

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 676 645**

51 Int. Cl.:

C12M 1/02	(2006.01)
C12P 7/08	(2006.01)
C13K 1/02	(2006.01)
C12P 7/10	(2006.01)
C12P 19/02	(2006.01)
C12P 19/14	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.05.2010 PCT/US2010/035315**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.11.2010 WO10135365**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.05.2010 E 10723862 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.04.2018 EP 2432865**

54 Título: **Procesamiento de biomasa**

30 Prioridad:

20.05.2009 US 179995 P
19.06.2009 US 218832 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.07.2018

73 Titular/es:

XYLECO, INC. (100.0%)
360 Audubon Road
Wakefield, MA 01880-6248, US

72 Inventor/es:

MEDOFF, MARSHALL y
MASTERMAN, THOMAS

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 676 645 T3

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

Descripción

Procesamiento de biomasa

5 ANTECEDENTES

Los materiales celulósicos y lignocelulósicos se producen, procesan y usan en grandes cantidades en varias aplicaciones. Con frecuencia, tales materiales se usan una vez y, a continuación, se descartan como residuos o simplemente se consideran materiales de residuo, por ejemplo, aguas residuales, bagazo, serrín y rastrojos.

10

Se han descrito varios materiales celulósicos y lignocelulósicos, sus usos y aplicaciones en las patentes de Estados Unidos n.º 7.307.108, 7.074.918, 6.448.307, 6.258.876, 6.207.729, 5.973.035 y 5.952.105; y en varias aplicaciones de patente, incluyendo "MATERIALES Y COMPOSITOS FIBROSOS", PCT/US2006/010648, presentada el 23 de marzo de 2006, Y "MATERIALES Y COMPOSITOS FIBROSOS", publicación de la solicitud de patente de los Estados

15 Unidos n.º 2007/0045456.

RESUMEN

Generalmente, esta invención se refiere a procesos para sacarificar o licuar un material, p. ej., una materia prima celulósica o lignocelulósica, convirtiendo la parte celulósica del material en azúcares de bajo peso molecular, p. ej., usando una enzima. La invención también se refiere a la conversión de una materia prima en un producto, p. ej., por fermentación.

Los procedimientos desvelados en la presente invención pueden utilizar materiales de densidad aparente baja, por ejemplo, materias primas celulósicas o lignocelulósicas, que se han pretratado físicamente para que tengan una densidad aparente inferior a aproximadamente $0,5 \text{ g/cm}^3$, p. ej., inferior a aproximadamente $0,35 \text{ g/cm}^3$, $0,25 \text{ g/cm}^3$, $0,20 \text{ g/cm}^3$, $0,15 \text{ g/cm}^3$, $0,10 \text{ g/cm}^3$, $0,05 \text{ g/cm}^3$ o inferior, p. ej., $0,025 \text{ g/cm}^3$.

Tales materiales pueden ser especialmente difíciles de mezclar con líquidos, p. ej., con agua o un sistema de disolventes para sacarificación, fermentación u otras técnicas de procesamiento. Debido a su baja densidad aparente, los materiales tienden a flotar hacia la superficie del líquido en lugar de dispersarse en él. En algunos casos, los materiales pueden ser hidrofóbicos, muy cristalinos o, por el contrario, difíciles de humectar. Al mismo tiempo, es deseable procesar la materia prima en una dispersión con una concentración de sólidos relativamente alta con el fin de obtener una alta concentración final de azúcar en el material sacarificado o una alta concentración del producto deseado después del procesamiento (por ejemplo, de etanol u otro(s) alcohol(es) después de la fermentación). En algunos casos, utilizando los procedimientos descritos en esta invención, la concentración de sólidos de la dispersión durante el procesamiento puede ser de, por ejemplo, al menos un 20, 25, 30, 35, 40, 45 o incluso de al menos un 50 por ciento en peso de sólidos disueltos.

Los inventores han descubierto que la dispersión de una materia prima en una mezcla líquida se puede mejorar, y como resultado se puede aumentar el nivel de sólidos de la mezcla, mediante el uso de ciertas técnicas de mezcla y equipos. Las técnicas y el equipo de mezclas descritos en esta invención también mejoran la transferencia de masa, y como resultado las velocidades de reacción en una mezcla, y evitan o minimizan el daño a los ingredientes sensibles de la mezcla, tales como microorganismos y enzimas. En particular, se ha descubierto que las técnicas de mezcla de chorro, que incluyen, por ejemplo, aireación de chorro y agitación de flujo de chorro, proporcionan una buena humectación, dispersión y disrupción mecánica. Aumentando el nivel de sólidos de la mezcla, el procedimiento puede proceder más rápidamente, más eficientemente y de forma más rentable y se puede aumentar la concentración resultante del producto final.

