

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 743 933**

51 Int. Cl.:

C12P 7/10 (2006.01)

C12P 7/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.02.2014** **PCT/FR2014/050223**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.09.2014** **WO14135755**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.02.2014** **E 14706897 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.06.2019** **EP 2964771**

54 Título: **Procedimiento de producción de alcoholes y/o solventes a partir de biomasa lignocelulósica con lavado del residuo sólido obtenido después de la fermentación**

30 Prioridad:

06.03.2013 FR 1351989

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.02.2020

73 Titular/es:

IFP ENERGIES NOUVELLES (33.3%)
1 & 4 avenue de Bois-Préau
92500 Rueil-Malmaison, FR;
L'INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE
AGRONOMIQUE (33.3%) y
AGRO INDUSTRIE RECHERCHES ET
DÉVELOPPEMENTS (33.3%)

72 Inventor/es:

AYMARD, CAROLINE;
BOUILLON, PIERRE-ANTOINE;
FLEURIER, STÉPHANIE;
LOURET, SYLVAIN;
PEROTTA, LARISSA y
TOTH, ESZTER

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 743 933 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

Procedimiento de producción de alcoholes y/o solventes a partir de biomasa lignocelulósica con lavado del residuo sólido obtenido después de la fermentación

La presente invención forma parte de un procedimiento de producción de alcoholes y/o solventes conocidos como de "segunda generación" a partir de biomasa lignocelulósica. Se refiere más particularmente a un procedimiento de producción de etanol y/o solventes.

La biomasa lignocelulósica representa uno de los recursos renovables más abundantes en la tierra. Los sustratos considerados son muy variados, ya que se refieren tanto a los sustratos leñosos (caducifolios y resinosos), a los subproductos de la agricultura (paja) o a los de las industrias que generan residuos lignocelulósicos (industrias agroalimentarias, papeleras).

La biomasa lignocelulósica comprende tres polímeros principales: la celulosa (del 35 al 50 %), que es un polisacárido que consiste esencialmente en hexosas; la hemicelulosa (del 20 al 30 %), que es esencialmente un polisacárido que consiste en pentosas; y la lignina (del 15 al 25 %), que es un polímero de estructura compleja y de alto peso molecular, compuesto por alcoholes aromáticos unidos por enlaces éter. Estas diferentes moléculas son las responsables de las propiedades intrínsecas de la pared vegetal y se organizan en una compleja interconexión.

El procedimiento de transformación bioquímica de los materiales lignocelulósicos en etanol generalmente comprende una etapa de tratamiento fisicoquímico, seguido de una etapa de hidrólisis enzimática que utiliza un cóctel enzimático, una etapa de fermentación etanólica de los azúcares liberados y una etapa de purificación de los productos de fermentación. En ciertas configuraciones del esquema de procedimiento, las etapas de hidrólisis enzimática y de fermentación pueden tener lugar en el mismo reactor, en una configuración de fermentación denominada SSF (Simultaneous Saccharification and Fermentation). El esquema que presenta estas dos etapas del procedimiento separadas es un esquema del tipo SHF (Separated Hydrolysis and Fermentation). Se dan ejemplos en el documento "Ethanol from lignocellulosics: A review of the economy", M. von Silvers y G. Zacchi, Bioresource Technology 56 (1996) 131 - 140.

Entre los tres polímeros básicos que integran la biomasa lignocelulósica, la celulosa y la hemicelulosa son los que pueden ser valorados más fácilmente como productos de fermentación. La lignina permanece inerte en la mayoría de los procedimientos. Por esta razón, los procedimientos de producción de alcoholes y/o solventes tienen interés en separar la lignina de las mezclas de reacción lo antes posible, para reducir el tamaño de las unidades y los costes de tratamiento e inversión. La lignina se puede separar en diferentes etapas del procedimiento, por ejemplo, en el pretratamiento, entre las etapas de hidrólisis enzimática y fermentación, si el procedimiento está en una configuración del tipo SHF, o en la etapa de purificación de los productos de fermentación.

El documento "Fuel ethanol production: Process design trends and integration opportunities", C.A. Cardona y O. J. Sánchez, Bioresource Technology 98 (2007) 2415-2457, describe un procedimiento donde la lignina se solubiliza en presencia de un solvente, lo que permite separar la lignina de la celulosa y la hemicelulosa, precipitándose seguidamente la lignina durante el pretratamiento de la biomasa. Esta solución evita la presencia de sólidos inertes en el procedimiento desde la etapa de hidrólisis enzimática, pero tiene altos costes operativos. Además, esta configuración de procedimiento no favorece una posible cofermentación de los azúcares celulósicos y hemicelulósicos recuperados en el pretratamiento, dado que se obtienen dos flujos que tienen propiedades y composiciones distintas.

Varios procedimientos describen la separación de la lignina entre las etapas de hidrólisis enzimática y de fermentación. El documento "A techno-economical comparison of three processes for the production of ethanol from pine", M. von Silvers y G. Zacchi, Bioresource Technology 51 (1995) 46-52, describe el impacto del lavado del sólido recuperado en términos de coste de equipo de fermentación, así como una bajada del título etanólico obtenido al final de la fermentación. Una ventaja unida a esta forma de producción es la reducción del tamaño de los reactores gracias a la eliminación de los sólidos inertes y la posibilidad posterior de separación y de reciclado de los microorganismos utilizados en la fermentación hacia los reactores de fermentación.

Sin embargo, la forma de producción SSF se describe a menudo como la más ventajosa en términos de rendimiento global. La etapa de hidrólisis enzimática sola se penaliza a menudo por la alta concentración de azúcares en el medio al final de la reacción, ya que los azúcares tienen un efecto inhibitor sobre la actividad de las enzimas. En una configuración de procedimiento del tipo SSF, los microorganismos de fermentación consumen el azúcar disponible en el medio, mientras que al mismo tiempo el azúcar se produce por solubilización de la celulosa por las enzimas. La concentración de azúcares en el reactor es por lo tanto siempre mínima y el rendimiento de las dos reacciones es máximo.

Unos esquemas de procedimiento basados en la SSF que no han solubilizado la lignina en la etapa de pretratamiento se configuran para separar la lignina antes de la etapa de purificación de los productos de fermentación con el fin de evitar el envío de sólidos en las columnas de destilación corriente abajo del procedimiento

("Ethanol from lignocellulosic biomass: technology, economics, and opportunities", C.E. Wyman, Bioresource Technology 50 (1994) 3 – 16).

Sin embargo, esta separación generalmente se realiza mediante herramientas de separación física, que tienen la desventaja de que la materia sólida recuperada puede contener también productos de fermentación atrapados. En este caso, es posible agregar una etapa de lavado de los sólidos al procedimiento, enviándose el efluente de esta etapa de lavado a la etapa de fermentación con el vino de fermentación clarificado. Esto representa un compromiso entre la recuperación de los productos de fermentación y las limitaciones provistas por la penalización energética ligada a la dilución del vino que será destilado.

La presente invención propone llevar a cabo la separación de la lignina y otros posibles sólidos inertes después de la etapa de fermentación. La materia sólida compuesta mayoritariamente de lignina se somete seguidamente a un lavado para recuperar los productos de fermentación atrapados, especialmente los alcoholes y los solventes. El líquido de lavado se recicla seguidamente en la unidad de hidrólisis enzimática, que puede ser la misma unidad que la unidad de fermentación o que puede ser distinta de la unidad de fermentación para no diluir los flujos existentes.

