(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 566 672**

(51) Int. Cl.:

C08J 3/00	(2006.01)
C07H 3/02	(2006.01)
C07H 3/04	(2006.01)
C07H 3/06	(2006.01)
C13K 1/02	(2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.10.2007** **E 12176581 (2)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.03.2016** **EP 2520673**

(54) Título: **Método y sistema para sacarificación hidrolítica de una biomasa celulósica**

(30) Prioridad:

26.10.2006 JP 2006291194

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.04.2016

(73) Titular/es:

KAWASAKI JUKOGYO KABUSHIKI KAISHA (100.0%)
1-1 Higashikawasaki-cho, 3-chome, Chuo-ku Kobe shi, Hyogo 650-8670, JP

(72) Inventor/es:

NAGAHAMA, TAKESHI y
IZUMI, NORIAKI

(74) Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 566 672 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

Método y sistema para sacarificación hidrolítica de una biomasa celulósica

Antecedentes de la invención

Campo de la invención

La presente invención se refiere a un método de hidrólisis y a un sistema para producir de forma eficaz sacáridos a partir de biomasas, particularmente biomasas celulósicas, usadas como materiales de partida.

Descripción de la técnica relacionada

Como parte de la utilización de energía de la biomasa, se han realizado intentos para obtener etanol (bioetanol) por hidrólisis de celulosa o hemicelulosa, que son los constituyentes principales de las plantas. Se planea que el etanol obtenido de ese modo se utilice como combustible para mezclar con combustible de automóvil o como combustible alternativo para la gasolina.

Los constituyentes principales de las plantas incluyen celulosa (un polímero de glucosa, que es un sacárido C6 que comprende seis átomos de carbono), hemicelulosa (un polímero de un sacárido C5 que comprende cinco átomos de carbono y un sacárido C6), lignina, almidón, y similares. El etanol se produce a partir de sacáridos, tales como un sacárido C5, un sacárido C6, y un oligosacárido que es un complejo de estos sacáridos, usados como materiales de partida, mediante la acción de la fermentación de una levadura fúngica o similar.

Se prevé el uso industrial de tres métodos de hidrólisis de una biomasa celulósica que comprende celulosa, hemicelulosa o similar en sacáridos, que incluyen: 1) un método de hidrólisis de tal biomasa mediante la potencia oxidativa de un ácido fuerte, tal como ácido sulfúrico; 2) un método de hidrólisis de tal biomasa mediante levadura; y 3) un método que utiliza la potencia oxidativa de agua supercrítica, agua subcrítica o similar. Sin embargo, el método hidrolítico 1) que usa un ácido requiere necesariamente un tratamiento para neutralizar el ácido añadido después de la hidrólisis de la celulosa o la hemicelulosa en sacáridos y antes de la fermentación de los sacáridos en etanol debido a que el ácido añadido actúa como inhibidor frente a la fermentación de la levadura o similar. El coste de tal tratamiento hace difícil poner en práctica este método en vista del aspecto económico.

La perspectiva para la realización a escala industrial el método de hidrólisis 2) que usa levadura es todavía incierta en vista de la rentabilidad debido a que aún no se ha encontrado una levadura eficaz para el método 2) y, si se encontrara, se espera que tal levadura acarree un alto coste de producción de la misma, aunque el método 2) se puede llevar a cabo mediante un proceso a temperatura normal y presión normal.

En cuanto al método 3) de hidrólisis de celulosa o similar en sacáridos mediante el uso de agua supercrítica o subcrítica, el documento de Patente 1 ha desvelado un método de producción de polisacáridos insolubles en agua, que se caracteriza por la hidrólisis de polvo celulósico al poner en contacto el polvo con agua caliente presurizada de 240 a 340 ºC. El documento de Patente 2 ha desvelado un método que incluye: hidrolizar astillas de biomasa con agua caliente presurizada a una presión de vapor saturada o superior de 140 a 230 ºC durante un período de tiempo predeterminado para extraer la hemicelulosa; y a continuación llevar a cabo la hidrólisis usando agua caliente presurizada calentada a una temperatura no inferior a la temperatura de hidrólisis de la celulosa para extraer celulosa. El documento de Patente 3 ha desvelado un método de producción de glucosa y/o celo-oligosacárido soluble en agua, que se caracteriza por que la celulosa que tiene un grado de polimerización medio no inferior a 100 se hidroliza mediante las etapas de: poner en contacto la celulosa con agua supercrítica o subcrítica a una temperatura no inferior a 250 ºC y no superior a 450 ºC y a una presión no inferior a 15 MPa y no superior a 450 MPa durante un período de tiempo no inferior a 0,01 segundos y no superior a 5 segundos; enfriar la celulosa; y a continuación poner la celulosa en contacto con agua subcrítica a una temperatura no inferior a 250 ºC y no superior a 350 ºC y a una presión no inferior a 15 MPa y no superior a 450 MPa durante un período de tiempo no inferior a 1 segundo y no superior a 10 minutos.

Por otra parte, el documento de Patente 4 ha desvelado un método de tratamiento de un residuo de tipo biomasa, que incluye: colocar un objeto para tratamiento que contiene un disolvente que contiene alcohol de bajo peso molecular como componente principal y el residuo de tipo biomasa en un recipiente cerrado; y tratar el objeto mediante presurización y calentamiento del interior del recipiente cerrado de modo que el alcohol de bajo peso molecular alcance su estado supercrítico. Además, el documento de Patente 5 ha desvelado un método de hidrólisis y licuefacción de biomasa, que incluye tratar una biomasa celulósica mediante el uso de un disolvente mixto preparado por adición al 5-20 % el volumen de agua a un alcohol alifático C1 a C8 en condiciones supercríticas o subcríticas del alcohol.

Documento de Patente 1: Publicación Provisional de Patente Japonesa Nº 2000-186102
Documento de Patente 2: Publicación Provisional de Patente Japonesa Nº 2002-59118
Documento de Patente 3: Publicación Provisional de Patente Japonesa Nº 2003-212888

Documento de Patente 4: Publicación Provisional de Patente Japonesa Nº 2001-170601
Documento de Patente 5: Publicación Provisional de Patente Japonesa Nº 2005-296906

Los documentos de Patente US 4.992.105, WO 92/25553 y US 4.941.944 desvelan métodos de hidrólisis de materiales celulósicos que implican el uso de temperaturas y presiones elevadas. En el documento de Patente WO 96/09882 se desvela un método de hidrólisis de materiales orgánicos que comprende el uso de una pluralidad de recipientes de reacción presurizados.

En comparación con el método hidrolítico que usa un ácido fuerte, el método de sacarificación hidrolítica de celulosa y hemicelulosa como constituyentes principales de una biomasa mediante el uso de agua supercrítica o subcrítica a alta temperatura y alta presión requiere un coste de procesamiento inferior y es más ecológico debido a que este método no requiere ningún tratamiento de neutralización de ácido. Sin embargo, este método tiene la desventaja de que sin una refrigeración inmediata después de la finalización de la hidrólisis, los sacáridos producidos de ese modo se degradarían en gran medida a ácidos orgánicos o similar debido a que el uso de agua supercrítica o subcrítica hace que la celulosa y la hemicelulosa se hidrolicen completamente en los sacáridos en varios segundos a varios minutos debido a su fuerte poder oxidativo.

Con un sistema pequeño a escala de laboratorio para la hidrólisis, parece que tal degradación se puede prevenir mediante la refrigeración rápida del agua supercrítica o subcrítica en el recipiente de calentamiento. Con un sistema de hidrólisis a escala industrial, sin embargo, es muy difícil refrigerar una gran cantidad de agua supercrítica o subcrítica en un período de tiempo corto. Por esta razón, el método de hidrólisis de biomasa celulósica que usa agua supercrítica o subcrítica a alta temperatura y alta presión, cuando se aplica a un sistema a escala de una planta, proporcionará un bajo rendimiento de sacáridos, lo que conforma uno de los factores que evitan que este método se ponga en práctica.

Cuando se usa una gran cantidad de agua supercrítica o subcrítica, la suspensión se tiene que calentar con una gran cantidad de energía, lo que conforma un factor que aumenta el coste de procesamiento. El método de hidrólisis de biomasa celulósica, que somete una suspensión que contiene alcohol o similar como disolvente a hidrólisis en condiciones supercríticas o subcríticas, requiere una presión de vapor muy elevada y, por lo tanto, requiere una mayor cantidad de energía y tiene que usar un sistema que tenga una elevada resistencia a la presión.

Es un objetivo de la presente invención proporcionar un método y un sistema para hidrolizar celulosa y/o hemicelulosa contenida en una biomasa en monosacáridos y oligosacáridos (en lo sucesivo en el presente documento denominados "sacáridos") mediante el uso de agua a alta temperatura y alta presión en condiciones subcríticas, cuyo método y sistema son excelentes en eficacia térmica y rendimiento de sacáridos.

Sumario de la invención

El inventor de la presente invención ha descubierto que en la hidrólisis de celulosa o hemicelulosa en sacáridos mediante el uso de agua a alta temperatura y alta presión en condiciones subcríticas es posible refrigerar una gran cantidad de suspensión a una temperatura no superior a la temperatura de hidrólisis de la celulosa evitando de ese modo que los sacáridos se degraden en ácidos orgánicos o similar así como ahorrar energía por recuperación de energía térmica, al someter la suspensión contenida en un recipiente de presión en condiciones de alta temperatura y alta presión a una evaporación por expansión instantánea de vapor en un recipiente de presión que se carga con una suspensión de una biomasa celulósica y se calienta a medio camino. De ese modo, se ha conseguido la presente invención.