Algunos de los procedimientos desvelados en esta invención incluyen la sacarificación de la materia prima y el transporte de la materia prima desde una localización remota, p. ej. donde se produce o almacena la materia prima, a la instalación de fabricación. En algunos casos, la sacarificación puede tener lugar parcialmente o completamente durante el transporte. En tales casos, puede ser ventajoso proporcionar una mezcla, p. ej., mezcla de chorro, en el recipiente de transporte. En algunos casos, la sacarificación puede completarse durante el transporte. En algunos aspectos, la fermentación puede tener lugar parcial o completamente durante el transporte.

En algunas implementaciones, el procedimiento incluye además reducir la recalcitrancia de una materia prima, antes o durante la sacarificación. El proceso puede incluir las etapas adicionales de medir el contenido de lignina de la materia prima y determinar si necesita pretratamiento y bajo qué condiciones basándose en el contenido de lignina medido.

En un aspecto, la invención presenta un procedimiento que incluye sacarificar una materia prima lignocelulósica mezclando la materia prima con un medio líquido y un agente sacarificante en un recipiente, usando un mezclador de chorro.

5

Algunas realizaciones incluyen una o más de las siguientes características. La materia prima puede tener una densidad aparente de menos de aproximadamente $0,5 \text{ g/cm}^3$. La materia prima es material lignocelulósico. El líquido incluye agua. El agente sacarificante puede incluir una enzima. El mezclador de chorro es un agitador de chorro de agua. Si se usa un mezclador tipo aireación de chorro, se puede usar sin inyección de aire a través del mezclador de chorro. Por ejemplo, si el mezclador de tipo de aireación de chorro incluye una boquilla que tiene una primera línea de entrada y una segunda línea de entrada, en algunos casos ambas líneas de entrada se suministran con un líquido. En algunos casos, la mezcla comprende agregar la materia prima al medio líquido en incrementos y mezclar entre adiciones. El procedimiento puede incluir además monitorizar el nivel de glucosa de la mezcla de materia prima, medio líquido y agente sacarificante durante la mezcla, y en algunos casos añadir materia prima adicional y agente sacarificante al recipiente durante la sacarificación. El recipiente de mezclado puede ser, por ejemplo, un tanque, vagón de ferrocarril o camión cisterna. La sacarificación puede tener lugar en algunos casos parcial o completamente durante el transporte de la mezcla de materia prima, medio líquido y agente sacarificante. El procedimiento puede incluir además añadir un emulsionante o tensioactivo a la mezcla en el recipiente.

20 En otro aspecto, la invención presenta sacarificar una materia prima lignocelulósica mezclando la materia prima con un medio líquido y un agente sacarificante en un recipiente, usando un mezclador que produce generalmente flujo toroidal dentro del recipiente.

En algunas realizaciones, el mezclador está configurado para limitar cualquier aumento en la temperatura total del medio líquido a menos de $5 \text{ }^\circ\text{C}$ en el transcurso de la mezcla. Este aspecto también puede incluir, en algunas realizaciones, cualquiera de las características descritas anteriormente.

En otro aspecto más, la invención presenta un procedimiento que incluye convertir un azúcar de bajo peso molecular en un producto mezclando el azúcar de bajo peso molecular con un microorganismo en un medio líquido, usando un mezclador de chorro.

30

Algunas realizaciones incluyen una o más de las siguientes características. El medio líquido incluye agua. El microorganismo puede incluir levadura. El mezclador de chorro incluye un agitador de chorro de agua.

En otro aspecto, la invención presenta un aparato que incluye un tanque, un mezclador de chorro que tiene una boquilla dispuesta dentro del tanque, un dispositivo de administración configurado para suministrar una materia prima de biomasa al tanque, y un dispositivo de administración configurado para suministrar una cantidad medida de un agente sacarificante al tanque.

35

Algunas realizaciones incluyen una o más de las siguientes características. El mezclador de chorro puede incluir además un motor, y el aparato puede incluir además un dispositivo configurado para controlar el par de torsión en el motor durante la mezcla. El aparato también puede incluir un controlador que ajusta el funcionamiento del dispositivo de administración de materia prima y/o el dispositivo de administración de agente sacarificante basándose en la entrada del dispositivo de monitorización del par de torsión.

45 La invención también presenta un procedimiento que incluye sacarificar una materia prima lignocelulósica en un recipiente para formar una mezcla sacarificada; inocular la mezcla sacarificada en el recipiente con un microorganismo; y permitir que la mezcla sacarificada inoculada fermente en el recipiente.

En algunos casos, los contenidos del recipiente se transfieren a un recipiente de transporte durante la fermentación y la fermentación continúa en el recipiente de transporte. El procedimiento incluye además agitar los contenidos del recipiente con un mezclador de chorro durante la sacarificación y la fermentación. En algunas realizaciones, el procedimiento incluye además monitorizar el contenido de oxígeno y el contenido de etanol y/o azúcar de la mezcla de fermentación.