En general, la invención tiene por objeto un procedimiento de producción de alcohol y/o solvente a partir de una carga de biomasa, en el que se llevan a cabo las siguientes etapas:

- a) se lleva a cabo una etapa de pretratamiento mediante la puesta en contacto y el calentamiento de la carga de biomasa con agua y un compuesto ácido o básico, para obtener un sustrato pretratado,
- b) el sustrato pretratado se pone en contacto con enzimas celulasas y con un flujo líquido enriquecido en productos de fermentación obtenido en la etapa e) para obtener un hidrolizado que comprende un residuo sólido y una fase líquida que contiene azúcares,
- c) se realiza una fermentación alcohólica del hidrolizado por medio de un microorganismo alcoholígeno para producir un vino de fermentación que incluye una materia sólida y una fase líquida que contiene productos de fermentación,
- d) se extrae al menos una parte de la materia sólida contenida en el vino de fermentación para obtener un flujo enriquecido con materia sólida y un vino de fermentación empobrecido con materia sólida,
- e) el flujo enriquecido con materia sólida se lava con un flujo líquido para obtener dicho flujo líquido enriquecido en productos de fermentación, reciclando el flujo líquido enriquecido con productos de fermentación en la etapa b),
- f) se lleva a cabo una etapa de separación del vino de fermentación empobrecido con materia sólida para obtener al menos un flujo purificado que comprende un alcohol o un solvente y al menos un flujo de vinaza.

Según la invención, el flujo líquido de la etapa e) puede estar compuesto de agua fresca. El flujo líquido de la etapa e) puede incluir al menos una parte del flujo de vinaza obtenido en la etapa f).

En la etapa b), el flujo líquido enriquecido con productos de fermentación puede tener un caudal comprendido entre el 50 % y el 1500 % en peso del caudal de sustrato pretratado.

En la etapa e), el flujo enriquecido con materia sólida puede ponerse en contacto con dicho flujo líquido, y luego se puede separar el flujo líquido de la materia sólida.

Se puede realizar la etapa d) de modo que dicho flujo enriquecido con materia sólida comprenda entre un 15 % en peso y un 55 % en peso de materia sólida y de modo que dicho vino de fermentación empobrecido con materia sólida comprenda menos del 15 % en peso de materia sólida. Se puede realizar la etapa b) en un primer reactor y se puede realizar la etapa c) en un segundo reactor distinto del primer reactor. De manera alternativa, se puede realizar simultáneamente la etapa b) y la etapa c) en el mismo reactor.

Las enzimas celulasas pueden ser producidas por un microorganismo seleccionado de entre los hongos pertenecientes a los géneros *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Penicillium* o *Schizophyllum* o las bacterias anaeróbicas pertenecientes al género *Clostridium*.

El microorganismo alcoholígeno se puede seleccionar de entre los microorganismos del género *Saccharomyces*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Schizosaccharomyces pombe*, *Saccharomyces uvarum*, *Saccharomyces diastaticus*, *Kluyveromyces fragilis*, *Candida shehatae*, *Pichia stipitis*, *Pachysolen tannophilis*, *Zymomonas mobilis*, *Clostridium*, *Escherichia coli*.

La carga de biomasa puede comprender al menos uno de los siguientes elementos: madera, plantas cultivadas, residuos lignocelulósicos agrícolas, residuos de la industria de procesamiento de los materiales lignocelulósicos.

En la etapa a), se puede llevar a cabo una explosión de vapor de la biomasa comprimiendo y luego llevando a cabo una relajación de la biomasa mezclada con agua y un compuesto ácido.

En la etapa e) se puede implementar un organismo alcoholígeno que produce al menos etanol.

Otras características y ventajas de la invención se entenderán mejor y resultarán evidentes tras la lectura de la descripción hecha a continuación con referencia a los dibujos entre los que:

- la figura 1 es una representación esquemática de una realización no de acuerdo con la invención,
- la figura 2 es una representación esquemática de una primera realización del procedimiento según la invención,
- la figura 3 es una representación esquemática de una segunda realización del procedimiento según la invención.

En el sentido de la presente invención, el término “materia seca” se refiere a los compuestos sólidos y solubles contenidos en un flujo, el índice de materia seca de un flujo se determina según el método ASTM E1756-01, que consiste en una pérdida de masa a 105 °C. El término “materia sólida” se refiere a los compuestos sólidos presentes en un flujo, donde estos compuestos sólidos son insolubles en la fase líquida. La materia sólida puede comprender lignina, hemicelulosa y/o celulosa. El índice de materia sólida contenida en un flujo se puede determinar a través de lavados sucesivos del flujo con agua y del análisis del contenido de materia seca residual del flujo lavado.

Con referencia a la figura 1, una carga de biomasa C se transporta a la unidad de pretratamiento P a través del conducto 1. La carga de biomasa puede estar compuesta de madera, pajas o restos de maíz, de productos de cultivos forestales dedicados (por ejemplo, resinosos tales como las píceas o los pinos o caducifolios tales como los eucaliptos), plantas de cultivos dedicados como el *miscanthus* o el *switchgrass*, residuos de plantas alcoholígenas, azucareras (por ejemplo, la caña de azúcar o la remolacha) y cereales (por ejemplo, maíz, trigo, etc.), productos y residuos de la industria papelera y productos de procesamiento de materiales lignocelulósicos. La carga puede estar compuesta de aproximadamente 35 a 50 % en peso de celulosa, de 20 a 30 % en peso de hemicelulosa y de 15 a 25 % en peso de lignina.

El compuesto ácido o básico A y el agua W1 requeridos se transportan respectivamente a la unidad de pretratamiento P por medio de los conductos 2 y 3 para realizar una reacción de hidrólisis en medio ácido o básico. En la unidad P, la carga de biomasa C se pone en contacto y se mezcla con agua W1 y el compuesto A en un reactor. La unidad de pretratamiento P puede implementar una acción mecánica, creada, por ejemplo, mediante una extrusora de tipo tornillo doble o una desfibradora.

Entre los compuestos ácidos, el compuesto A se puede seleccionar de entre ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, ácido nítrico, ácido acético o ácido fórmico. Entre los compuestos básicos, el compuesto A se puede seleccionar de entre hidróxido de potasio, hidróxido de sodio, amoníaco.

Durante la etapa de pretratamiento en la unidad P, se lleva a cabo al menos una etapa de calentamiento de la mezcla de biomasa C, agua W1 y del compuesto A en un reactor. El agua W1 se puede introducir en forma de vapor. El papel del pretratamiento es hacer que la celulosa sea accesible a las enzimas mediante la desestructuración de la matriz lignocelulósica. Durante el pretratamiento, se aborda preferentemente la hemicelulosa, que se encuentra disuelta en gran medida en la fase líquida.

De acuerdo con una primera realización, se realiza un pretratamiento alcalino en la unidad P. Por ejemplo, en la unidad P, se puede implementar un pretratamiento con sulfato de sodio, también llamado proceso Kraft, utilizado tradicionalmente en los procesos de producción de productos de papel, llamado Kraft o “pulpeo al sulfato”, al final del cual se obtienen pulpas de papel. El pretratamiento químico alcalino realizado en la unidad P también puede ser un pretratamiento mediante explosión de fibras con amoníaco, también conocido como AFEX (explosión por fibra de amoníaco) o un pretratamiento mediante percolación utilizando amoníaco con reciclado, también llamado pretratamiento de ARP (percolación por reciclado de amoníaco).