Específicamente, la presente invención se refiere un método de sacarificación hidrolítica de una biomasa celulósica con el uso de recipientes de presión plurales, comprendiendo el método una etapa de descarga y carga, una etapa de calentamiento, una etapa de hidrólisis, y una etapa de disminución de temperatura, que se llevan a cabo secuencialmente mediante cada uno de dichos recipientes de presión, en el que:

dicha etapa de descarga y carga es una etapa de retirada de un residuo de biomasa celulósica de cada uno de dichos recipientes de presión después de dicha etapa de disminución de temperatura y encapsulación de agua y un recipiente permeable al agua cargado con dicha biomasa celulósica en el mismo recipiente de presión;
dicha etapa de calentamiento es una etapa de cierre hermético del recipiente de presión y calentamiento del recipiente de presión;
dicha etapa de hidrólisis es una etapa de hidrólisis de la celulosa y/o la hemicelulosa contenidas en dicha biomasa celulósica en sacáridos mediante el poder oxidativo del agua a alta temperatura y alta presión;
dicha etapa de disminución de temperatura es una etapa de evaporación por expansión instantánea de vapor del agua a alta temperatura y alta presión contenida en el recipiente de reacción para disminuir la temperatura del mismo;
se requiere el mismo tiempo para completar las tres etapas respectivas distintas de dicha etapa de hidrólisis; el tiempo requerido para completar dicha etapa de hidrólisis es n veces (donde n es un número natural) mayor que el tiempo requerido para completar cada una de las otras tres etapas; y el número de recipientes de presión usado es un múltiplo de (3 + n); y

mientras uno cualquiera de dichos recipientes de presión plurales lleva a cabo dicha etapa de calentamiento, uno cualquiera de los demás recipientes de presión lleva a cabo dicha etapa de disminución de temperatura y permite que se realice una recuperación de calor mediante el suministro de vapor de expansión instantánea descargado desde el recipiente de presión que lleva a cabo dicha etapa de disminución de temperatura al recipiente de presión que lleva a cabo dicha etapa de calentamiento.

La presente invención también se refiere a un sistema para la sacarificación hidrolítica de una biomasa celulósica, que comprende recipientes de presión plurales configurados cada uno para llevar a cabo etapas secuenciales que incluyen:

una etapa de descarga y carga de retirada de un residuo de biomasa celulósica del recipiente de presión después de un etapa de disminución de temperatura y encapsulación de agua y un recipiente permeable al agua cargado con dicha biomasa celulósica en el recipiente de presión;
una etapa de calentamiento de cierre hermético del recipiente de presión y calentamiento del recipiente de presión;
una etapa de hidrólisis para hidrolizar la celulosa y/o la hemicelulosa contenida en dicha biomasa celulósica en sacáridos mediante el poder oxidativo del agua a alta temperatura y alta presión; y
la etapa de disminución de temperatura de evaporación por expansión instantánea de vapor del agua a alta temperatura y alta presión contenida en el recipiente de presión para disminuir la temperatura del mismo, en el que se requiere el mismo tiempo para completar las tres etapas respectivas distintas de dicha etapa de hidrólisis; el tiempo requerido para completar dicha etapa de hidrólisis es n veces (donde n es un número natural) mayor que el tiempo requerido para completar cada una de las otras tres etapas; y el número de recipientes de presión usado es un múltiplo de (3 + n); y
mientras uno cualquiera de dichos recipientes de presión plurales lleva a cabo dicha etapa de calentamiento, uno cualquiera de los demás recipientes de presión lleva a cabo dicha etapa de disminución de temperatura y permite que se realice una recuperación de calor mediante el suministro de vapor de expansión instantánea descargado desde el recipiente de presión que lleva a cabo la etapa de disminución de temperatura al recipiente de presión que lleva a cabo la etapa de calentamiento.

Mediante la conexión del recipiente de presión en la etapa de disminución de temperatura a otro recipiente de presión en la etapa de calentamiento, la suspensión en el recipiente de presión en la etapa de disminución de temperatura se puede refrigerar rápidamente mediante evaporación por expansión instantánea de vapor. Al mismo tiempo, la suspensión en el recipiente de presión que lleva a cabo la etapa de calentamiento se puede calentar mediante vapor de expansión instantánea a alta temperatura, mediante lo cual se puede ahorrar la energía requerida para calentar la suspensión.

Mediante la reducción de la presión interna del recipiente de presión de la parte de la fase gaseosa, no existe ningún peligro de que los componentes disueltos y los sólidos contenidos de la suspensión se trasladen para obstruir la boquilla y la tubería para el paso del vapor de expansión instantánea. Además, no existe ninguna necesidad de proporcionar un controlador de temperatura especial o similar. En el suministro del lado precalentado (es decir, el recipiente de presión en la etapa de calentamiento) con vapor de expansión instantánea, el precalentamiento de la suspensión se vuelve más eficaz mediante el suministro de vapor de expansión instantánea en la suspensión.

En la hidrólisis de celulosa o hemicelulosa en sacáridos mediante el uso de agua a alta temperatura y alta presión en condiciones subcríticas, la biomasa celulósica se carga en el recipiente permeable al agua que tiene perforaciones, orificios o similares para permitir que el agua se mueva desde el exterior al interior del recipiente permeable al agua y viceversa y a continuación el recipiente permeable al agua y el agua se encapsulan en cada recipiente de presión (encapsulación compresiva y densa). De ese modo, se puede prevenir que los recipientes y las tuberías asociadas se contaminen con el residuo fino de la suspensión.

Al llevar a cabo de ese modo la etapa de descarga y la etapa de carga en un recipiente de presión, es posible reducir el número total de etapas del proceso a cuatro y el número total de recipientes de presión usados a cuatro (o un múltiplo de cuatro) y acortar el tiempo de procesamiento. Por esta razón, este método y sistema tiene la ventaja de mejorar la capacidad de producción. Con el método y sistema de sacarificación hidrolítica que tiene cuatro etapas en total de acuerdo con la presente invención, es posible el intercambio de calor entre la suspensión a alta temperatura que se descarga de cada recipiente y la suspensión (suspensión de partida) que se carga en el mismo recipiente de presión en la etapa de descarga y carga.

De forma similar, con el método y sistema de sacarificación hidrolítica que tiene cuatro etapas de proceso en total de acuerdo con la presente invención, es posible el intercambio de calor entre el agua a alta temperatura que se descarga de cada recipiente y el agua que se carga en el mismo recipiente de presión en la etapa de descarga y carga.

Se requiere el mismo tiempo para completar las tres etapas respectivas distintas a la etapa de hidrólisis y el tiempo requerido para completar la etapa de hidrólisis es n veces (donde n es un número natural) mayor que el tiempo requerido para completar cada una de las otras tres etapas, y el número de recipientes de presión usado es un múltiplo de (3 + n). En los casos en los que el tiempo requerido para completar la etapa de hidrólisis es n veces

mayor que el requerido para completar cualquier otra etapa, el número de recipientes de presión para llevar a cabo la etapa de hidrólisis es preferentemente n veces mayor que el número de recipientes de presión para llevar a cabo las otras etapas. Con esta característica, las etapas secuenciales se pueden llevar a cabo sin dificultad mientras que se lleva a cabo la recuperación de calor dos veces.

Cuando la etapa de hidrólisis se lleva a cabo una temperatura no inferior a 140 ºC y no superior a 180 ºC, el método de sacarificación hidrolítica que incluye cuatro etapas de proceso en total es capaz de hidrolizar la hemicelulosa en sacáridos (que incluyen principalmente monosacáridos C5). Una biomasa que contiene una gran cantidad de hemicelulosa se procesa preferentemente en condiciones relativamente moderadas debido a que el procesamiento a alta temperatura hace que los monosacáridos C5 y similares se degraden en ácidos orgánicos y similares.

Al someter el recipiente permeable al agua que se ha sometido a la etapa de descarga nuevamente a la etapa de carga y llevar a cabo la etapa de hidrólisis a una temperatura no inferior a 240 ºC y no superior a 280 ºC, es posible hidrolizar celulosa en sacáridos. La hemicelulosa contenida en la biomasa se hidroliza en primer lugar en sacáridos a una temperatura no inferior a 140 ºC y no superior a 180 ºC y a continuación la biomasa se somete a separación sólido- líquido. De ese modo, la celulosa se puede separar en forma de un sólido. La suspensión que comprende la celulosa obtenida de ese modo se somete a la etapa de carga y a continuación a la etapa de hidrólisis a una temperatura no inferior a 240 ºC y no superior a 280 ºC. De ese modo, la celulosa se puede hidrolizar en sacáridos. Este proceso es eficaz para una biomasa que contiene celulosa y hemicelulosa en cantidades básicamente iguales.

Cuando la etapa de hidrólisis se lleva a cabo una temperatura no inferior a 240 ºC y no superior a 280 ºC, la celulosa se puede hidrolizar en sacáridos (que incluyen principalmente monosacáridos C6). En el caso de una biomasa que tiene un alto contenido de celulosa, un proceso para hidrolizar solo la celulosa en sacáridos a una temperatura relativamente alta es más eficaz debido a que la necesidad de tener en consideración la degradación de la hemicelulosa es baja.