50

55 En otro aspecto, la divulgación presenta un sistema de fermentación que incluye un recipiente que tiene un respiradero; una fuente de oxígeno en la comunicación con el recipiente; un monitor de oxígeno configurado para monitorizar el contenido de oxígeno de un líquido en el recipiente; y un controlador configurado para ajustar el contenido de oxígeno del líquido, utilizando la fuente de ventilación y oxígeno, en respuesta a la entrada del monitor de oxígeno.

60

El flujo de oxígeno en el recipiente, si se requiere oxigenación, puede ser relativamente bajo. Por ejemplo, el controlador puede configurarse para oxigenar el recipiente a una velocidad de menos de 0,2 vvm, p. ej., menos de 0,1, 0,05, 0,025 o incluso menos de 0,01 vvm.

- 5 El sistema de fermentación puede incluir además un monitor de fermentación configurado para controlar la concentración de azúcar y/o la concentración de etanol del líquido en el recipiente; y un controlador configurado para detener la fermentación en función de la entrada recibida del monitor de fermentación. En algunos casos, el sistema incluye un módulo de detención de la fermentación configurado para detener la fermentación en respuesta a una señal recibida del controlador.

10

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1 es un diagrama que ilustra la hidrólisis enzimática de celulosa a glucosa.

- 15 La figura 2 es un diagrama de flujo que ilustra la conversión de una materia prima en etanol mediante la producción y transporte de una solución de glucosa. La figura 2A es un diagrama que ilustra un sistema de sacarificación de acuerdo con una realización.

La figura 3 es un diagrama esquemático de una instalación de fabricación de etanol que ha sido retroalimentada para utilizar las soluciones y suspensiones desveladas en esta invención.

Las figuras 4 y 4A son diagramas que ilustran el flujo del chorro que sale de una boquilla.

- 20 La figura 5 es el diagrama de una vista en perspectiva de un agitador de flujo de chorro de acuerdo con una realización. La figura 5A es una vista en perspectiva ampliada del impulsor y el tubo del agitador de flujo de chorro de la figura 5. La figura 5B es una vista en perspectiva ampliada de un impulsor alternativo.

La figura 6 es un diagrama de una boquilla de la mezcla por chorro de la cámara de succión de acuerdo con una realización. La figura 6A es una vista en perspectiva de un sistema de mezcla por chorro de la cámara de succión de acuerdo con otra realización.

- 25 La figura 7 es una vista en perspectiva esquemática de una boquilla de la mezcla por chorro para un sistema de mezcla por chorro de la cámara de succión de acuerdo con otra realización alternativa.

La figura 8 es una vista en perspectiva esquemática de un tanque y un sistema de mezcla de tipo de aireación de chorro posicionado en el tanque, mostrándose el tanque transparente para permitir que se vean el mezclador de chorro y la tubería asociada. La figura 8A es una vista en perspectiva del mezclador de chorro usado en el sistema de aireación de chorro de la figura 8. La figura 8b es una vista en perspectiva esquemática de un sistema similar en el que se proporciona una toma de aire.

- 30 La figura 9 es una vista en sección transversal de un mezclador de tipo de aireación de chorro de acuerdo con una realización.

- 35 La figura 10 es una vista en sección transversal de un mezclador de tipo de aireación de chorro de acuerdo con una realización alternativa.

Las figuras 11-13 son diagramas que ilustran patrones de flujo alternativos en tanques que contienen diferentes configuraciones de mezcladores de chorro.

- 40 La figura 14 es un diagrama que ilustra el patrón de flujo que se produce en un tanque durante el retrolavado de acuerdo con una realización.

Las figuras 15 y 15A muestran un camión cisterna y un vagón de ferrocarril, respectivamente, configurados para la mezcla intransitiva utilizando un sistema de mezcla portátil de aire pulsado.

Las figuras 16 y 16A son vistas en perspectiva de dos realizaciones de cabezas mezcladoras usadas en un mezclador de acuerdo con una realización alternativa.

- 45 La figura 17 es una vista lateral de un sistema de tipo de aireación de chorro de acuerdo con otra realización, que muestra una disposición multinivel de boquillas en un tanque.

Las figuras 18 y 18A son una vista superior diagramática y una vista en perspectiva, respectivamente, de un dispositivo que minimiza la retención a lo largo de las paredes de un tanque durante la mezcla.

- 50 Las figuras 19, 20 y 21-21A son vistas de varios dispositivos de chorro de agua que proporcionan mezclas mientras que también minimizan la retención a lo largo de las paredes del tanque.