El procedimiento con sulfato de sodio o proceso Kraft se basa en el uso de sosa y sulfato de sodio. El tratamiento químico de las astillas de madera se hace a 150 - 175 °C durante un período de 1 a 7 horas, dependiendo del sustrato utilizado. Las pulpas de papel Kraft se producen a partir de las biomásas más diversas, pero más particularmente a partir de especies arborescentes resinosas (madera blanda como las píceas o los pinos) o caducifolias (madera dura como los eucaliptos) o incluso los residuos lignocelulósicos agrícolas (paja de trigo, arroz, etc.). Se delignifican parcialmente mediante cocción a alta temperatura y en presencia de sosa. Esta delignificación se controla a través de los parámetros operativos de los reactores. La cocción se realiza en un reactor vertical, donde bajan las astillas por gravedad y se reúnen con los diversos licores de cocción. El sulfuro de sodio se prepara directamente a partir de sulfato de sodio por combustión. Durante la cocción, el sulfuro de sodio se hidroliza a sosa, a NaHS y a H₂S. Los diversos compuestos de azufre presentes reaccionan con la lignina para dar tioligninas más fácilmente solubles. El licor aplicado a las virutas se llama licor blanco. El licor extraído del reactor o digestor que contiene los compuestos eliminados de la pared se llama licor negro. Como resultado de este pretratamiento alcalino, se logra la producción de un sustrato pretratado, enriquecido con celulosa, ya que contiene entre el 60 y el 90 % de celulosa y entre el 5 y el 20 % de hemicelulosa.

El procedimiento de ARP (percolación por reciclado de amoníaco) es un procedimiento de pretratamiento que utiliza amoníaco con reciclaje. Este tipo de procedimiento es descrito en particular por Kim y col., 2003, Biores. Technol. 90

(2003) págs. 39 - 47. La alta temperatura de percolación conduce a una solubilización parcial simultánea de la lignina y de las hemicelulosas, Esta solución luego se calienta para reciclar el amoníaco y recuperar, por un lado, la lignina extraída, por ejemplo, para una recuperación energética y, por otro lado, los azúcares solubles resultantes de las hemicelulosas.

El procedimiento de AFEX (explosión por fibra de amoníaco) consiste en introducir el sustrato lignocelulósico en un cocedor a alta presión en presencia de amoníaco, en causar luego una relajación explosiva en la salida del reactor y reciclar el amoníaco en forma gaseosa. Este tipo de procedimiento es descrito en particular por Teymouri y col., 2005, Biores. Technol. 96 (2005) págs. 2014 - 2018. Este procedimiento conduce principalmente a una desestructuración de la matriz de la biomasa, pero no hay separación física de los compuestos de lignina, hemicelulosa y celulosa al final del tratamiento.

De acuerdo con una segunda realización, se realiza un pretratamiento ácido en la unidad P. Por ejemplo, en la unidad P, se puede implementar un pretratamiento del tipo de cocción con ácido diluido. En esta realización, la biomasa se pone en contacto con un ácido fuerte diluido en agua, por ejemplo, ácido sulfúrico, sometiendo la biomasa a bajos contenidos de materias secas, generalmente comprendido entre el 5 y el 20 % de materia seca. La biomasa, el ácido y el agua se ponen en contacto en un reactor y se les sube la temperatura, generalmente entre 120 °C y 200 °C. Durante este procedimiento, los compuestos hemicelulósicos se hidrolizan principalmente a azúcares, lo que permite la desestructuración de la matriz lignocelulósica. Al final de este pretratamiento ácido, se logra la producción de un sustrato pretratado sólido, enriquecido con celulosa y con lignina, así como una fracción líquida enriquecida con azúcares.

De acuerdo con una tercera realización, también se puede implementar el procedimiento conocido como "explosión de vapor" o "SteamEx" o "Steam Explosion" de acuerdo con la terminología anglosajona, en la unidad P. Se trata de un procedimiento en donde la biomasa lignocelulósica se pone en contacto con agua en un reactor de tiempo de estancia bajo, generalmente comprendido entre 2 y 15 minutos y a temperaturas moderadas, generalmente entre 120 °C y 250 °C y a una presión comprendida entre 5 y 50 bares. El agua se puede complementar con un compuesto ácido, por ejemplo, ácido sulfúrico o un compuesto básico. En la salida del reactor, la biomasa se relaja, por ejemplo, a presión atmosférica, en un recipiente separador de gas / sólido para producir una biomasa pretratada con alto contenido de materia seca, generalmente comprendido entre el 20 y el 70 % de materia seca.

La unidad P puede comprender etapas adicionales, por ejemplo, de ajuste de pH, que están destinadas a facilitar la implementación y la eficacia de las etapas de hidrólisis enzimática y de fermentación.

Se evacúa de la unidad P un sustrato pretratado por el conducto 4. El sustrato pretratado está compuesto por azúcares disueltos en fase líquida y materia sólida compuesta por lignina, celulosa y hemicelulosa que no ha sido licuada en el pretratamiento P. El flujo de sustrato pretratado que fluye en el conducto 4 contiene preferentemente entre el 10 % en peso y el 60 % en peso de materia seca e incluso más preferentemente entre el 20 % en peso y el 55 % en peso de materia seca. Se evacúa de la unidad P un sustrato pretratado por el conducto 4 en la unidad H1.

El sustrato pretratado se introduce en un reactor de la unidad H1 para pasar por una primera etapa de hidrólisis enzimática llamada de "licuefacción". El agua W2 y las enzimas E se agregan respectivamente en la unidad H a través de los conductos 5 y 6a para realizar una reacción de hidrólisis enzimática del sustrato pretratado. Las cantidades de sustrato pretratado con agua y enzima se ajustan en la etapa en la unidad H1 para que el medio de reacción comprenda un contenido de materia sólida generalmente comprendido entre el 5 % y el 40 % en peso, preferentemente entre el 10 % y el 25 % en peso. La licuefacción se realiza preferentemente a un pH comprendido entre 4 y 5,5 y a una temperatura comprendida entre 40 °C y 60 °C. Las enzimas E pueden ser producidas por un microorganismo, por ejemplo, hongos pertenecientes a los géneros *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Penicillium* o *Schizophyllum* o las bacterias anaeróbicas pertenecientes, por ejemplo, al género *Clostridium*. Las enzimas producidas por estos microorganismos contienen en particular las celulasas y opcionalmente hemicelulasas, adaptadas para hidrólisis completa de la celulosa y opcionalmente de las hemicelulosas. En la unidad H1, las condiciones de la hidrólisis enzimática, principalmente el índice de materia seca de la mezcla a hidrolizar y la cantidad de enzimas utilizadas, se seleccionan de tal manera que se obtiene una solubilización de la celulosa comprendida entre el 10 % y el 40 % en peso, preferentemente entre el 20 % y el 40 % en peso con respecto al peso total de celulosa contenida en el sustrato pretratado. Se evacúa de la unidad H1 un sustrato licuado por el conducto 7 para introducirlo en la unidad HF. De este modo, el flujo de sustrato licuado proveniente de H1 comprende azúcares disueltos en fase acuosa y materia sólida compuesta principalmente de lignina y rica en celulosa.