Preferentemente, la etapa de descarga y carga incluye la adición de etanol en una cantidad no inferior a un 2 % de moles y no superior a un 10 % de moles o al agua que se encapsula en cada recipiente de presión. La adición de una pequeña cantidad de etanol a la suspensión de partida hace que disminuya la velocidad de reacción de hidrólisis de la celulosa y/o la hemicelulosa en sacáridos mediante el agua subcrítica. De ese modo, se puede ajustar el tiempo de hidrólisis de la celulosa y/o la hemicelulosa en la etapa de hidrólisis de modo que se facilite la inhibición de la degradación en ácidos orgánicos y similares, aumentando de ese modo el rendimiento.

El etanol añadido se transfiere en su mayor parte al vapor de expansión instantánea en la etapa de disminución de temperatura y a continuación se recoge en la suspensión en otro recipiente de presión que lleva a cabo la etapa de calentamiento. La solución acuosa que contiene sacáridos, que se retira de cada recipiente de presión mediante la etapa de descarga, se somete a fermentación de etanol y se convierte de este modo en bioetanol. Si queda etanol en la fase inicial de la fermentación de etanol, la fermentación mediante la levadura queda inhibida por tal etanol residual. La invención de acuerdo con la reivindicación 4 tiene la característica de que es difícil de inhibir la fermentación de etanol debido a que el método puede reducir la cantidad de etanol en la suspensión que contiene celulosa y/o hemicelulosa que se obtiene después de la etapa de descarga mientras se mantiene una concentración de etanol deseada en la etapa de hidrólisis.

Los anteriores y otros objetivos, características y ventajas asociadas de la presente invención serán más evidentes a partir de la lectura de la siguiente descripción detallada de la invención junto con las figuras acompañantes.

[Ventaja de la invención]

De acuerdo con la presente invención, se puede hidrolizar la celulosa y/o la hemicelulosa contenida en una biomasa celulósica en sacáridos con un rendimiento elevado a un bajo coste con el uso de recipientes de presión plurales. Además, la presente invención puede ahorrar el consumo calórico en aproximadamente un 60 % y por lo tanto tiene un mérito económico muy excelente debido a que se puede recuperar fácilmente el calor desprendido desde un recipiente de presión para llevar a cabo otra etapa y se utiliza para precalentar a una temperatura adecuada la reacción de sacarificación hidrolítica.

Al cargar una biomasa celulósica en el recipiente permeable al agua y encapsular el recipiente permeable al agua y el agua en cada recipiente de presión, es posible prevenir que las tuberías y similares se manchen así como mejorar adicionalmente la eficacia de operación.

Breve descripción de las figuras

La Figura 1 es un gráfico que ilustra un procedimiento para operar un sistema de sacarificación hidrolítica de acuerdo con la realización 1;
la Figura 2 es un gráfico de programación temporal para operar el sistema de sacarificación hidrolítico de la realización 1 como un sistema discontinuo de secuenciación;

la Figura 3 es un gráfico de programación temporal para operar un sistema de sacarificación hidrolítico de la realización 2 como un sistema discontinuo de secuenciación;
la Figura 4 es un gráfico que representa la relación entre el tiempo de reacción de la sacarificación hidrolítica de una biomasa y el rendimiento de sacáridos (%);
la Figura 5 es un gráfico de programa temporal para operar un sistema de sacarificación hidrolítica de la realización 3 como sistema discontinuo de secuenciación; y
la Figura 6 es una vista que ilustra un ejemplo en el que el bagazo seco se carga comprensiva y densamente en un recipiente permeable al agua de acuerdo con la realización 4.

Descripción detallada de las realizaciones preferentes

En lo sucesivo en el presente documento, se describirán realizaciones de la presente invención con referencia apropiada a las figuras. Se ha de observar que la presente invención no se limita a las realizaciones que se describen a continuación. Las realizaciones 1 a 3 no forman parte de la invención pero sirven para ilustrar las etapas de proceso que se pueden usar en la invención reivindicada y los sistemas adaptados para llevar a cabo tales etapas de proceso.

Realización 1

Por referencia a la Figura 1, se hará una descripción de un procedimiento para operar un sistema de sacarificación hidrolítica configurado para llevar a cabo cinco etapas de proceso en total y usar cinco recipientes de presión de acuerdo con la realización 1.

En primer lugar, se tritura una biomasa celulósica (por ejemplo, una biomasa de vegetación que comprende bagazo, residuos de remolacha azucarera, pajas o similar) hasta tamaños no superiores a varios milímetros y a continuación se mezclan con agua o una solución acuosa diluida de etanol (2 a 10 % en moles) para preparar una suspensión que tiene una concentración de materia sólida de aproximadamente un 30 %. La suspensión obtenida de ese modo (suspensión de partida) se carga en un recipiente de presión Nº 1, como se muestra en la Figura 1(a) (etapa de carga). Dado que no hay energía térmica liberada en ningún otro recipiente de presión en el momento en que el sistema de sacarificación hidrolítica empieza a operar, la suspensión de partida no se puede precalentar mediante intercambio de calor.

Los recipientes de presión Nº 1 a 5 llevan a cabo cada uno repetidamente la secuencia de etapas de proceso: etapa de carga → etapa de calentamiento → etapa de hidrólisis → etapa de disminución de temperatura → etapa de descarga, y los cuatro recipientes de presión Nº 2 a 5 operan cada uno con un retraso temporal que corresponde a una etapa de proceso. En el caso de las Figuras 1(a) a 1(e), cuando el recipiente de presión Nº 1 está en la etapa de carga, los recipientes de presión Nº 2 a 5 están en la etapa de descarga, la etapa de disminución de temperatura, la etapa de hidrólisis y la etapa de calentamiento, respectivamente.

En las Figuras 1(a) a 1(e), las expresiones "precalentamiento y carga", "precalentamiento y calentamiento", "calentamiento", "expansión instantánea" y "drenaje" representan la etapa de carga, la etapa de calentamiento, la etapa de hidrólisis, la etapa de disminución de temperatura y la etapa de descarga, respectivamente.

En los casos en los que el sistema de sacarificación hidrolítica ya está en operación y la segunda o posterior etapa de carga se va llevar a cabo en el recipiente de presión Nº 1, se permite que se produzca intercambio de calor entre la suspensión (que contiene sacáridos) que se va a descargar (o drenar) del recipiente de presión Nº 2 en la etapa de descarga y la suspensión de partida que se va a cargar el recipiente de presión Nº 1, precalentando de ese modo la suspensión de partida.

Posteriormente, el recipiente de presión Nº 1 se cierra herméticamente (etapa de calentamiento). En este momento, el recipiente de presión Nº 4 está en la etapa de disminución de temperatura como se muestra en la Figura 1(b). Por esta razón, el gas a alta temperatura presente en la parte superior del recipiente de presión Nº 4 se suministra como vapor de expansión instantánea al recipiente de presión Nº 1 con el fin de recuperar calor (como se ha descrito anteriormente, el vapor de expansión instantánea se suministra preferentemente a la solución acuosa contenida en el recipiente de presión). Como resultado, la temperatura de la suspensión contenida en el recipiente de presión Nº 1 aumenta adicionalmente, mediante lo cual se puede ahorrar la energía requerida para llevar la suspensión a su estado subcrítico.

Posteriormente, el interior del recipiente de presión Nº 1 se calienta usando una fuente de calor, tal como una corriente a alta temperatura, para llevar la suspensión a su estado subcrítico, como se muestra en la Figura 1(c) (etapa de hidrólisis). Preferentemente, se añade previamente etanol a la suspensión de partida hasta una concentración no inferior a un 2 % en moles y no superior a un 10 % en moles. La adición de etanol permite que se ralentice de la velocidad de reacción de hidrólisis, haciendo de ese modo fácil controlar la reacción de hidrólisis de la celulosa o la hemicelulosa en la etapa de hidrólisis.

La "etapa de hidrólisis", como se usa en la presente invención, pretende incluir no solo el tiempo durante el cual la suspensión está en el estado subcrítico, sino también el tiempo requerido para calentar la suspensión que tiene que elevar su temperatura mediante la etapa de calentamiento hasta que la suspensión se lleva a su estado subcrítico.

Si se añade etanol a la suspensión de partida en una concentración superior a un 10 % en moles, el tiempo de hidrólisis se hace mayor de lo necesario mientras que al mismo tiempo el recipiente de presión necesita tener una resistencia a la presión mayor. Además, la suspensión descargada (o drenada) mediante la etapa de descarga contiene una alta concentración de etanol residual. Por estas razones, la adición de demasiado etanol perjudica el valor práctico de la invención.

Posteriormente, el recipiente de presión Nº 1 que ha pasado un tiempo de hidrólisis apropiado se conecta al recipiente de presión Nº 3 en la etapa de precalentamiento con el fin de suministrar, en forma de vapor de expansión instantánea, la suspensión a alta temperatura presente en la parte inferior del recipiente de presión Nº 1 en el recipiente de presión Nº 3, como se muestra en la Figura 1(d). Al hacer esto, el interior del recipiente de presión Nº 1 se refrigera rápidamente a una temperatura inferior a la temperatura de sacarificación hidrolítica, haciendo de ese modo posible detener la reacción de degradación de sacáridos en ácidos orgánicos o similares. Al mismo tiempo, aumenta la temperatura de la suspensión en el recipiente de presión Nº 3.

