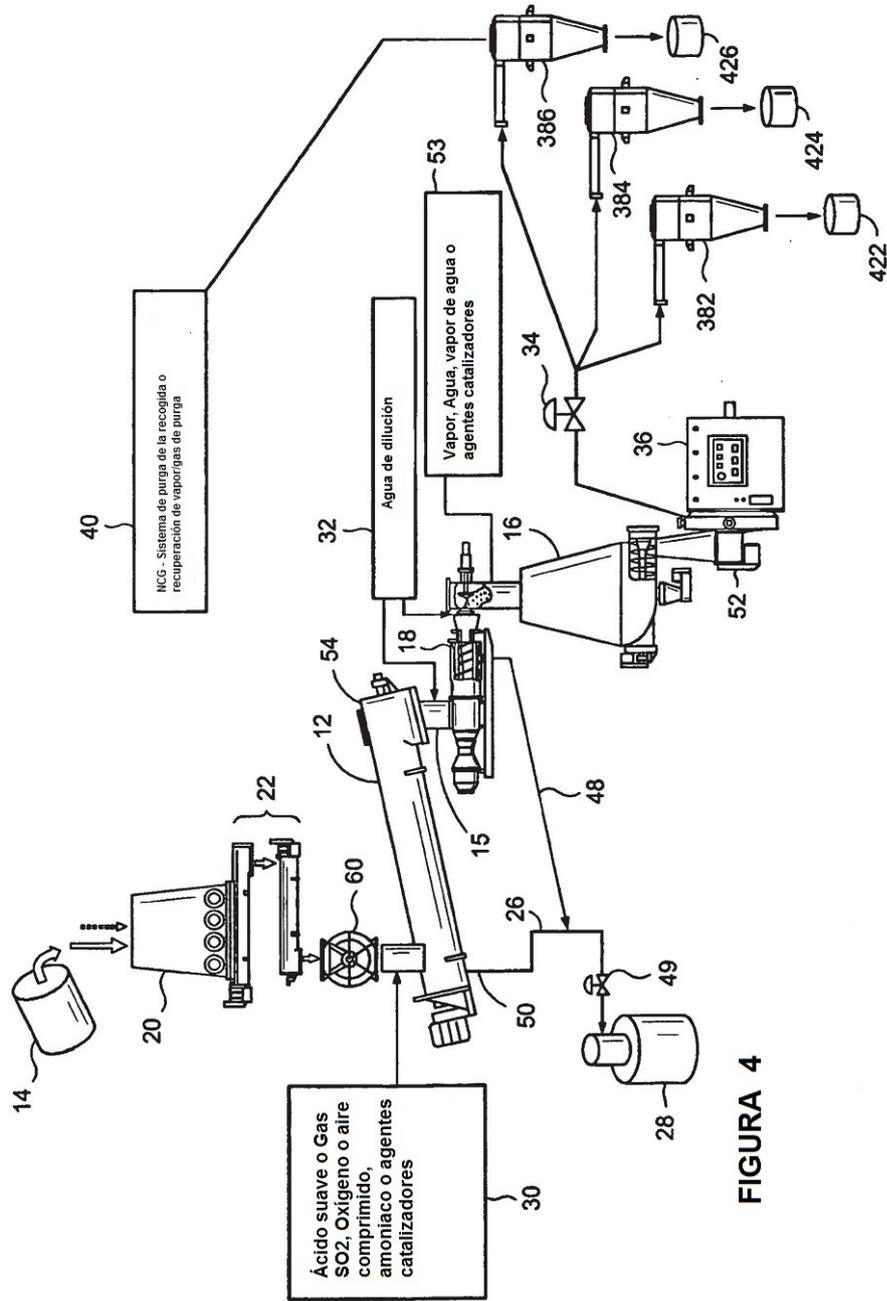


FIGURA 4