Dicho sustrato licuado se somete simultáneamente, en el reactor de la unidad HF, a una hidrólisis y una fermentación. Una hidrólisis completa con el fin de solubilizar todos los azúcares presentes en la fase sólida. En el reactor de la unidad HF, se pueden añadir enzimas por el conducto 6b. Además, en la unidad HF, el sustrato hidrolizado se pone en contacto con uno o varios microorganismos de fermentación LEV introducidos por el conducto 9. Los microorganismos LEV pueden elegirse por ejemplo de entre los elementos siguientes: las levaduras del género *Saccharomyces*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Schizosaccharomyces pombe*, *Saccharomyces uvarum*, *Saccharomyces diastaticus*, *Kluyveromyces fragilis*, *Candida shehatae*, *Pichi stipitis*, *Pachysolen tannophilis* o las

bacterias del género *Zymomonas mobilis*, *Clostridium*, *Escherichia coli*. De manera muy preferente, se utiliza una levadura del tipo *Saccharomyces*, e incluso más preferentemente *Saccharomyces cerevisiae*. Preferentemente, se utiliza una levadura adaptada para producir etanol, por ejemplo, las levaduras... Los azúcares fermentables se transforman por tanto en alcoholes y/o solventes por los microorganismos. La etapa de hidrólisis y de fermentación en la unidad HF puede realizarse a una temperatura comprendida entre 30 °C y 35 °C. en esta unidad HF, la reacción de fermentación produce un vino de fermentación enriquecido en productos de la reacción de fermentación, evacuado por el conducto 10, por ejemplo, alcoholes o solventes orgánicos. El vino de fermentación contiene igualmente materia sólida compuesta principalmente de lignina.

Dicho vino de fermentación se introduce, en la unidad Ex1 para someterse a una etapa de separación entre líquido y sólido, con el fin de extraer su materia sólida, especialmente la lignina que no ha sido hidrolizada ni fermentada en las unidades H1 y HF. La extracción de la materia sólida tiene lugar en la unidad Ex1, que puede implementar una de las siguientes técnicas: centrifugado, escurrido o prensado, filtración, decantación. La unidad Ex1 produce un flujo empobrecido con materia sólida evacuado por el conducto 12 y un flujo enriquecido con materia sólida, especialmente con lignina, evacuado por el conducto 11.

El flujo empobrecido con materia sólida se introduce a continuación a través del conducto 12 en la unidad de separación S para extraer del mismo los compuestos de interés evacuados por el conducto 13, por ejemplo, alcoholes o solventes orgánicos. Los residuos de la separación, comúnmente llamados vinazas, son evacuados de la unidad de separación S a través del conducto 14. Las vinazas comprenden generalmente agua y cualquier producto líquido o sólido no convertido o no extraído en las etapas anteriores en las unidades H1, HF y Ex1. La unidad de separación S puede implementar una o varias destilaciones, y opcionalmente una separación de las materias en suspensión, por ejemplo, por centrifugado, decantación, filtración.

El procedimiento no de acuerdo con la invención mostrado esquemáticamente en la figura 1 tiene la desventaja de evacuar una parte de los compuestos valorados, es decir, alcoholes o solventes, que permanecen contenidos en la materia sólida, es decir, esencialmente la lignina evacuada por el conducto 11 durante la operación de extracción de la materia sólida en la unidad Ex1. En efecto, estos alcoholes o solventes presentes en forma líquida en el vino de fermentación que fluye en el conducto 10 corren el riesgo de separarse de manera imperfecta en la etapa Ex1 con las herramientas conocidas por el experto en la técnica, por ejemplo, herramientas de centrifugado, extracción, decantación o prensado. Al menos una fracción de los alcoholes o solventes se evacúa a través del conducto 11 causando una pérdida de eficacia del procedimiento.

El procedimiento de acuerdo con la invención propone remediar este problema de pérdida de productos de fermentación en la materia sólida implementando una operación de lavado del flujo enriquecido con materia sólida en el conducto 11, permitiendo el reciclaje de los productos de fermentación en el procedimiento sin añadir una dilución adicional en el mismo. La invención se entenderá mejor tras la lectura de la descripción de las figuras 2 y 3, que muestran esquemáticamente dos implementaciones del procedimiento de acuerdo con la invención. Las referencias de la figura 2 idénticas a las de la figura 1, designan los mismos elementos.

De acuerdo con la invención, se puede llevar a cabo la etapa de separación de la materia sólida del líquido en la unidad Ex1 de modo que el flujo empobrecido con sólido 8 contenga menos del 15 % en peso, y preferentemente menos del 10 % en peso, y más preferentemente, menos del 5 % en peso de materia sólida. El resto del flujo 8 puede comprender azúcar disuelto en fase acuosa. Además, se puede llevar a cabo la etapa de separación de la materia sólida del líquido en la unidad Ex1 de tal manera que el flujo enriquecido con sólidos 9 contenga entre el 15 % y el 55 % en peso, y preferentemente entre el 20 % y el 45 % en peso, y más preferentemente entre el 25 % y el 35 % en peso de materia sólida. Debido a las limitaciones de los equipos de separación entre sólidos y líquidos de la unidad Ex1, el flujo enriquecido con sólidos 9 contiene al menos un 45 % de líquido, que puede estar compuesto en particular de azúcar disuelto en fase acuosa.

Con referencia a la figura 2, se lleva a cabo, en la unidad L, una etapa de lavado de la materia sólida contenida en el flujo que llega a través del conducto 11. En la unidad L, se transporta un flujo líquido a través del conducto 15 para realizar un lavado de la materia sólida contenida en el flujo que llega a través del conducto 9. El flujo líquido se pone en contacto con la materia sólida, y luego el líquido se separa de la materia sólida. La etapa de lavado en la unidad L puede ser realizada por percolación, mediante operaciones de mezcla y separación de líquido / sólido sucesivas o mediante cualquier otra técnica conocida por el experto en la técnica. El lavado permite extraer a través del conducto 16 un flujo líquido enriquecido con compuestos de interés, es decir, alcoholes o solventes, así como un flujo empobrecido con compuestos de interés a través del conducto 17. El flujo 16 se recicla seguidamente en la unidad H1, para aumentar la recuperación de los productos de fermentación e incrementar el rendimiento global del procedimiento.

Con referencia a la figura 2, el flujo líquido transportado por el conducto 15 puede ser un flujo de agua dulce W3 o una porción de las vinazas provenientes de la unidad S transportada por los conductos 14 y luego 14a en la unidad L. De acuerdo con la invención, el hecho de reciclar el flujo enriquecido con compuestos de interés a través del conducto 16 en la unidad H1 permite limitar o incluso eliminar, el suministro de agua dulce W2 directamente en la unidad H1. Por ejemplo, el flujo 16 representa entre el 50 % en peso y el 1500 % en peso, preferentemente entre el

100 % en peso y el 600 % en peso, del caudal de sustrato pretratado introducido a través del conducto 4 en la unidad H1. Por lo tanto, la presente invención permite limitar o incluso evitar cualquier dilución adicional de los flujos en el procedimiento relacionada con el uso del agua para el lavado del flujo 11.

En el procedimiento esquematizado por la figura 3, el sustrato pretratado procedente de la unidad P se introduce directamente por el conducto 4 y luego 7 en el reactor de la unidad HF de hidrólisis y de fermentación simultánea. El agua W2, las enzimas E y las levaduras LEV se introducen en el reactor de la unidad HF respectivamente por los conductos 5, 6b y 9. En este caso, el flujo 16 enriquecido con compuesto de interés se introduce en el reactor de la unidad HF.

Ejemplos

Los siguientes ejemplos ilustran la invención, sin limitar su alcance.