Con el fin de que la hemicelulosa contenida en la biomasas se sacarifique hidrolíticamente en la etapa de hidrólisis, la temperatura de la suspensión se ajusta dentro del intervalo de temperatura de 140 ºC a 180 ºC lo que permite que solo se sacarifique hidrolíticamente la hemicelulosa, sin aumentarse dentro del intervalo de temperatura (240 ºC a 280 ºC) que permite que se sacarifique hidrolíticamente la celulosa. Por otra parte, con el fin de que la celulosa contenida en la biomasa se sacarifique hidrolíticamente, la temperatura de la suspensión se aumenta dentro del intervalo de temperatura (240 ºC a 280 ºC) lo que permite que se sacarifique hidrolíticamente la celulosa.

Posteriormente, el recipiente de presión Nº 1 cuya temperatura ha disminuido y cuya presión ha disminuido a una presión normal o a una presión cercana a la presión normal se abre y la suspensión que contiene sacáridos se descarga (o drena) del mismo, como se muestra en la Figura 1(e) (etapa de descarga). En el caso de que la suspensión se haya sometido a una temperatura de 240 ºC a 280 ºC en la etapa de hidrólisis, la temperatura de la suspensión en la etapa de descarga es de aproximadamente 110 ºC a aproximadamente 150 ºC. Por esta razón, se permite que se produzca intercambio de calor entre la suspensión en el recipiente de presión Nº 1 en la etapa de descarga y la suspensión que se carga en el recipiente de presión Nº 5. Al hacer esto, es posible que calentar la suspensión que se carga el recipiente de presión Nº 5 así como enfriar la suspensión que se retira del recipiente de presión Nº 1.

Aunque se ha realizado principalmente la descripción del procedimiento de operación para el recipiente de presión Nº 1 por referencia a las Figuras 1(a) a 1(e), los recipientes de presión Nº 2 a 5 también se operan cada uno de acuerdo con el mismo procedimiento. Con respecto a los recipientes de presión distintos del recipiente de presión Nº 1, las operaciones de recuperación del calor residual (es decir, intercambio de calor) que usan vapor de expansión instantánea y suspensión a alta temperatura están parcialmente omitidas en las Figuras 1(a) a 1(e). Sin embargo, es innecesario decir que la recuperación de calor residual (es decir, intercambio de calor) se lleva a cabo para cada uno de estos recipientes de presión de la misma manera que para el recipiente de presión Nº 1.

Los sacáridos y el contenido sólido residual coexisten en la suspensión descargada (o drenada) mediante la etapa de descarga y refrigerada mediante intercambio de calor. Cuando la temperatura de la etapa de hidrólisis está dentro del intervalo de 140 ºC a 180 ºC, el contenido sólido residual comprende celulosa y lignina como componentes principales. Cuando la temperatura de la etapa de hidrólisis está dentro del intervalo de 240 ºC a 280 ºC, el contenido sólido residual comprende lignina como componente principal.

Después de que el contenido sólido residual de la suspensión se haya retirado mediante separación sólido-líquido, el líquido resultante se somete a fermentación de etanol utilizando la acción de fermentación y similar de la levadura, proporcionando de ese modo bioetanol. Dado que la técnica de fermentación de etanol se conoce bien, la descripción de la misma se omite el presente documento. Los sacáridos obtenidos mediante la presente invención se pueden convertir en bioetanol mediante un proceso de fermentación conocido distinto de la fermentación de levadura.

Por referencia a la Figura 2, se realizará la descripción de una programación temporal para la operación del sistema de sacarificación hidrolítica que usa los cinco recipientes de presión que se muestran en las Figuras 1(a) a 1(e) como un sistema discontinuo de secuenciación. En la Figura 2, el tiempo requerido para completar cada etapa del proceso es cinco minutos.

Inicialmente, el recipiente de presión Nº 1 lleva a cabo la etapa de carga y, posteriormente, los recipientes de presión Nº 2 a 5 llevan a cabo la etapa de carga secuencialmente con un retraso temporal de cinco minutos desde un recipiente de presión al siguiente. Cada recipiente de presión repite las cinco etapas secuenciales: [C] → [PH] → [GL] → [F] → [DC] y, por lo tanto, un ciclo del proceso de sacarificación hidrolítica para una biomasa celulosa es 5

min x 5 etapas = 25 minutos. Los recipientes de presión Nº 1 a 5 llevan a cabo este ciclo secuencialmente con un retraso temporal de cinco minutos de un recipiente de presión al siguiente.

La expansión instantánea del vapor contenido en el recipiente de presión Nº 1 en la etapa de disminución de temperatura se suministra al recipiente de presión Nº 2 en la etapa de calentamiento, consiguiendo de ese modo recuperación de calor. Asimismo, la expansión instantánea del vapor contenido en cada uno de los recipientes de presión Nº 2 a 5 en la etapa de disminución de temperatura se suministra al respectivo recipiente de presión Nº 3, 4, 5 y 1, consiguiendo de ese modo recuperación de calor.

La suspensión que se descarga (o drena) del recipiente de presión Nº 1 en la etapa de descarga intercambia calor con la suspensión que se carga en el recipiente de presión Nº 5 en la etapa de carga. Asimismo, la suspensión a alta temperatura contenida en cada uno de los recipientes de presión Nº 2 a 5 en la etapa de descarga intercambia calor con la suspensión que se carga en el respectivo recipiente de presión Nº 1 al 4 en la etapa de carga.

Tal sistema discontinuo de secuenciación hace posible sacarificar hidrolíticamente una biomasa en un corto período de tiempo con ahorro de la energía requerida.

Realización 2

Por referencia a la Figura 3, se realizará descripción de una programación temporal para la operación de un sistema de sacarificación hidrolítica como sistema discontinuo de secuenciación, configurándose el sistema de sacarificación hidrolítica para llevar a cabo cuatro etapas en total y usar cuatro recipientes de presión configurados cada uno para llevar a cabo la etapa de descarga y la etapa de carga en paralelo como una etapa de descarga y carga en una operación continua. En la Figura 3, el tiempo requerido para completar cada etapa es cinco minutos.

Inicialmente, el recipiente de presión Nº 1 lleva a cabo la primera etapa de carga Co y, posteriormente, los recipientes de presión Nº 2 a 4 llevan a cabo la primera etapa de carga Co secuencialmente con un retraso temporal de cinco minutos de un recipiente de presión al siguiente. Cuando el sistema comienza a operar, el sistema lleva a cabo la misma etapa de carga que el sistema de sacarificación hidrolítica que se muestra en la Figura 1. Por esta razón, la etapa de descarga y carga realizada en primer lugar se denomina "primera etapa de carga Co" en la Figura 3. En la operación continua, cada recipiente de presión repite las cuatro etapas secuenciales: [C] → [PH] → [GL] → [F] y, por lo tanto, un ciclo del proceso de sacarificación hidrolítica para una biomasa celulósica es 5 min x 4 etapas = 20 minutos. Los recipientes de presión Nº 1 a 4 llevan a cabo este ciclo secuencialmente con un retraso temporal de cinco minutos de un recipiente de presión al siguiente.

La expansión instantánea del vapor contenido en el recipiente de presión Nº 1 en la etapa de disminución de temperatura se suministra al recipiente de presión Nº 2 en la etapa de calentamiento, consiguiendo de ese modo recuperación de calor. Asimismo, la expansión instantánea del vapor contenido en cada uno de los recipientes de presión Nº 2 a 4 en la etapa de disminución de temperatura se suministra al respectivo recipiente de presión Nº 3 a 5 en la etapa de calentamiento, consiguiendo de ese modo recuperación de calor.

La suspensión se retira del recipiente de presión Nº 1 en la etapa de descarga y carga después de la etapa de disminución de temperatura y a continuación se carga una suspensión de partida en el mismo recipiente de presión. Es decir, el recipiente de presión Nº 1 que ha completado la etapa de disminución de temperatura lleva a cabo la etapa de descarga y carga en paralelo. Cuando la temperatura de la suspensión que se descarga es suficientemente alta, se puede realizar intercambio de calor con la suspensión que se carga.

Al finalizar la operación, el recipiente de presión Nº 1 que ha completado la última etapa de disminución de temperatura lleva a cabo la última etapa de descarga Cx y, posteriormente, los recipientes de presión Nº 2 a 4 llevan a cabo la última etapa de descarga Cx secuencialmente con un retraso temporal de cinco minutos de un recipiente de presión al siguiente. Al finalizar la operación del sistema, el sistema lleva a cabo la misma etapa de descarga que el sistema de sacarificación hidrolítica que se muestra en la Figura 1. Por esta razón, la última etapa de descarga y carga llevada a cabo se denomina "última etapa de descarga Cx" en la Figura 3.

Este sistema discontinuo de secuenciación es capaz de conseguir la sacarificación hidrolítica continua en un corto período de tiempo con menos recipientes de presión que el sistema de sacarificación hidrolítica que se muestra en las Figuras 1 y 2.

[Efecto de la adición de etanol en la etapa de hidrólisis]

Se estudió el efecto de la adición de etanol en la sacarificación hidrolítica de reactivo de celulosa en el estado subcrítico con el reactivo de celulosa usado como biomasa. La Figura 4 muestra el resultado del experimento en el que se hicieron pasar agua pura y solución acuosa al 5 % en peso de etanol (2 % en moles), que estaban a la misma temperatura de 280 ºC, cada una a través de la celulosa indicada anteriormente.