Las figuras 22 es una vista en sección transversal de un tanque que tiene un fondo abovedado y dos mezcladores de chorro que se extienden dentro del tanque desde arriba.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

55

Usando los procedimientos descritos en la presente invención, la biomasa (p. ej., biomasa vegetal, biomasa animal y biomasa residual municipal) puede procesarse para producir productos intermedios y productos útiles tales como los descritos en la presente invención. Los sistemas y procesos que se describen en la presente invención se pueden usar como materiales celulósicos y/o lignocelulósicos de materias primas que están fácilmente disponibles, pero que pueden ser difíciles de procesar mediante procedimientos tales como la fermentación. Muchos de los procesos

60

descritos en la presente invención pueden reducir de forma efectiva el grado de recalcitrancia de la materia prima, haciéndola más fácil de procesar, tal como mediante bioprocesamiento (p. ej., con cualquier microorganismo descrito en esta invención, tal como un homoacetógeno o un heteroacetógeno y/o cualquier enzima descrita en esta invención), procesamiento térmico (p. ej., gasificación o pirólisis) o procedimientos químicos (p. ej., hidrólisis ácida u oxidación). La materia prima de biomasa se puede tratar o procesar usando uno o más de cualquiera de los procedimientos descritos en el presente documento, tales como tratamiento mecánico, tratamiento químico, radiación, sonicación, oxidación, pirólisis o explosión por vapor. Los diversos sistemas de tratamiento y procedimientos se pueden usar en combinaciones de dos, tres, o incluso cuatro o más de estas tecnologías u otras descritas en el presente u otros documentos.

10

Los procesos desvelados en la presente invención pueden utilizar materiales de densidad aparente baja, por ejemplo, materias primas celulósicas o lignocelulósicas, que se han pretratado físicamente para que tengan una densidad aparente inferior a aproximadamente $0,5 \text{ g/cm}^3$, p. ej., inferior a aproximadamente $0,35 \text{ g/cm}^3$, $0,25 \text{ g/cm}^3$, $0,20 \text{ g/cm}^3$, $0,15 \text{ g/cm}^3$, $0,10 \text{ g/cm}^3$, $0,05 \text{ g/cm}^3$ o inferior, p. ej., $0,025 \text{ g/cm}^3$. La densidad aparente se determina usando la norma ASTM D1895B. En resumen, el procedimiento implica el relleno de un cilindro de medición de volumen conocido con una muestra y la obtención de un peso de la muestra. La densidad aparente se calcula dividiendo el peso de la muestra en gramos por el volumen conocido del cilindro en centímetros cúbicos.

Con el fin de convertir la materia prima en una forma que se pueda procesar fácilmente, la celulosa, que contiene glucanos o xilanos, de la materia prima se hidroliza a carbohidratos de bajo peso molecular, tales como azúcares, mediante un agente sacarificante, por ejemplo, una enzima o un ácido, procedimiento que se conoce como sacarificación. A continuación, los carbohidratos de bajo peso molecular se pueden usar, por ejemplo, en una planta de fabricación existente, tal como una planta de proteínas unicelulares, una planta de fabricación de enzimas o una planta de combustible, por ejemplo, una instalación de fabricación de etanol.

25

Los materiales que incluyen celulosa se pueden tratar con el agente sacarificante combinando el material y el agente sacarificante en un medio líquido, p. ej., un disolvente tal como una solución acuosa. El agente sacarificante, el material y el medio líquido se mezclan completamente, usando uno o más mezcladores que tienen las características de mezcla descritas en esta invención, p. ej., uno o más mezcladores de chorro. En algunas implementaciones, el material y/o el agente sacarificante se añaden gradualmente en lugar de en una sola vez. Por ejemplo, una parte del material se puede añadir al medio líquido y mezclarse con el agente sacarificante hasta que el material se sacrifique al menos parcialmente, momento en el que se agrega una segunda parte del material a la mezcla. Este proceso puede continuar hasta que se obtenga una concentración de azúcar deseada.

Las enzimas y los organismos destructores de biomasa que descomponen la biomasa, tal como las partes de celulosa y/o lignina de la biomasa, contienen o fabrican diversas enzimas celulolíticas (celulasas), ligninasas o diversos metabolitos destructores de moléculas de biomasa pequeñas. Estas enzimas pueden ser un complejo enzimático que actúe sinérgicamente para degradar la celulosa cristalina o las partes de lignina de la biomasa. Los ejemplos de enzimas celulolíticas incluyen: endoglucanasas, celobiohidrolasas y celobiasas (β -glucosidasas). Con referencia a la figura 1, inicialmente se hidroliza un sustrato celulósico mediante endoglucanasas en posiciones aleatorias para producir productos intermedios oligoméricos. A continuación, estos productos intermedios son sustratos para glucanasas de fragmentación exógenas, tales como la celobiohidrolasa, que producen celobiosa a partir de los extremos del polímero de celulosa. La celobiosa es un dímero hidrosoluble de la glucosa formado con enlace 1,4-glucosídico. Finalmente, la celobiasa escinde la celobiosa para producir glucosa. Las celulasas adecuadas se comentarán en el presente documento en una sección posterior.