Ejemplo 1 según el procedimiento de la figura 1 (no de acuerdo con la invención)

En este ejemplo, se presenta un procedimiento de producción de etanol a partir de paja con las características siguientes:

Carga: paja de trigo, caudal 89,60 toneladas / hora, composición media:

	% (base seca)
Celulosa	39,1 %
Hemicelulosa	26,9 %
Lignina	17,9 %
Otros (cenizas, extraíbles, etc.)	16,1 %

Preparación de carga y pretratamiento en la unidad P:

La paja se muele en una rejilla de 50 mm y luego se impregna con ácido H_2SO_4 diluido a 0,7 g / litro. La impregnación está acompañada de una separación sólido / líquido y el licor de impregnación se recicla, la materia seca (MS) del sólido al comienzo del pretratamiento es del 45 % en peso. El pretratamiento por explosión de vapor se realiza a 200 °C en una configuración continua empleando un corto tiempo de estancia. El medio se relaja repentinamente a una presión de 1,3 atm. El sustrato pretratado se envía al reactor de hidrólisis enzimática H1.

Hidrólisis enzimática y conversión en etanol:

La concentración de sólidos en la entrada del reactor de hidrólisis enzimática en la unidad H1 es del 14 % en peso. Para alcanzar este nivel de dilución, se mezclan 114,3 toneladas / hora de agua W2 de proceso con el sustrato pretratado. Después de 10 horas de funcionamiento, la mezcla licuada se envía a la unidad HF, que funciona en modo SSF. En esta etapa, las enzimas siguen actuando sobre la celulosa, al mismo tiempo que el microorganismo de fermentación (*Saccharomyces cerevisiae*) actúa sobre los azúcares liberados. El rendimiento global de la conversión de la celulosa en etanol es de 0,40 g de etanol por g de celulosa introducida. Las pentosas presentes no son convertidas por el microorganismo de fermentación seleccionado. El título etanólico del flujo enviado a la destilación es de 39,4 g de etanol / kg de vino.

Separación:

El vino procedente de las unidades HF se envía a una decantadora en la unidad Ex1, donde la materia sólida, en particular, la lignina, se separa del vino antes de la etapa de recuperación del etanol en la unidad de separación S. En esta etapa de separación, se produce un flujo que contiene el 31,3 % de materia sólida. Dada la naturaleza de la separación, este flujo contiene todavía una cantidad importante de productos de fermentación, en particular, etanol, atrapados. La pérdida de etanol en esta etapa se estima en 20,7 %.

Recuperación del etanol:

La separación en la unidad S se hace por destilación. El rendimiento de extracción es del 99,6 %. Por lo tanto, el procedimiento permite producir 74.890 toneladas de etanol al año y tiene un consumo específico de agua de proceso de 12,2 toneladas de agua / tonelada de etanol producido.

Ejemplo 2 según el procedimiento de la figura 1 (no de acuerdo con la invención)

En este ejemplo, se presenta un procedimiento de producción de etanol a partir de paja con las características siguientes:

Carga: paja de trigo, caudal 89,60 toneladas / hora, composición media:

	% (base MS)
Celulosa	39,1 %
Hemicelulosa	26,9 %
Lignina	17,9 %
Otros (cenizas, extraíbles, etc.)	16,1 %

Preparación de carga y pretratamiento en la unidad P:

5 La paja se muele en una rejilla de 50 mm y luego se impregna con ácido H₂SO₄ diluido a 0,7 g / litro. La impregnación está acompañada de una separación sólido / líquido y el licor de impregnación se recicla, la materia seca (MS) del sólido al comienzo del pretratamiento es del 45 % en peso. El pretratamiento por explosión de vapor se realiza a 200 °C en una configuración continua empleando un corto tiempo de estancia. El medio se relaja repentinamente a una presión de 1,3 atm. El sustrato pretratado se envía al reactor de hidrólisis enzimática H1.

10 Hidrólisis enzimática y conversión en etanol:

15 La concentración de sólidos en la entrada del reactor de licuefacción en la unidad H1 es del 14 %. Para alcanzar este nivel de dilución, se mezclan 114,3 toneladas / hora de agua W2 de proceso con el sustrato pretratado. En esta etapa, las enzimas siguen actuando sobre la celulosa, al mismo tiempo que el microorganismo de fermentación (*Saccharomyces cerevisiae*) actúa sobre los azúcares liberados. El rendimiento global de la conversión de la celulosa en etanol es de 0,40 g de etanol por g de celulosa introducida. Las pentosas presentes no son convertidas por el microorganismo de fermentación seleccionado. El título etanólico del flujo enviado a la separación es de 39,4 g de etanol / kg de vino.

20 Separación:

25 El vino procedente de la unidad HF se envía a una decantadora en la unidad Ex1, donde la materia sólida, en particular, la lignina, se separa del vino antes de la etapa de recuperación del etanol en la unidad de separación S. En esta etapa de separación, se produce un flujo que contiene el 30,8 % de materia sólida.

Lavado del flujo de materia sólida:

30 Dada la naturaleza de la separación, aproximadamente el 20 % del etanol permanece atrapado en la materia sólida. Luego se realiza un lavado a contracorriente de la materia sólida para reducir las pérdidas. En esta operación, se utilizan 115 toneladas / hora de agua de proceso. Las pérdidas de etanol bajan a un **1,4 %**. El vino diluido recuperado contiene 20,1 g de etanol / kg de vino y se mezcla con el líquido clarificado obtenido antes de ser enviado a la unidad de separación S.

Recuperación del etanol:

35 El vino clarificado mezclado con el vino diluido procedente del lavado se envía a las columnas de destilación de la unidad S. Debido a la baja concentración de etanol del vino diluido procedente del lavado, el vino total contiene solo 35,2 g de etanol por kg de vino al comienzo de la etapa de destilación, un valor 10,7 % menor que el obtenido al final de la fermentación SSF.

40 La separación en la unidad S se hace por destilación. El rendimiento de extracción es del 99,6 %. Por lo tanto, el procedimiento permite producir 93.087 toneladas de etanol al año y tiene un consumo específico de agua de proceso de 19,6 toneladas de agua / tonelada de etanol producido.

Ejemplo 3 según el procedimiento de la figura 2 (de acuerdo con la invención)

45 En este ejemplo, se presenta un procedimiento de producción de etanol a partir de paja con las características siguientes:

Carga: paja de trigo, caudal 89,60 toneladas / hora, composición media:

	% (base MS)
Celulosa	39,1 %
Hemicelulosa	26,9 %
Lignina	17,9 %
Otros (cenizas, extraíbles, etc.)	16,1 %

Preparación de carga y pretratamiento en la unidad P:

55 La paja se muele en una rejilla de 50 mm y luego se impregna con ácido H₂SO₄ diluido a 0,7 g / litro. La impregnación está acompañada de una separación sólido / líquido y el licor de impregnación se recicla, la materia seca (MS) del sólido al comienzo de la explosión es del 45 % en peso. El pretratamiento por explosión de vapor se

realiza a 200 °C en una configuración continua empleando un corto tiempo de estancia. El medio se relaja repentinamente a una presión de 1,3 atm. El sustrato pretratado se envía al reactor de hidrólisis enzimática H1.

Hidrólisis enzimática y conversión en etanol:

La concentración de sólidos en la entrada del reactor de hidrólisis enzimática en la unidad H1 es del 14 % en peso. Para alcanzar este nivel de dilución, se mezclan 114,3 toneladas / hora de agua de dilución que llega a través del conducto 16 con el sustrato pretratado. Esta agua de dilución contiene 25,0 g de etanol / kg de solución procedentes del reciclaje del agua utilizada para el lavado del flujo de sólidos obtenido a partir de la operación de separación líquido / sólido Ex1 a la salida de la unidad HF.