La Figura 4 muestra la relación entre el tiempo de reacción y el rendimiento de sacáridos (%). Se descubrió que la adición de etanol no tenía básicamente ningún efecto en el rendimiento máximo de sacáridos. Sin embargo, respecto a la velocidad de producción de sacáridos y la velocidad de hidrólisis, se disminuyeron aparentemente mediante la adición del etanol. Por ejemplo, el tiempo requerido para alcanzar el rendimiento máximo aumentó aproximadamente tres veces (0,7 min → 2,0 min) mediante la adición de etanol.

Para un sistema a escala industrial, es difícil controlar el tiempo de reacción en el estado subcrítico al segundo. Por esta razón, se confirmó que la adición de etanol a una suspensión de partida es eficaz para aumentar el rendimiento de sacáridos.

Realización 3

Por referencia a la Figura 5, se realizará la descripción de una programación temporal para la operación de un sistema de sacarificación hidrolítica como sistema discontinuo de secuenciación, configurándose el sistema de sacarificación hidrolítica para llevar a cabo cinco etapas en total y usar ocho recipientes de presión. Este sistema se adapta a casos en los que la biomasa celulósica es difícil de sacarificar hidrolíticamente en condiciones subcríticas y, por lo tanto, la etapa de hidrólisis no se puede llevar a cabo durante un tiempo mayor que las otras cuatro etapas. En la Figura 5, el tiempo requerido para completar la etapa de hidrólisis es 20 minutos y el requerido para completar cualquier otra etapa es cinco minutos.

Inicialmente, el recipiente de presión Nº 1 lleva a cabo la etapa de carga y, posteriormente, los recipientes de presión Nº 2 a 8 llevan a cabo la etapa de carga secuencialmente con un retraso temporal de cinco minutos de un recipiente de presión al siguiente. Cada recipiente de presión repite las cinco etapas secuenciales: [C] → [PH] → [GL] → [F] → [DC]. Aquí, el tiempo requerido para completar la etapa de hidrólisis de una biomasa celulósica en sacáridos es 20 minutos y, por lo tanto, un ciclo del proceso de sacarificación hidrolítica es (5 min x 4 etapas) + (20 min x 1 etapa) = 40 minutos. Los recipientes de presión Nº 1 a 8 llevan a cabo este ciclo secuencialmente con un retraso temporal de cinco minutos de un recipiente de presión al siguiente.

Con el sistema discontinuo de secuenciación que se muestra en la Figura 5, el tiempo requerido para completar la etapa de hidrólisis es cuatro veces mayor que el requerido para completar cualquier otra etapa del proceso. Por lo tanto, si se usan cinco recipientes de presión, cuyo número corresponde a las cinco etapas del proceso, la energía térmica del vapor de expansión instantánea y la de la suspensión a alta temperatura no se pueden recuperar a menos que cada una de las etapas de proceso distintas de la etapa de hidrólisis dure 20 minutos al igual que la etapa de hidrólisis. Por esta razón, el tiempo de procesamiento debería ser mayor. En vista de tal inconveniente, el sistema de sacarificación hidrolítica de acuerdo con la presente realización usa ocho recipientes de presión para llevar a cabo una recuperación de calor eficaz aunque dure cinco minutos cualquiera de las etapas de proceso distintas de la etapa de hidrólisis al igual que en el sistema anterior y 20 minutos la etapa de hidrólisis.

Cuando el recipiente de presión Nº 1 está en la etapa de disminución de temperatura, la expansión instantánea del vapor contenido en el recipiente de presión Nº 1 se aplica al recipiente de presión Nº 6 en la etapa de calentamiento. Asimismo, la expansión instantánea del vapor contenido en cada uno de los recipientes de presión Nº 2 a 8 en la etapa de disminución de temperatura se suministra al respectivo recipiente de presión Nº 7, 8, 1, 2, 3, 4 y 5, consiguiendo de ese modo la recuperación de calor.

La suspensión a alta temperatura que se descarga (o drena) del recipiente de presión Nº 1 en la etapa de descarga intercambia calor con la suspensión que se carga en el recipiente de presión Nº 8 en la etapa de carga. Asimismo, la suspensión a alta temperatura que se descarga de cada uno de los recipientes de presión Nº 2 a 8 en la etapa de descarga intercambia calor con la suspensión que se carga en el respectivo recipiente de presión Nº 1 a 7.

En los casos en los que se requiere un tiempo igual para completar las cuatro etapas respectivas distintas de la etapa de hidrólisis y el tiempo requerido para completar la etapa de hidrólisis es n veces (donde n es un número natural; n es cuatro en este ejemplo) mayor que el tiempo requerido para completar cada una de las otras cuatro etapas, el número de recipientes de presión usado es preferentemente un múltiplo de (4 + n). El sistema dispuesto de ese modo como sistema discontinuo de secuenciación es capaz de conseguir la sacarificación hidrolítica continua de una biomasa celulósica en un corto período de tiempo con el ahorro de la energía requerida, al igual que en la realización 1.

Aunque la realización 3 usa ocho recipientes de presión, el sistema de sacarificación hidrolítica, cuando está comprendido por dos sistemas discontinuos de secuenciación, puede usar 16 recipientes de presión en total. El sistema de sacarificación hidrolítica configurado para llevar a cabo cuatro etapas del proceso en total se puede operar de forma similar a la indicada anteriormente.

Realización 4

Con respecto a las realizaciones 1 a 3 anteriores, la descripción se ha referido a los casos en los que se tritura una biomasa celulósica y a continuación se mezcla con agua para preparar una suspensión, que a continuación se carga

en un recipiente de presión en la etapa de carga o la etapa de descarga y carga. Sin embargo, en la etapa de descarga y carga de acuerdo con la presente invención, la biomasa celulósica no necesita suspenderse necesariamente. La sacarificación por hidrólisis de una biomasa celulósica se puede conseguir también mediante una etapa de descarga y carga tal que incluye: cargar una biomasa celulósica, tal como bagazo, en un recipiente permeable al agua que tiene perforaciones, orificios o similares que permita que el agua se mueva desde el exterior al interior del recipiente permeable al agua y viceversa; y encapsular el recipiente permeable al agua y el agua en cada recipiente de presión (encapsulación compresiva y densa).

Aunque no existe ninguna limitación en el material del recipiente permeable al agua siempre que el material pueda soportar temperaturas elevadas en el recipiente de presión, el material es preferentemente acero inoxidable y un material similar que tenga una alta resistencia. Además, no existe ninguna limitación en la forma del recipiente permeable al agua; por ejemplo, se puede seleccionar de forma apropiada una forma de paralelepípedo rectangular, una forma cilíndrica o similar para el recipiente permeable al agua. Sin embargo, es preferente la misma forma que la forma interna (forma cilíndrica) de cada recipiente de presión en vista de su alta eficacia volumétrica. Cualquier medio que asegure permeabilidad al agua se puede emplear sin ninguna limitación particular siempre que el recipiente permeable al agua permita que el agua se mueva desde el exterior al interior del recipiente permeable al agua y viceversa; por ejemplo, el recipiente permeable al agua puede estar parcial o completamente reticulado; el recipiente permeable al agua se puede formar con ranuras o perforaciones circulares; o el recipiente permeable al agua puede tener la parte superior abierta.

La Figura 6 ilustra un ejemplo en el que se carga bagazo seco como biomasa celulósica en el recipiente permeable al agua. En esta figura, el recipiente permeable al agua que se carga con bagazo tiene una forma cilíndrica (con la parte superior abierta) que tiene una superficie de fondo y una superficie periférica, que se forman con múltiples perforaciones. En este caso no existe ninguna necesidad de moler el bagazo seco. El bagazo seco se puede usar con la longitud que tiene como tal o se puede cortar a una longitud apropiada.

Después de la carga, es preferente comprimir el bagazo seco en el recipiente permeable al agua desde la parte superior por medio de una máquina de prensado o similar. Se puede cargar el bagazo seco en condiciones de compresión previa al recipiente permeable al agua. El bagazo seco, que tiene una densidad relativa de aproximadamente 5 a aproximadamente 10 kg/m^3 antes de la compresión, se puede comprimir hasta una densidad relativa no inferior a 50 kg/m^3. El bagazo seco en estas condiciones de compresión se encapsula en cada recipiente de presión y a continuación se vierte agua en el recipiente de presión hasta su capacidad. De ese modo, el interior del recipiente de presión tiene una concentración de materia sólida de aproximadamente varios %, que es el mismo nivel de concentración de materia sólida que la suspensión. Por lo tanto, el recipiente de presión tiene básicamente la misma eficacia volumétrica que con el bagazo seco en la forma de una suspensión.

En la compresión del bagazo seco en el recipiente permeable al agua, es preferente que el recipiente permeable al agua se cargue compresiva y densamente con bagazo seco tanto como sea posible repitiendo la introducción de bagazo seco en el recipiente permeable al agua y la operación de prensado. La operación de prensado se puede llevar a cabo solo una vez siempre que se pueda cargar compresiva y densamente suficiente cantidad de bagazo seco en el recipiente permeable al agua.