El proceso de sacarificación se puede realizar parcial o completamente (a) en un tanque (p. ej., un tanque que tenga un volumen de al menos 4000, 40.000, 400.000, 4.000.000 o 40.000.000 L) en una planta de fabricación, y/o (b) en tránsito, p. ej., en un vagón de ferrocarril, un camión cisterna o en un superpetrolero o en la bodega de un barco. El tiempo requerido para completar la sacarificación dependerá de las condiciones de proceso y de la materia prima y enzima usadas. Si se efectúa la sacarificación en una planta de fabricación en condiciones controladas, la celulosa puede convertirse de forma sustancialmente completa en glucosa y xilosa en aproximadamente 12-96 horas. Si la sacarificación se realiza parcial o completamente en tránsito, la sacarificación puede requerir más tiempo.

En algunos casos, la sacarificación se realiza a un pH de aproximadamente 4 a 7, p. ej., aproximadamente 4,5 a 6, o aproximadamente 5 a 6.

Generalmente, se prefiere que la concentración final de glucosa en la solución de azúcar sea relativamente alta, por ejemplo, superior al 15 % en peso, o superior al 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 o incluso superior al 95 % en peso. Esto reduce el volumen de envío e inhibe el crecimiento microbiano en la solución. Tras la sacarificación, el volumen

60

de agua se puede reducir, por ejemplo, mediante evaporación o destilación.

Puede obtenerse una concentración relativamente alta limitando la cantidad de agua añadida a la materia prima con la enzima. La concentración también se puede controlar controlando la cantidad de sacarificación que tiene lugar.

- 5 Por ejemplo, la concentración se puede aumentar añadiendo más materia prima a la solución. La solubilidad de la materia prima en el medio se puede aumentar, por ejemplo, aumentando la temperatura de la solución y/o añadiendo un tensioactivo, tal y como se comentará más adelante. Por ejemplo, la solución se puede mantener a una temperatura de 40-50 °C, 50-60 °C, 60-80 °C o incluso superior.
- 10 Con referencia a la figura 2, un proceso para fabricar un alcohol, p. ej., etanol, puede incluir, por ejemplo, opcionalmente pretratar físicamente la materia prima, p. ej., para reducir su tamaño (etapa 110), antes y/o después de este tratamiento, opcionalmente tratar la materia prima para reducir su recalcitrancia (etapa 112) y sacarificar la materia prima para formar una solución de azúcar (etapa 114). La sacarificación se puede realizar mediante mezcla de una dispersión de la materia prima en un medio líquido, por ejemplo, agua, con una enzima (etapa 111), tal y
- 15 como se comentará detalladamente más adelante. Durante, o después de, la sacarificación, la mezcla (si la sacarificación se va a completar parcialmente o completamente en ruta) o solución se pueden transportar, por ejemplo, mediante una tubería, vagón de ferrocarril, camión o barcaza, a una planta de fabricación (etapa 116). En la planta, la solución se puede bioprocesar para producir un producto deseado, por ejemplo, etanol (etapa 118), que, a continuación, se procesará adicionalmente mediante, por ejemplo, destilación (etapa 120). Las etapas individuales de este procedimiento se describirán detalladamente más adelante. Si se desea, las etapas de medición del contenido de lignina (etapa 122) y configuración o ajuste de los parámetros de proceso (etapa 124) se pueden realizar en diversas etapas del procedimiento, por ejemplo, justo antes de la(s) etapa(s) del procedimiento usadas para cambiar la estructura de la materia prima, tal y como se muestra. Si se incluyen estas etapas, se ajustan los parámetros de proceso para compensar la variabilidad del contenido de lignina de la materia prima, como se
- 20 describe en la solicitud de aplicación provisional de Estados Unidos con número 61/151.724, presentada el 11 de febrero de 2009, cuya divulgación completa se incorpora en esta invención como referencia.

La etapa de mezclado 111 y la etapa de sacarificación 114 pueden realizarse usando, por ejemplo, el sistema mostrado en la figura 2A. Este sistema incluye un transportador 130, que recibe materia prima que ha sido tratada

30 para reducir su tamaño y opcionalmente para reducir su resistencia (etapas 110 y 112 anteriores) mediante un módulo de pretratamiento de materia prima 132. La materia prima 134 se suministra a un tanque 136, que contiene un medio líquido 138, p. ej., agua, que se suministra al tanque a través de un sistema de tubería con válvula (no mostrado). Se puede usar un sistema de dispersión para facilitar la dispersión inicial de la materia prima en el medio líquido, p. ej., como se describe en la solicitud provisional de Estados Unidos n.º 61/296.658, presentada el

35 miércoles, 20 de enero de 2010.