Después de 10 horas de funcionamiento, la mezcla licuada se envía a la unidad HF, que funciona en modo SSF. En esta etapa, las enzimas siguen actuando sobre la celulosa, al mismo tiempo que el microorganismo de fermentación (*Saccharomyces cerevisiae*) actúa sobre los azúcares liberados. El rendimiento global de la conversión de la celulosa en etanol es de 0,40 g de etanol por g de celulosa introducida. Las pentosas presentes no son convertidas por el microorganismo de fermentación seleccionado. El título etanólico del flujo enviado a la separación es de 48,9 g de etanol / kg de vino.

Separación:

El vino procedente de la unidad HF se envía a una decantadora en la unidad Ex1, donde la materia sólida, en particular, la lignina, se separa del vino antes de la etapa de recuperación del etanol en la unidad de separación S. En esta etapa de separación, se produce un flujo que contiene el 30,7 % en peso de materia sólida.

Lavado del flujo de materia sólida:

Para recuperar el etanol atrapado en la materia sólida, se implementa una etapa de lavado de la materia sólida. En este ejemplo, la totalidad del agua enviada como agua de dilución a la etapa de hidrólisis enzimática se utiliza primero para lavar la materia sólida en la unidad de lavado L a contracorriente L en tres etapas de contacto. Luego, el agua de lavado se introduce en la unidad H1. De este modo, las pérdidas de azúcares se reducen en un 93,2 % en comparación con los resultados del ejemplo 1, es decir, el 1,4 % de la pérdida total.

Recuperación del etanol:

La separación en la unidad S se hace por destilación. El rendimiento de extracción es del 99,6 %. Por lo tanto, el procedimiento permite producir 92.607 toneladas de etanol al año y tiene un consumo específico de agua de proceso de 9,9 toneladas de agua / tonelada de etanol producido, es decir el 18,8 % y el 49,5 % de reducción en comparación con los consumos de agua en los ejemplos 1 y 2, respectivamente.

Ejemplo 4 según el procedimiento de la figura 3 (de acuerdo con la invención)

En este ejemplo, se presenta un procedimiento de producción de etanol a partir de paja con las características siguientes:

Carga: paja de trigo, caudal 89,60 toneladas / hora, composición media:

	% (base MS)
Celulosa	39,1 %
Hemicelulosa	26,9 %
Lignina	17,9 %
Otros (cenizas, extraíbles, etc.)	16,1 %

Preparación de carga y pretratamiento en la unidad P:

La paja se muele en una rejilla de 50 mm y luego se impregna con ácido H₂SO₄ diluido a 0,7 g / litro. La impregnación está acompañada de una separación sólido / líquido y el licor de impregnación se recicla, la materia sólida (MS) del sólido al comienzo del pretratamiento es del 45 % en peso. El pretratamiento por explosión de vapor se realiza a 200 °C en una configuración continua empleando un corto tiempo de estancia. El medio se relaja repentinamente a una presión de 1,3 atm. El sustrato pretratado se envía al reactor de hidrólisis enzimática H1.

Hidrólisis enzimática y conversión en etanol:

La concentración de sólidos en la entrada del reactor de licuefacción en la unidad H1 es del 14 % en peso. Para alcanzar este nivel de dilución, se mezclan 114,3 toneladas / hora de agua W2 de proceso con el sustrato pretratado. Después de 10 horas de funcionamiento, la mezcla licuada se envía a la unidad HF, que funciona en modo SSF. En esta etapa, las enzimas siguen actuando sobre la celulosa, al mismo tiempo que el microorganismo

de fermentación (*Saccharomyces cerevisiae* procedente de una cepa modificada capaz de realizar la cofermentación de las hexosas y de las pentosas) actúa sobre las pentosas presentes y las hexosas liberadas. El rendimiento global de la conversión de la celulosa en etanol es de 0,39 g de etanol por g de celulosa introducida. La conversión de las pentosas en etanol se eleva a 0,11 g de etanol por g de pentosa introducida. El título etanólico del flujo enviado a la separación es de 47,5 g de etanol / kg de vino.

Separación:

El vino procedente de la unidad HF se envía a una decantadora en la unidad Ex1, donde la materia sólida, en particular, la lignina, se separa del vino antes de la etapa de recuperación del etanol en la unidad de separación S. En esta etapa de separación, se produce un flujo que contiene el 31,5 % en peso de materia sólida. Dada la naturaleza de la separación, este flujo contiene todavía una cantidad importante de productos de fermentación, en particular, etanol, atrapados. La pérdida de etanol en esta etapa se estima en 20,7 %.

Recuperación del etanol:

La separación se hace por destilación en la unidad S. El rendimiento de extracción es del 99,6 %. Por lo tanto, el procedimiento permite producir 89.707 toneladas de etanol al año y tiene un consumo específico de agua de proceso de 10,2 toneladas de agua / tonelada de etanol.

Ejemplo 5 según el procedimiento de la figura 2 (de acuerdo con la invención)

En este ejemplo, se presenta un procedimiento de producción de etanol a partir de paja con las características siguientes:

Carga: paja de trigo, caudal 89,60 toneladas / hora, composición media:

	% (base MS)
Celulosa	39,1 %
Hemicelulosa	26,9 %
Lignina	17,9 %
Otros (cenizas, extraíbles, etc.)	16,1 %

Preparación de carga y pretratamiento en la unidad P:

La paja se muele en una rejilla de 50 mm y luego se impregna con ácido H_2SO_4 diluido a 0,7 g / litro. La impregnación está acompañada de una separación sólido / líquido y el licor de impregnación se recicla, la materia sólida (MS) del sólido al comienzo del pretratamiento es del 45 % en peso. El pretratamiento por explosión de vapor se realiza a 200 °C en una configuración continua empleando un corto tiempo de estancia. El medio se relaja repentinamente a una presión de 1,3 atm. El sustrato pretratado se envía al reactor de hidrólisis enzimática H1.

Hidrólisis enzimática y conversión en etanol:

La concentración de sólidos en la entrada del reactor de licuefacción en la unidad H1 es del 14 % en peso. Para alcanzar este nivel de dilución, se mezclan 114,3 toneladas / hora de agua de dilución con el sustrato pretratado. Esta agua de dilución contiene 31,1 g de etanol / kg de solución y 101,7 g de pentosas / kg de solución procedentes del reciclaje de las vinazas producidas en destilación y utilizada para el lavado del flujo de materia sólida obtenido al final de la operación de separación líquido/sólido Ex1 a la salida del reactor HF.

Después de 10 horas de funcionamiento, la mezcla licuada se envía a la unidad HF, que funciona en modo SSF. En esta etapa, las enzimas siguen actuando sobre la celulosa, al mismo tiempo que el microorganismo de fermentación (*Saccharomyces cerevisiae* procedente de una cepa modificada capaz de realizar la cofermentación de las hexosas y de las pentosas) actúa sobre los azúcares liberados. El rendimiento global de la conversión de la celulosa en etanol es de 0,35 g de etanol por g de celulosa introducida. La conversión de las pentosas en etanol se eleva a 0,11 g de etanol por g de pentosa introducida. El bajo rendimiento se explica por la más alta concentración de azúcares y etanol en la etapa de hidrólisis enzimática. El título etanólico del flujo enviado a la separación es de 61,0 g de etanol / kg de vino.

Separación:

El vino procedente de las unidades HF se envía a una decantadora en la unidad Ex1, donde la materia sólida, en particular, la lignina, se separa del vino antes de la etapa de recuperación del etanol en la unidad de separación S. En esta etapa de separación, se produce un flujo que contiene el 32,3 % de materia sólida.