La densidad relativa de una biomasa celulósica, tal como bagazo seco, se ajusta preferentemente hasta un valor no inferior a 50 kg/m^3 y no superior a 300 kg/m^3, más preferentemente no inferior a 100 kg/m^3 y no superior a 200 kg/m^3, antes de la encapsulación en el recipiente de presión. Si la densidad relativa de la biomasa celulósica es demasiado baja, la concentración de materia sólida se hace menor que la de la biomasa celulósica en la forma de suspensión, lo que da como resultado una eficacia volumétrica disminuida. Por otra parte, si la densidad relativa de la biomasa celulósica es demasiado alta, es difícil que el agua penetre en la biomasa celulósica y, por lo tanto, la reacción de hidrólisis de la biomasa celulósica se produce con dificultad.

En la formación de una suspensión de biomasa celulósica tal como bagazo seco, la energía requerida para pulverizar la biomasa celulósica es aproximadamente de 0,5 a 2 kW por 1 kg de material de partida. Tal operación de pulverización se elimina en la presente realización. Incluso si fuera necesaria la molienda, no se requiere la pulverización. La cantidad de trabajo requerido para tratar previamente la biomasa celulósica se reduce hasta 1/10 a 1/2.

En la carga de la biomasa celulósica en la forma de suspensión al recipiente de presión, se requiere que se disminuya la concentración de materia sólida o se pulverice la biomasa celulósica con el fin de prevenir que se obstruyan las tuberías. La biomasa celulósica tiene un contenido de agua relativamente alto. Por esta razón, incluso cuando la concentración de materia sólida de la suspensión es aproximadamente un 10 % tomando en consideración el contenido de agua de la biomasa celulósica, la fluidez de la suspensión es baja. Sin embargo, mediante la encapsulación del recipiente permeable al agua cargado con la biomasa celulósica en el recipiente de presión junto con agua, la concentración de materia sólida en el recipiente de presión se puede hacer básicamente igual que la de la suspensión, como se ha descrito anteriormente.

Con la biomasa celulósica en la forma de suspensión, la materia sólida a veces se deposita en la pared interior de las tuberías así como en la pared interior del recipiente de presión y permanece sobre las mismas en forma de materia sólida residual. Tal materia sólida residual no solo afecta la eficacia volumétrica de cada tubería y el recipiente de presión sino que también se mezcla, en forma de polvo fino que ha reaccionado, en la suspensión que no ha reaccionado. Por lo tanto, tal materia sólida residual hace que aumente la frecuencia de limpieza. Sin embargo, tal problema no surgirá en virtud de la etapa de encapsulación del recipiente permeable al agua cargado con la biomasa celulósica en el recipiente de presión junto con agua, seguido de calentamiento debido a que solo pasa agua a través de la tubería, quedándose la biomasa celulósica dentro del recipiente permeable al agua.

Además, en los casos en los que la biomasa celulósica se calienta a una temperatura no inferior a 140 ºC y no superior a 180 ºC para hidrolizar la hemicelulosa en sacáridos y a continuación la materia sólida residual se calienta a una temperatura no inferior a 240 ºC y no superior a 280 ºC para hidrolizar la celulosa en sacáridos, se requiere que el contenido de sólidos obtenidos después de la hidrólisis de la hemicelulosa se separe mediante separación sólido-líquido y a continuación se mezcle con agua de nuevo para formar una suspensión cuando la etapa de descarga y carga incluye la carga de la biomasa celulósica en la forma de suspensión en el recipiente de presión. Sin embargo, con el proceso de encapsulación del recipiente permeable al agua cargado con la biomasa celulósica en el recipiente de presión junto con agua y a continuación calentamiento del recipiente de presión, existen las ventajas de que es suficiente descargar el agua que contiene los sacáridos y que el recipiente permeable al agua sirve también como medio para la separación sólido-líquido. Al recoger el agua que contiene los sacáridos que permanece junto con el residuo de biomasa en el recipiente permeable al agua por lavado del residuo de biomasa, es posible recoger los sacáridos de forma más eficaz.

En el caso en el que el recipiente permeable al agua cargado con la biomasa celulósica se encapsula en el recipiente de presión junto con agua en la etapa de descarga y carga, la etapa de descarga y carga incluye: descargar agua que contiene sacáridos a alta temperatura; retirar el recipiente permeable al agua del recipiente de presión; y retirar un residuo sólido (que es una materia sólida residual que queda después de la hidrólisis de la celulosa y/o la hemicelulosa contenida en la biomasa celulósica y que comprende lignina y un contenido de ceniza como componentes mayoritarios), seguido de eliminación.

Dado que este residuo se puede utilizar como combustible para calentar el interior del recipiente de presión, la presente realización, de acuerdo con la que se puede aumentar la concentración de materia sólida en el recipiente de presión y, por lo tanto, se puede aumentar la cantidad de residuo retirado del recipiente de presión, es capaz de suprimir la cantidad de combustible que se usa, tal como gasolina.

En la etapa de disminución de temperatura, el agua a alta temperatura contenida en el recipiente de presión se evapora por expansión instantánea para intercambiar calor con el agua que se carga en el recipiente de presión que lleva a cabo la etapa de carga. Las demás características son similares a las características correspondientes del método y sistema en el que la biomasa celulósica en la forma de suspensión se carga mediante la etapa de carga o la etapa de descarga y carga.

Por ejemplo, en el caso de la etapa de carga en la que se carga la biomasa celulósica en el recipiente permeable al agua y a continuación se encapsula en el recipiente de presión junto con agua, el "agua y el recipiente permeable al agua cargado con la biomasa celulósica" es equivalente a la "suspensión de partida" que aparece en la Figura 1 que ilustra el procedimiento para operar el sistema de sacarificación hidrolítica de la realización 1.

[Aplicabilidad industrial]

La presente invención es útil como método y sistema para hidrolizar una biomasa celulósica en sacáridos, para aplicarse en campos industriales tales como la bioindustria y la industria energética.

REIVINDICACIONES

1. Método de sacarificación hidrolítica de una biomasa celulósica con el uso de recipientes de presión plurales, comprendiendo el método una etapa de descarga y carga, una etapa de calentamiento, una etapa de hidrólisis, y una etapa de disminución de temperatura, que se llevan a cabo secuencialmente en cada uno de dichos recipientes de presión, en el que:

dicha etapa de descarga y carga es una etapa de retirada de un residuo de biomasa celulósica de cada uno de dichos recipientes de presión después de dicha etapa de disminución de temperatura y encapsulación de agua y un recipiente permeable al agua cargado con dicha biomasa celulósica en el mismo recipiente de presión;
dicha etapa de calentamiento es una etapa de cierre hermético del recipiente de presión y calentamiento del recipiente de presión;
dicha etapa de hidrólisis es una etapa de hidrólisis de la celulosa y/o la hemicelulosa contenida en dicha biomasa celulósica en sacáridos mediante el poder oxidativo de agua a alta temperatura y alta presión;
dicha etapa de disminución de temperatura es una etapa de evaporación por expansión instantánea de vapor del agua a alta temperatura y alta presión contenida en el recipiente de presión para disminuir la temperatura del mismo;
se requiere el mismo tiempo para completar las tres etapas respectivas distintas de dicha etapa de hidrólisis; el tiempo requerido para completar dicha etapa de hidrólisis es n veces (donde n es un número natural) mayor que el tiempo requerido para completar cada una de las otras tres etapas; y el número de recipientes de presión usado es un múltiplo de (3 + n); y
mientras uno cualquiera de dichos recipientes de presión plurales lleva a cabo dicha etapa de calentamiento, uno cualquiera de los demás recipientes de presión lleva a cabo dicha etapa de disminución de temperatura y permite que se realice una recuperación de calor mediante el suministro de vapor de expansión instantánea descargado desde el recipiente de presión que lleva a cabo dicha etapa de disminución de temperatura al recipiente de presión que lleva a cabo dicha etapa de calentamiento.

2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha etapa de hidrólisis se lleva a cabo a una temperatura no inferior a 140 ºC y no superior a 180 ºC para hidrolizar la hemicelulosa en sacáridos.

3. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha etapa de hidrólisis se lleva a cabo a una temperatura no inferior a 240 ºC y no superior a 280 ºC para hidrolizar la celulosa en sacáridos.

4. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha etapa de descarga y carga incluye la adición de etanol en una cantidad no inferior a un 2 % en moles y no superior a un 10 % en moles al agua que se encapsula en el recipiente de presión.

5. Sistema para la sacarificación hidrolítica de una biomasa celulósica, que comprende recipientes de presión plurales configurados cada uno para llevar a cabo etapas secuenciales que incluyen:

una etapa de descarga y carga de retirada de un residuo de biomasa celulósica de cada uno de los recipientes de presión después de una etapa de disminución de temperatura y encapsulación de agua y un recipiente permeable al agua cargado con dicha biomasa celulósica en el recipiente de presión;
una etapa de calentamiento de cierre hermético del recipiente de presión y calentamiento del recipiente de presión;
una etapa de hidrólisis de hidrólisis de la celulosa y/o la hemicelulosa contenida en dicha biomasa celulósica en sacáridos mediante el poder oxidativo de agua a alta temperatura y alta presión; y
la etapa de disminución de temperatura de evaporación por expansión instantánea de vapor del agua a alta temperatura y alta presión contenida en el recipiente de presión para disminuir la temperatura del mismo, en el que se requiere el mismo tiempo para completar las tres etapas respectivas distintas de dicha etapa de hidrólisis; el tiempo requerido para completar dicha etapa de hidrólisis es n veces (donde n es un número natural) mayor que el tiempo requerido para completar cada una de las otras tres etapas; y el número de recipientes de presión usado es un múltiplo de (3 + n);
mientras uno cualquiera de dichos recipientes de presión plurales lleva a cabo dicha etapa de calentamiento, uno cualquiera de los demás recipientes de presión lleva a cabo dicha etapa de disminución de temperatura y permite que se realice una recuperación de calor mediante el suministro de vapor de expansión instantánea descargado desde el recipiente de presión que lleva a cabo la etapa de disminución de temperatura al recipiente de presión que lleva a cabo la etapa de calentamiento.