Se suministra un agente sacarificante al tanque desde una tolva 140 que incluye un dispositivo de medición 142. El contenido del tanque se mezcla mediante uno o más mezcladores de chorro. En la figura 2A, se representa esquemáticamente un mezclador de chorro 144; a continuación, se describirán en detalle ejemplos de mezcladores de chorro adecuados. El mezclador de chorro produce un chorro usando un motor (146) que acciona una bomba y/o

40 un rotor (no mostrado). El par de torsión ejercido por el motor (146) se correlaciona con la concentración de sólidos de la mezcla del tanque, la cual, a su vez, refleja el grado de sacarificación de la mezcla. El par de torsión se mide mediante un monitor de par de torsión (148), que envía una señal a un motor (150) que acciona el transportador (130) y al dispositivo de medición (142) de la tolva (140). Por tanto, el suministro de la materia prima tratada y la enzima se puede interrumpir y retomar en función de la sacarificación del contenido del tanque. Los datos medidos

45 por el monitor de par de torsión también se pueden usar para ajustar el mezclador de chorro, por ejemplo, a menos rpm para un mezclador que utiliza un rotor, o a una velocidad de chorro inferior para un mezclador accionado por bomba. En lugar de, o además de, el monitor de par de torsión, el sistema puede incluir un monitor de amperaje (no mostrado) que mida el amperaje del motor a plena carga. En algunos casos, el mezclador de chorro incluye un accionador de frecuencia variable (VFD) para permitir ajustar la velocidad del motor.

50 El sistema también puede incluir un monitor térmico (no mostrado) que monitorice la temperatura del medio líquido y ajuste la velocidad de alimentación de la materia prima y/o las condiciones de mezcla en respuesta a los incrementos de temperatura. Tal circuito de retroalimentación en función de la temperatura se puede usar para evitar que el medio líquido alcance una temperatura que desnaturalice la enzima.

55 Cuando se usan una o más bombas en los sistemas descritos en la presente invención, generalmente, se prefiere usar bombas de desplazamiento positivo (PD), por ejemplo, bombas de cavidad progresiva o bombas PD de tipo tornillo.

60 En algunos casos, la planta de fabricación puede ser, por ejemplo, una planta de fabricación de etanol a partir de

grano o a partir de azúcar ya existente o una planta adaptada mediante eliminación o desmantelamiento de los equipos aguas arriba del sistema de bioprocesamiento (que, en una planta de etanol típica, generalmente, incluye un equipo de recepción del grano, un molino de martillos, un mezclador de suspensiones acuosas, un equipo de cocina y un equipo de licuefacción). Por lo tanto, la materia prima recibida en la planta se introduce directamente en el equipo de fermentación. En la figura 3, se muestra esquemáticamente una planta. El uso de una planta de fabricación de etanol a partir de grano o azúcar ya existente de esta forma se describe en la solicitud de Estados Unidos de n.º de serie 12/704.521, presentada el 11 de febrero de 2010.

En algunas realizaciones, en lugar de transportar la materia prima sacarificada (solución de azúcar) a una planta de fabricación independiente, o incluso a un tanque independiente, la solución de azúcar se inocula y fermenta en el mismo tanque u otro recipiente usado para la sacarificación. La fermentación se puede completar en el mismo recipiente o se puede empezar de esta forma y, a continuación, completar durante el transporte tal y como se ha descrito anteriormente. La sacarificación y la fermentación en un solo tanque se describen en la aplicación provisional de Estados Unidos n.º 61/296.673, presentada el miércoles, 20 de enero de 2010.

Generalmente, debe controlarse el nivel de oxígeno en el recipiente de fermentación, p. ej., controlando el nivel de oxígeno y ventilando el tanque o aireando la mezcla según sea necesario. También es deseable monitorizar la concentración de etanol en el recipiente de tal forma que, cuando la concentración de etanol comience a caer, el proceso de fermentación se pueda detener, por ejemplo, mediante calentamiento o adición de bisulfito sódico. Otros procedimientos de detención de la fermentación incluyen la adición de un peróxido (por ejemplo, ácido peroxiacético o peróxido de hidrógeno), la adición de ácido succínico o una sal del mismo, la refrigeración del contenido del recipiente o la reducción de la velocidad de inyección de oxígeno. Se pueden usar combinaciones de cualquiera de estos dos o más procedimientos. Si la fermentación se va a llevar a cabo o completar durante el transporte, el recipiente de transporte (por ejemplo, el tanque de un vagón de ferrocarril o camión cisterna) se puede equipar con una unidad de control, que incluye un monitor de oxígeno y un monitor de etanol, y un sistema de suministro de bisulfito sódico (u otro aditivo de terminación de la fermentación) al tanque y/o un sistema de ajuste de los parámetros del tanque para detener la fermentación.

Si se desea, se puede utilizar la agitación por chorro durante la fermentación y, si la fermentación se lleva a cabo en el mismo recipiente que la sacarificación, se puede utilizar el mismo equipo. Sin embargo, en algunas realizaciones la agitación por chorro no es necesaria. Por ejemplo, si la fermentación se lleva a cabo durante el transporte, el movimiento del vagón de ferrocarril o el camión cisterna puede aportar la agitación adecuada.