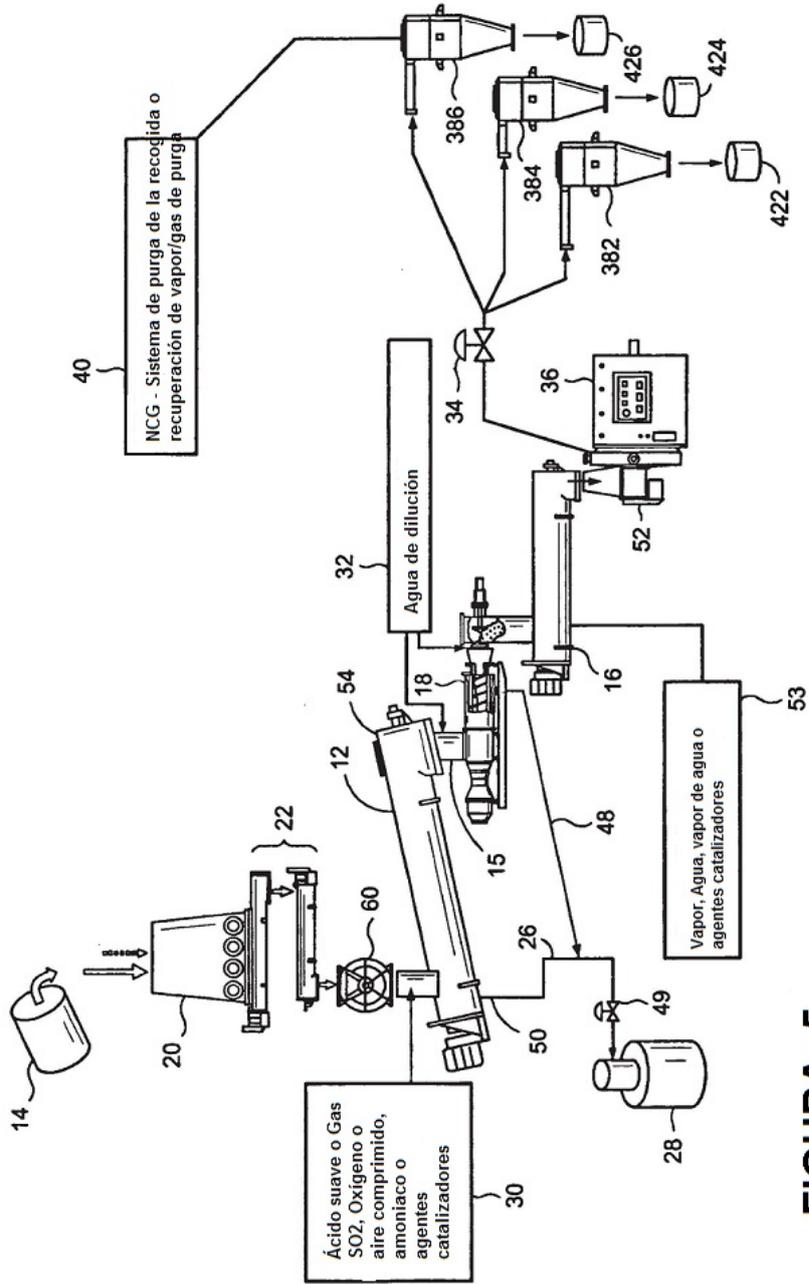


FIGURA 5

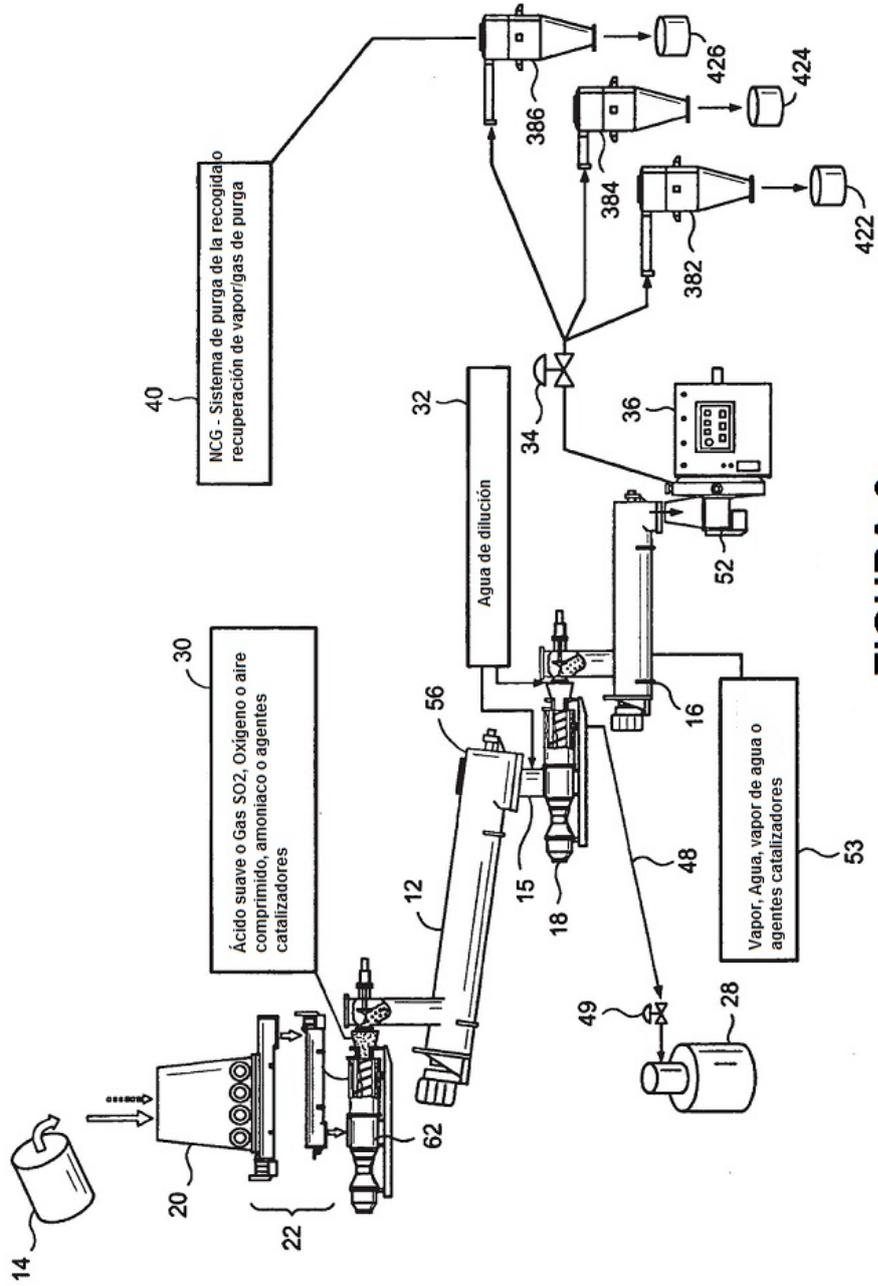