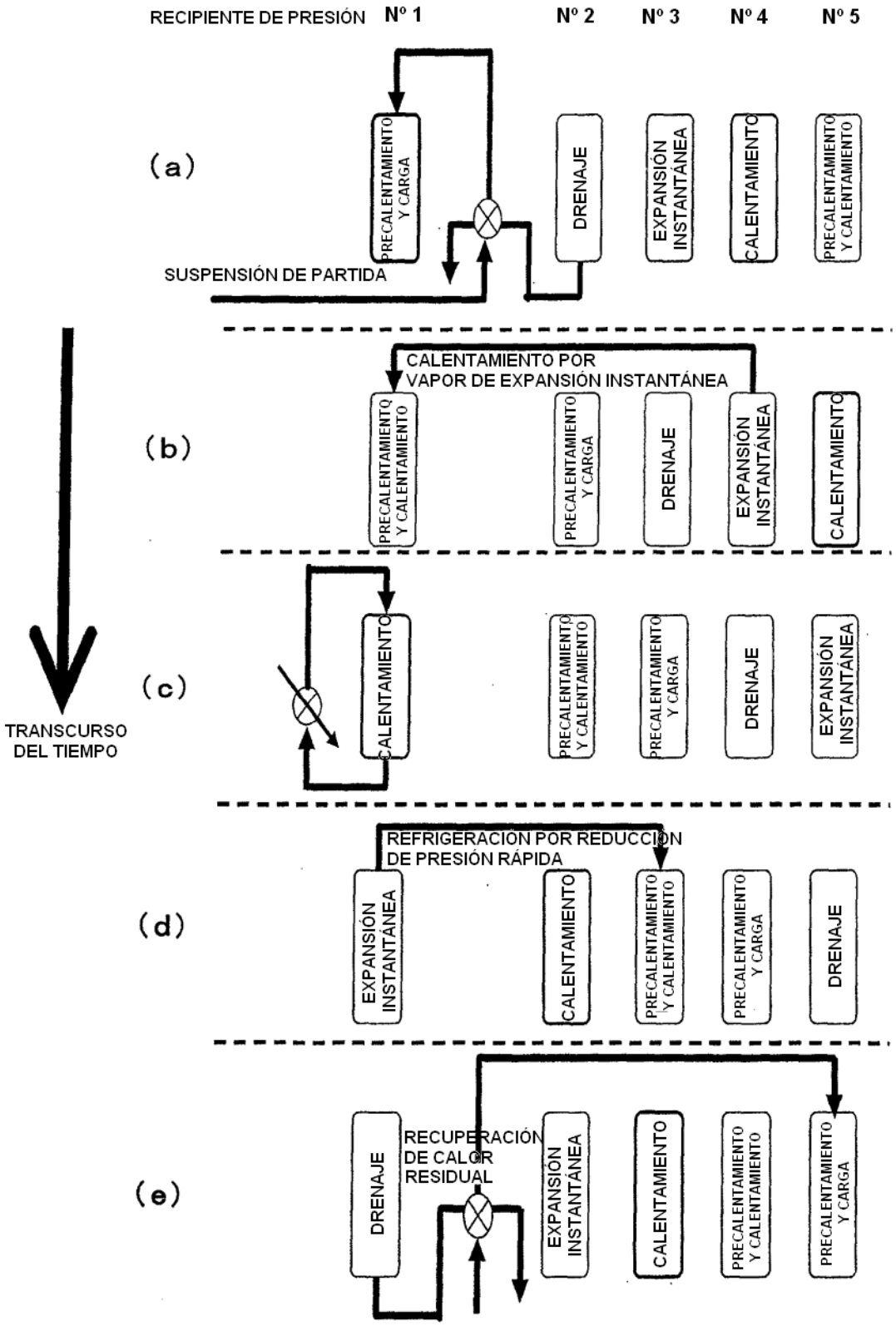
RECIPIENTE DE PRESIÓN
Nº 1
Nº 2
Nº 3
Nº 4
Nº 5
(a)
PRECALENTAMIENTO Y CARGA
DRENAJE
EXPANSIÓN INSTANTÁNEA
CALENTAMIENTO
PRECALENTAMIENTO Y CALENTAMIENTO
SUSPENSIÓN DE PARTIDA
CALENTAMIENTO POR VAPOR DE EXPANSIÓN INSTANTÁNEA
(b)
PRECALENTAMIENTO Y CALENTAMIENTO
PRECALENTAMIENTO Y CARGA
DRENAJE
EXPANSIÓN INSTANTÁNEA
CALENTAMIENTO
(c)
CALENTAMIENTO
PRECALENTAMIENTO Y CALENTAMIENTO
PRECALENTAMIENTO Y CARGA
DRENAJE
EXPANSIÓN INSTANTÁNEA
TRANSCURSO DEL TIEMPO
REFRIGERACIÓN POR REDUCCIÓN DE PRESIÓN RÁPIDA
(d)
EXPANSIÓN INSTANTÁNEA
CALENTAMIENTO
PRECALENTAMIENTO Y CALENTAMIENTO
PRECALENTAMIENTO Y CARGA
DRENAJE
(e)
DRENAJE
RECUPERACIÓN DE CALOR RESIDUAL
EXPANSIÓN INSTANTÁNEA
CALENTAMIENTO
PRECALENTAMIENTO Y CALENTAMIENTO
PRECALENTAMIENTO Y CARGA

Fig. 1

C ETAPA DE CARGA : 5 min
PH ETAPA DE CALENTAMIENTO : 5 min
GL ETAPA DE HIDRÓLISIS : 5 min
F ETAPA DE DISMINUCIÓN DE TEMPERATURA : 5 min
DC ETAPA DE DESCARGA : 5 min

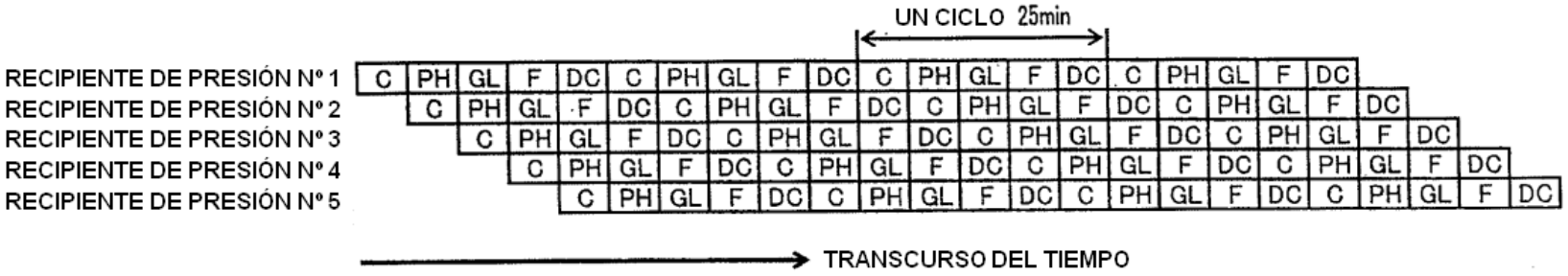

Fig. 2

C ETAPA DE DESCARGA Y CARGA : 5 min
PH ETAPA DE CALENTAMIENTO : 5 min
GL ETAPA DE HIDRÓLISIS : 5 min
F ETAPA DE DISMINUCIÓN DE TEMPERATURA : 5 min