MEZCLA DE LA MATERIA PRIMA. ENZIMA Y LÍQUIDO

Características de la mezcla

A continuación, se describen varios tipos de mezcla, y se pueden usar otros dispositivos de mezcla. Los mezcladores adecuados tienen en común que producen flujo circulante a alta velocidad, por ejemplo, flujo con un patrón toroidal o elíptico. Generalmente, los mezcladores preferidos exhiben una elevada velocidad de flujo volumétrico. Los mezcladores preferidos permiten esta acción de mezcla con un consumo de energía relativamente bajo. Generalmente, también se prefiere que el mezclador produzca un cizallamiento relativamente bajo y evite el calentamiento del medio líquido, ya que el cizallamiento y/o el calor pueden afectar de forma perjudicial al agente sacarificante (o microorganismo, por ejemplo, en el caso de fermentación). Tal y como se comentará detalladamente más adelante, algunos mezcladores preferidos dirigen la mezcla a través de una entrada al interior del elemento mezclador, que puede incluir un rotor o impulsor, y, a continuación, expelen la mezcla desde el elemento mezclador a través de una boquilla de salida. Esta acción circulante, y la alta velocidad del chorro que sale de la boquilla, ayudan a dispersar el material que flota en la superficie del líquido o el material que se ha depositado en el fondo del tanque, dependiendo de la orientación del elemento mezclador. Los elementos mezcladores se pueden colocar en diferentes orientaciones para dispersar tanto el material flotante como el depositado, y la orientación de los elementos mezcladores, en algunos casos, puede ser ajustable.

En algunos sistemas de mezcla preferidos, la velocidad v_0 del chorro cuando se encuentra con el fluido ambiental es de aproximadamente 2 a 300 m/s, p. ej., de aproximadamente 5 a 150 m/s o de aproximadamente 10 a 100 m/s. El consumo energético del sistema de mezcla puede ser de aproximadamente 20 a 1000 kW, por ejemplo, de 30 a 570 kW, de 50 a 500 kW o de 150 a 250 kW para un tanque de 100.000 L. En general, se prefiere que el uso de potencia sea bajo en rentabilidad.

Mezcla por chorro

La mezcla por chorro implica la descarga de un chorro sumergido, o varios chorros sumergidos, de alta velocidad en un medio líquido, en este caso la mezcla de materia prima de biomasa, medio líquido y agente sacarificante. El

chorro de líquido penetra en el medio del fluido y su energía se disipa mediante turbulencia y algo de calor inicial. La turbulencia está asociada a gradientes de velocidad (cizallamiento del fluido). El fluido circundante se acelera y es arrastrado al interior del flujo del chorro, aumentando este flujo arrastrado secundario a medida que aumenta la distancia desde la boquilla del chorro. El momento del flujo secundario generalmente permanece constante a medida que el chorro se expande, siempre y cuando el chorro no impacte contra una pared, puerta u otro obstáculo. Cuanto más tiempo continúe el flujo sin impactar con algún obstáculo, más líquido será arrastrado al interior del flujo secundario, aumentando así el flujo volumétrico en el tanque o recipiente. Cuando encuentre un obstáculo, el flujo secundario perderá momento, más o menos en función de la geometría del tanque, por ejemplo, el ángulo en el que el flujo incide sobre el obstáculo. Generalmente, es deseable orientar los chorros y/o diseñar el tanque de modo que se minimicen las pérdidas hidráulicas a las paredes del tanque. Por ejemplo, puede ser deseable que el tanque tenga un fondo arqueado (por ejemplo, una placa de cabeza abovedada) y los mezcladores de chorro estén orientados relativamente cerca de las paredes laterales, como se muestra en la figura 22. El fondo del tanque (placa inferior de la cabeza) puede tener cualquier configuración abovedada deseada o puede tener una geometría cónica o elíptica.

15 La mezcla por chorro difiere de la mayoría de tipos de mezcla líquido/líquido y líquido/sólido en que la fuerza de accionamiento es hidráulica en lugar de mecánica. En lugar de someter el fluido a cizallamiento y propulsarlo alrededor del recipiente de mezcla, como hace un agitador mecánico, un mezclador de chorro fuerza el fluido a través de una o más boquillas en el interior del tanque, creando chorros de alta velocidad que arrastran otro fluido. El resultado es cizallamiento (fluido contra fluido) y circulación, lo cual mezcla el contenido del tanque eficientemente.

Haciendo referencia a la FIG. 4, el elevado gradiente de velocidad entre el flujo del núcleo procedente de un chorro sumergido y el fluido circundante crea remolinos. La figura 4A ilustra las características generales de un chorro sumergido. Puesto que el chorro sumergido se expande en el ambiente circundante, el perfil de velocidad se nivela a medida que la distancia (x) desde la boquilla aumenta. El gradiente de velocidad dv/dr también cambia con r (la distancia desde la línea central del chorro) a una distancia dada x, de forma que se crean remolinos que definen la zona de mezcla (la expansión cónica desde la boquilla).