FIGURA 6

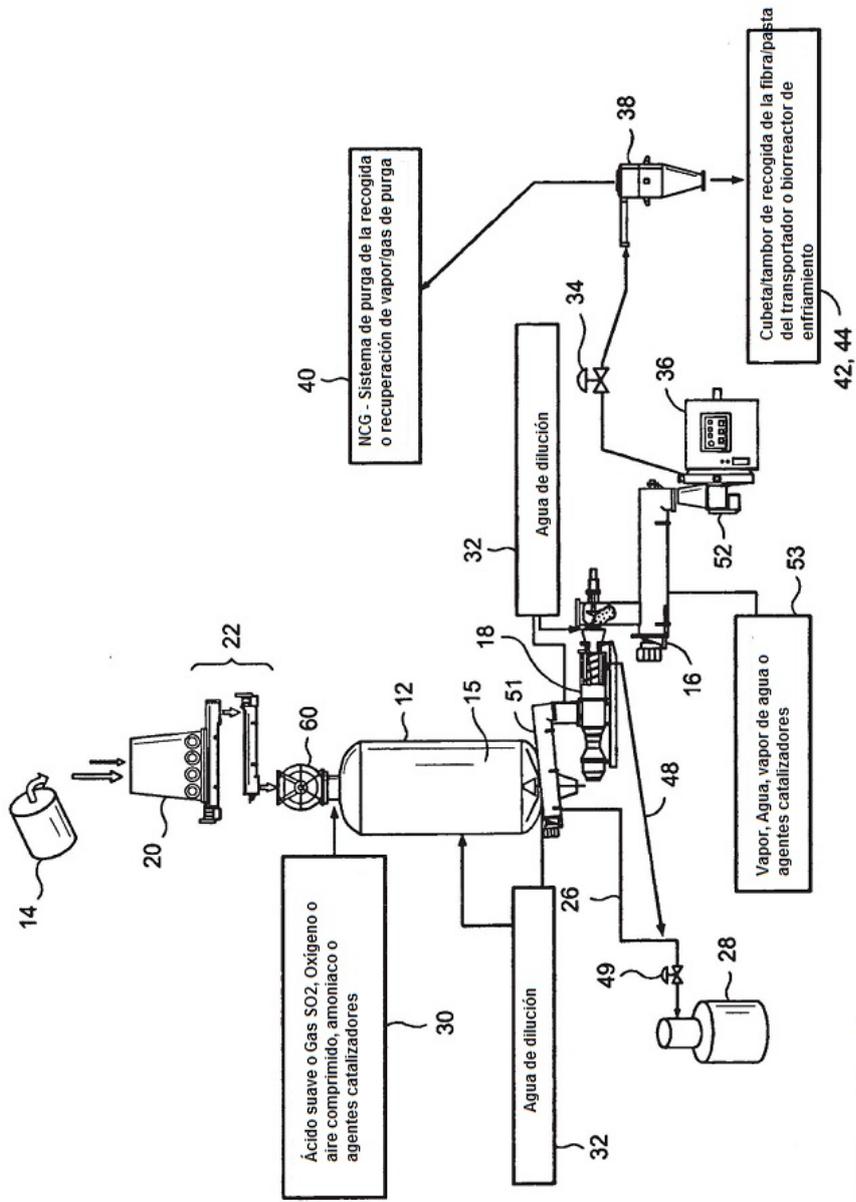