Co PRIMERA ETAPA DE CARGA : 5 min
Cx ÚLTIMA ETAPA DE DESCARGA : 5 min

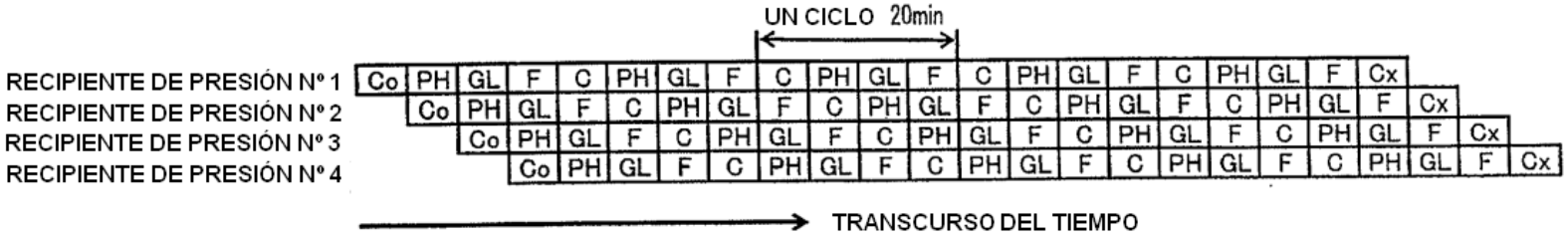

Fig. 3

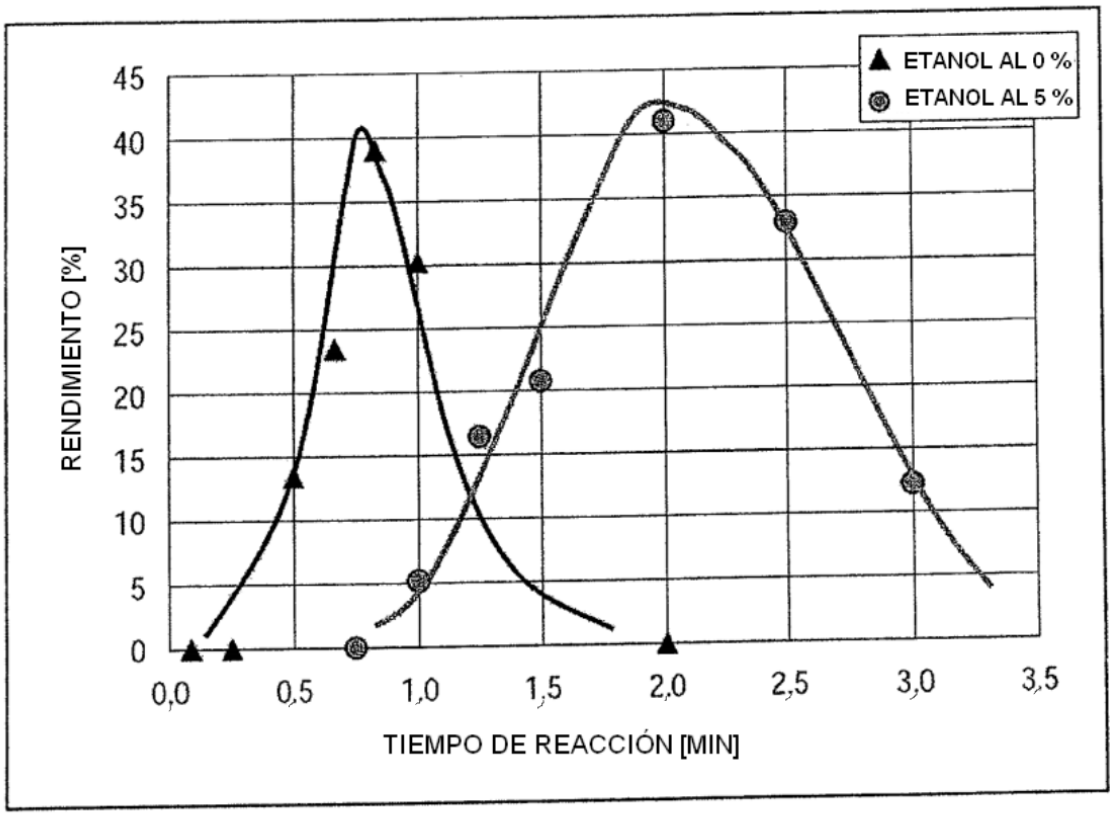
ETANOL AL 0 %
ETANOL AL 5 %
RENDIMIENTO [%]
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
3,5
TIEMPO DE REACCIÓN [MIN]

Fig. 4

C ETAPA DE CARGA : 5 min
PH ETAPA DE CALENTAMIENTO : 5 min
GL ETAPA DE HIDRÓLISIS : 20 min
F ETAPA DE DISMINUCIÓN DE TEMPERATURA : 5 min
DC ETAPA DE DESCARGA : 5 min

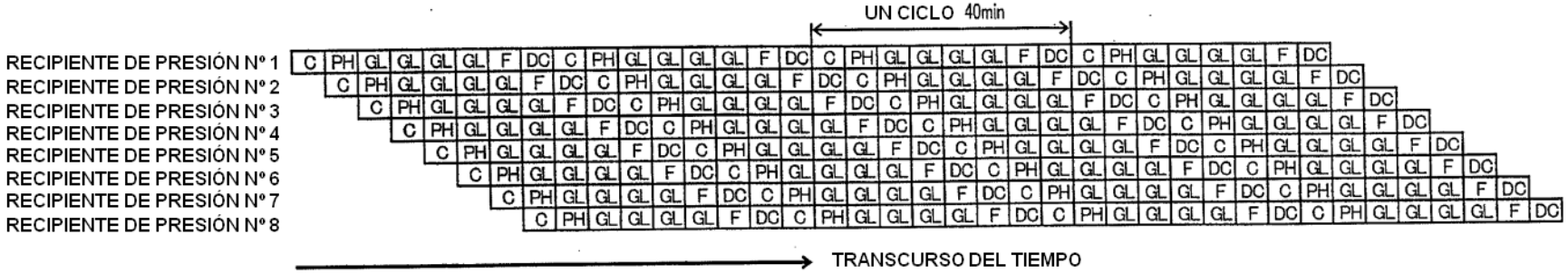

Fig. 5

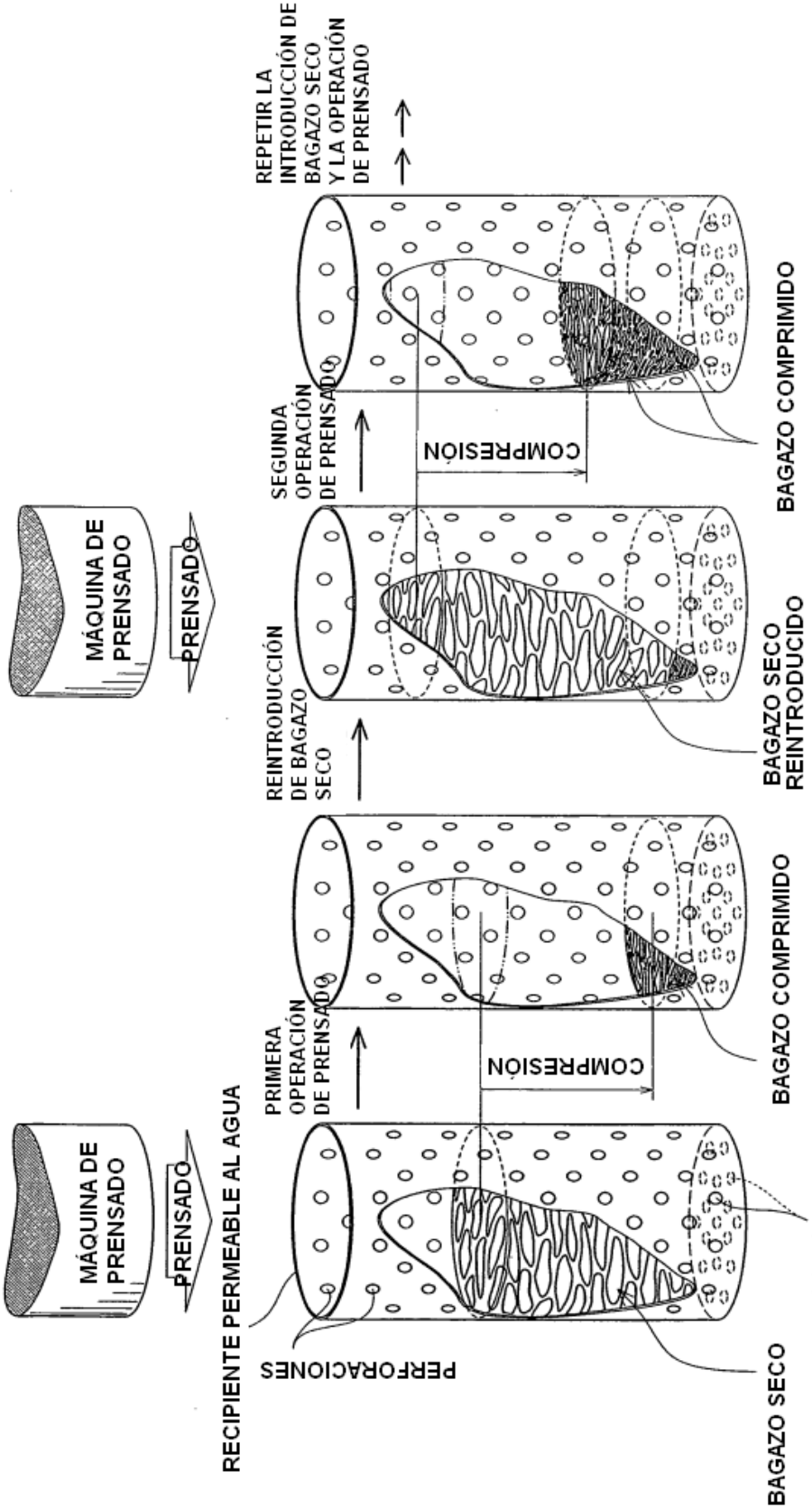
MÁQUINA DE PRENSADO
PRENSADO
RECIPIENTE PERMEABLE AL AGUA
PERFORACIONES
BAGAZO SECO
PRIMERA OPERACIÓN DE PRENSADO
COMPRESIÓN
BAGAZO COMPRIMIDO
PERFORACIONES
REINTRODUCCIÓN DE BAGAZO SECO
BAGAZO SECO REINTRODUCIDO
MÁQUINA DE PRENSADO
PRENSADO
SEGUNDA OPERACIÓN DE PRENSADO
COMPRESIÓN
BAGAZO COMPRIMIDO
REPETIR LA INTRODUCCIÓN DE BAGAZO SECO Y LA OPERACIÓN DE PRENSADO

Fig. 6