Lavado del flujo de materia sólida:

- Con el fin de recuperar el etanol atrapado en la materia sólida, se implementa una etapa de lavado de la materia sólida. En este ejemplo, la totalidad del agua enviada como agua de dilución a la etapa de hidrólisis enzimática en la unidad H1 proviene de las vinazas producidas en destilación en la unidad S. Estas vinazas se utilizan primero para lavar la materia sólida en la unidad de lavado L a contracorriente en tres etapas de contacto. Luego, las vinazas procedentes de la unidad L se introducen en la unidad H1. Las pérdidas de etanol se reducen entonces en un 92,7 % en comparación con los resultados del ejemplo 4, es decir, el 1,5 % de la pérdida global.
- 5

Recuperación del etanol:

- 10 La separación en la unidad S se hace por destilación. El rendimiento de extracción es del 99,6 %. Por lo tanto, el procedimiento permite producir 114.051 toneladas de etanol al año y tiene un consumo específico de agua de proceso de 0,0 toneladas de agua / tonelada de etanol producido en funcionamiento continuo.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de producción de alcohol y/o solvente a partir de una carga de biomasa, en el que se llevan a cabo las siguientes etapas:

- a) se lleva a cabo una etapa de pretratamiento mediante la puesta en contacto y el calentamiento de la carga de biomasa con agua y un compuesto ácido o básico, para obtener un sustrato pretratado,
- b) el sustrato pretratado se pone en contacto con enzimas celulasas y con un flujo líquido enriquecido en productos de fermentación obtenido en la etapa e) para obtener un hidrolizado que comprende un residuo sólido y una fase líquida que contiene azúcares,
- c) se realiza una fermentación alcohólica del hidrolizado por medio de un microorganismo alcoholígeno para producir un vino de fermentación que incluye una materia sólida y una fase líquida que contiene productos de fermentación,
- d) se extrae al menos una parte de la materia sólida contenida en el vino de fermentación para obtener un flujo enriquecido con materia sólida y un vino de fermentación empobrecido con materia sólida,
- e) el flujo enriquecido con materia sólida se lava con un flujo líquido para obtener dicho flujo líquido enriquecido con productos de fermentación, reciclando el flujo líquido enriquecido con productos de fermentación en la etapa b),
- f) se lleva a cabo una etapa de separación del vino de fermentación empobrecido con materia sólida para obtener al menos un flujo purificado que comprende un alcohol o un solvente y al menos un flujo de vinaza.

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el flujo líquido de la etapa e) está compuesto de agua fresca.

3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el flujo líquido de la etapa e) comprende al menos una parte del flujo de vinaza obtenido en la etapa f).

4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que en la etapa b), el flujo líquido enriquecido con productos de fermentación tiene un caudal comprendido entre un 50 % y un 1500 % en peso del caudal de sustrato pretratado.

5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que en la etapa e), se pone en contacto el flujo enriquecido con materia sólida con el flujo líquido, y luego se separa el flujo líquido de la materia sólida.

6. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que se realiza la etapa d) de modo que dicho flujo enriquecido con materia sólida comprenda entre un 15 % en peso y un 55 % en peso de materia sólida y de modo que dicho vino de fermentación empobrecido con materia sólida comprenda menos del 15 % en peso de materia sólida.

7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que se realiza la etapa b) en un primer reactor y se realiza la etapa c) en un segundo reactor distinto del primer reactor.

8. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que se realiza simultáneamente la etapa b) y la etapa c) en el mismo reactor.

9. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que las enzimas celulasas son producidas por un microorganismo seleccionado de entre los hongos pertenecientes a los géneros *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Penicillium* o *Schizophyllum* o las bacterias anaeróbicas pertenecientes al género *Clostridium*.

10. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que el microorganismo alcoholígeno se selecciona de entre los microorganismos del género *Saccharomyces*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Schizosaccharomyces pombe*, *Saccharomyces uvarum*, *Saccharomyces diastaticus*, *Kluyveromyces fragilis*, *Candida shehatae*, *Pichia stipitis*, *Pachysolen tannophilis*, *Zymomonas mobilis*, *Clostridium*, *Escherichia coli*.

11. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que la carga de biomasa está compuesta de al menos uno de los siguientes elementos: madera, plantas cultivadas, residuos lignocelulósicos agrícolas, residuos de la industria de procesamiento de los materiales lignocelulósicos.

12. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que en la etapa a), se lleva a cabo una explosión de vapor de la biomasa comprimiendo y luego llevando a cabo una relajación de la biomasa mezclada con agua y un compuesto ácido.

13. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que en la etapa e) se implementa un organismo alcoholígeno que produce al menos etanol.