FIGURA 7

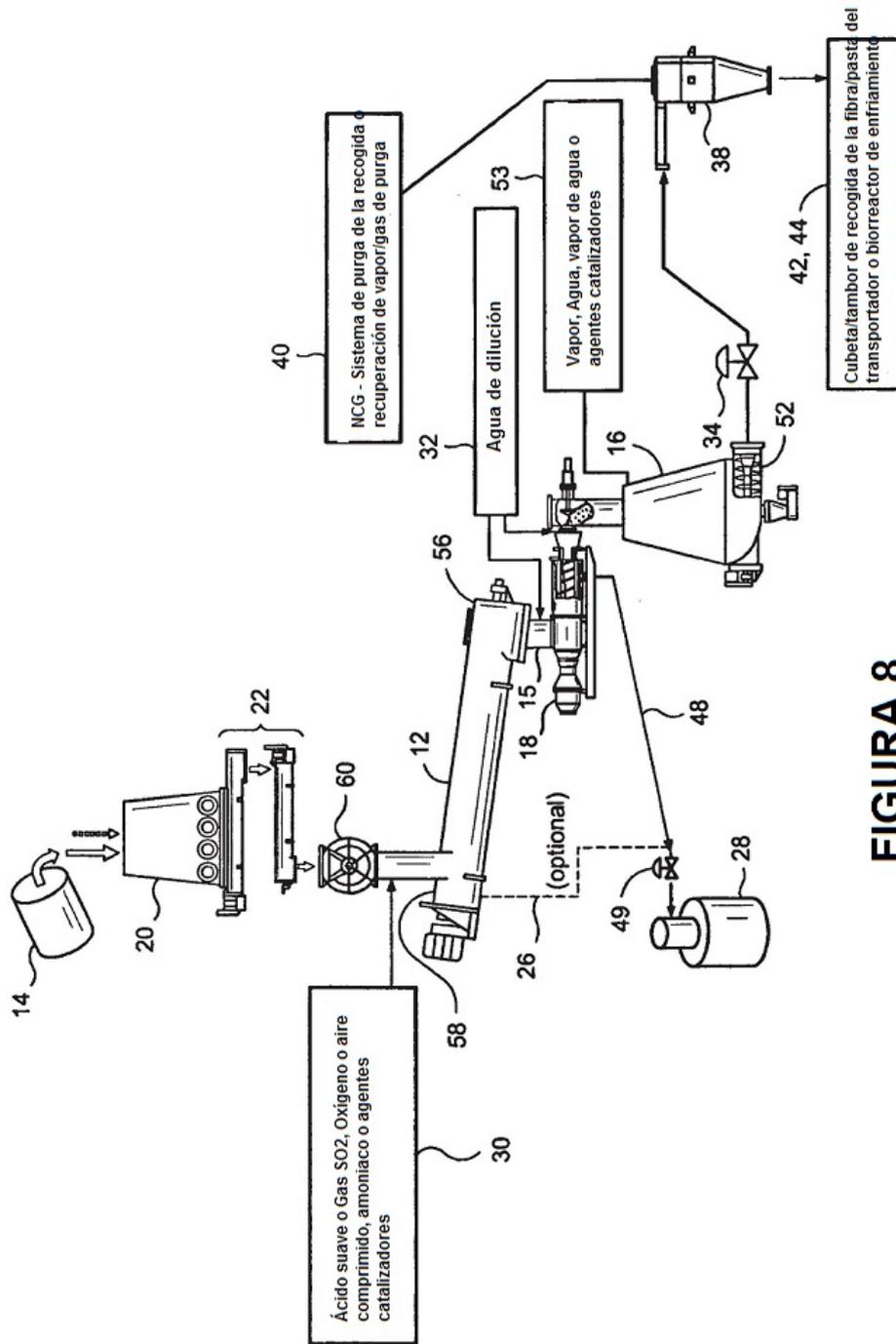


FIGURA 8