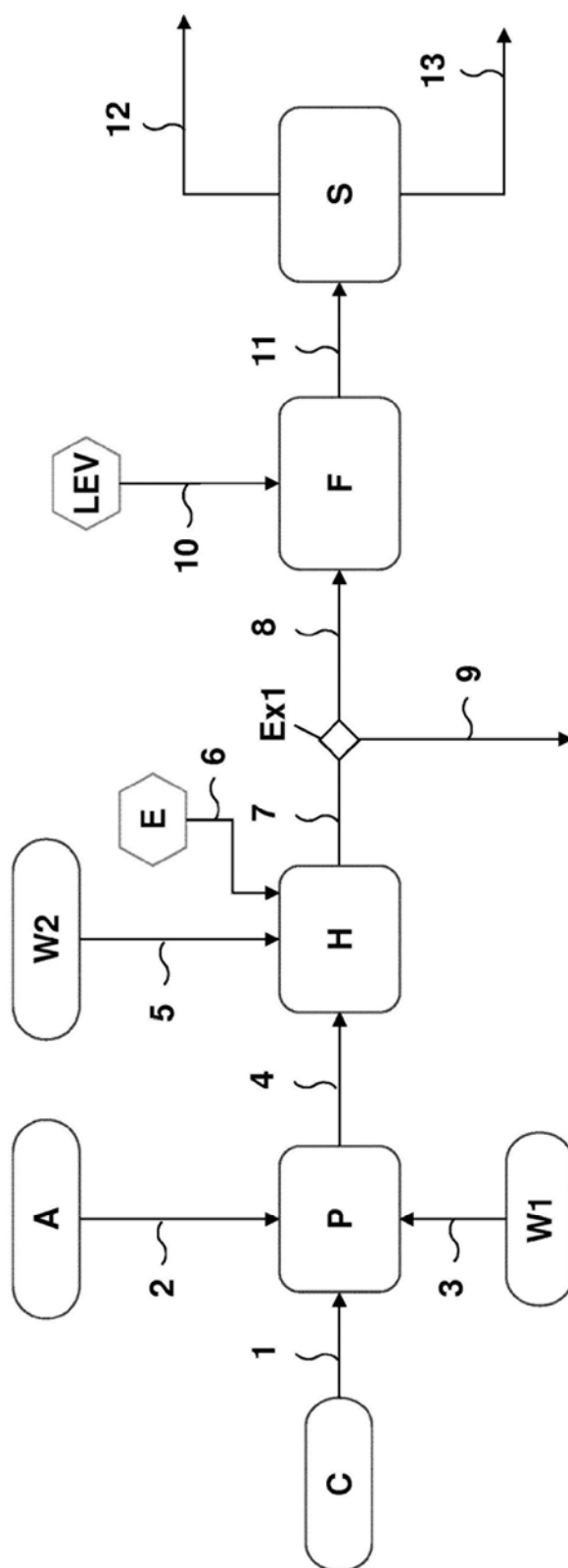


FIG.1

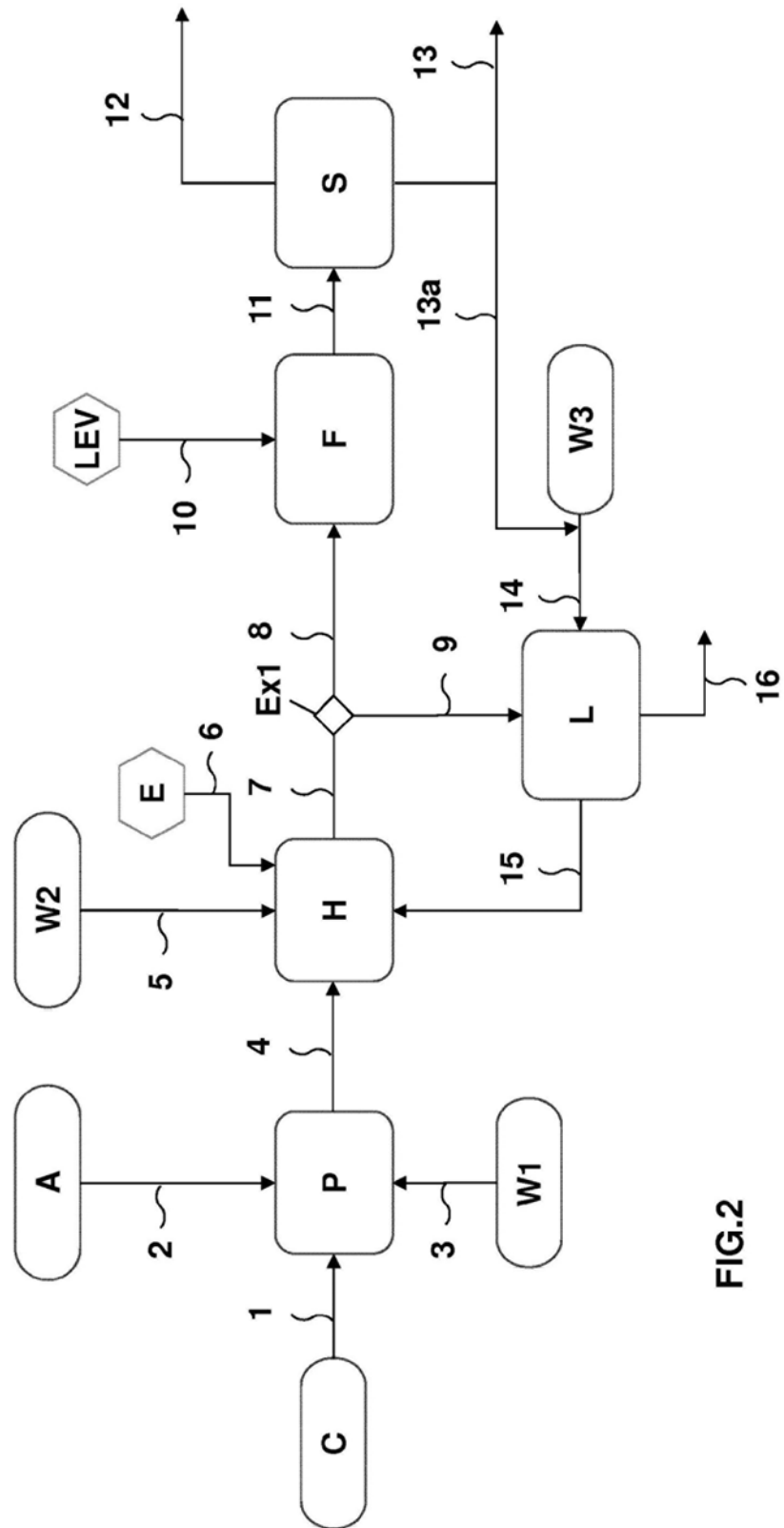


FIG.2

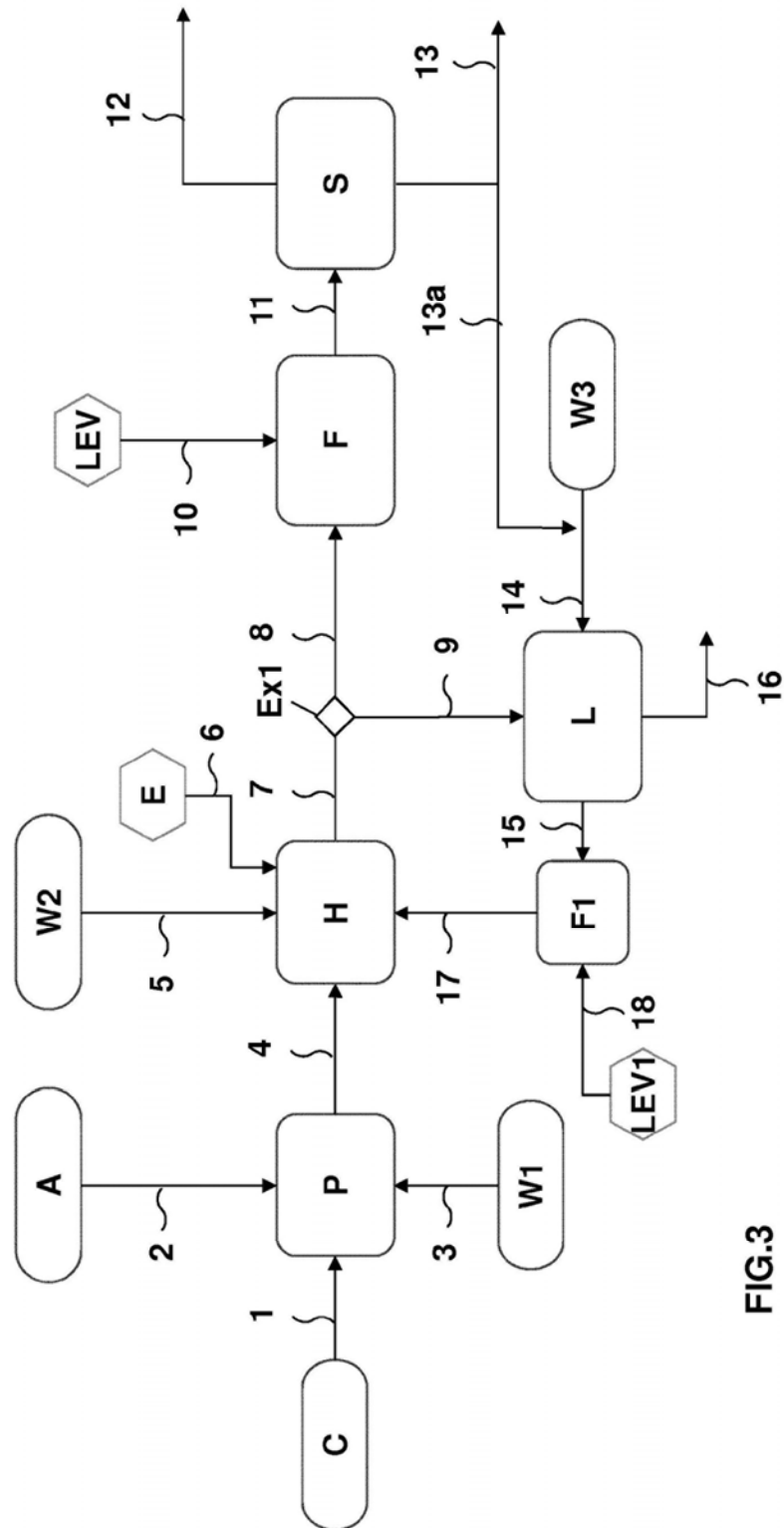


FIG.3