En un estudio experimental de un chorro sumergido en aire (cuyos resultados son aplicables a cualquier fluido, incluyendo el agua), Albertson et al. ("Diffusion of Submerged Jets," Paper 2409, Amer. Soc. of Civil Engineers Transactions, Vol. 115:639-697, 1950, at p. 657) desarrollaron relaciones adimensionales para $v(x)_{r=0}/v_o$ (velocidad en la línea central), $v(r)_x/v(x)_{r=0}$ (perfil de velocidad a una x determinada), Q_x/Q_o (arrastré de flujo), y E_x/E_o (cambio de energía con x):

35 (1) velocidad en la línea central, $v(x)_{r=0}/v_o$:

$$\frac{v(r = 0)_x}{v_o} \frac{x}{D_o} = 6.2$$

40 (2) perfil de velocidad a cualquier x, $v(r)_x/v(x)_{r=0}$:

$$\log \left[\frac{v(r)_x}{v_o} \frac{x}{D} \right] = 0.79 - 33 \frac{r^2}{x^2}$$

(3) Flujo y energía a cualquier x:

45
$$\frac{Q_x}{Q_o} = 0.32 \frac{x}{D_o} \quad (10.21)$$

$$\frac{E_x}{E_o} = 4.1 \frac{D_o}{x} \quad (10.22)$$

donde:

50 $v(r = 0)$
= velocidad de la línea central del chorro sumergido (m/s),
 v_o

= velocidad del chorro a medida que sale de la boquilla (m/s),

x

= distancia desde la boquilla (m),

r

5 = distancia desde la línea central del chorro (m),

D_o

= diámetro de la boquilla (m),

Q_x

= flujo de fluido a través de cualquier plano determinado a una distancia x de la boquilla (m³/s),

10 Q_o

= flujo de fluido que sale de la boquilla (m³/s),

E

= flujo de energía del fluido a través de cualquier plano determinado a una distancia x de la boquilla (m³/s),

E_o

15 = flujo de energía del fluido que sale de la boquilla (m³/s).

("Water Treatment Unit Processes: Physical and Chemical," David W. Hendricks, CRC Press 2006, p. 411.)

20 La mezcla por chorro resulta especialmente rentable en aplicaciones con grandes volúmenes (superiores a 1000 gal) y bajas viscosidades (inferiores a 1000 cPs). También resulta generalmente ventajoso el hecho de que, en la mayoría de los casos, la bomba o el motor del mezclador de chorro no estén sumergidos, por ejemplo, cuando se usa una bomba, generalmente está colocada fuera del recipiente.

25 Una ventaja de la mezcla por chorro es que la temperatura del fluido ambiental (el que no es directamente adyacente a la salida de la boquilla, donde puede haber algo de calentamiento localizado) aumenta solo ligeramente, si es que lo hace. Por ejemplo, la temperatura puede aumentar menos de 5 °C, menos de 1 °C o no en un grado medible.

Agitadores de flujo de chorro

30

En las figuras 5-5A se muestra un tipo de agitador de flujo de chorro. Este tipo de mezclador está comercializado, por ejemplo, por IKA bajo el nombre comercial ROTOTRON™. Con referencia a la figura 5, el mezclador (200) incluye un motor (202) que rota un eje de accionamiento (204). Un elemento de mezcla (206) está montado en el extremo del eje de accionamiento (204). Como se muestra en la figura 5A, el elemento de mezcla (206) incluye un recubrimiento protector (208), y dentro del recubrimiento protector, un impulsor (210). Como indican las flechas, cuando el impulsor se gira en la dirección de "avance", el impulsor (210) dirige el líquido a través del extremo superior abierto (212) del recubrimiento protector y fuerza al líquido a salir a través del extremo inferior abierto (214). El líquido que sale por el extremo (214) lo hace en forma de corriente o chorro de alta velocidad. Si se invierte la dirección de rotación del impulsor (210), el líquido se puede dirigir a través del extremo inferior (214) y expulsar a través del extremo superior (212). Esto se puede usar, por ejemplo, para aspirar sólidos que estén flotando cerca de, o sobre, la superficie del líquido del tanque o recipiente. (Cabe señalar que "superior" e "inferior" se refieren a la orientación del mezclador en la figura 5, el mezclador puede orientarse en un tanque de modo que el extremo superior quede por debajo del extremo inferior).

45 El recubrimiento protector (208) incluye áreas acampanadas (216, 218) adyacentes a sus extremos. Se cree que estas áreas acampanadas contribuyen al flujo, generalmente toroidal, que se observa con este tipo de mezclador. La geometría del recubrimiento protector y el impulsor también concentra el flujo en una corriente de alta velocidad consumiendo relativamente poca energía.

50 Preferentemente, la holgura entre el recubrimiento protector (208) y el impulsor (210) es la suficiente como para evitar la molienda excesiva del material a medida que pasa a través del recubrimiento protector. Por ejemplo, la holgura puede ser de al menos 10 veces el tamaño medio de partícula de los sólidos de la mezcla, preferentemente de al menos 100 veces.

55 En algunas implementaciones, el eje (204) está configurado para permitir el suministro de gas a través del eje. Por ejemplo, el eje (204) puede incluir un cilindro (no mostrado) a través del que se suministra el gas, y uno o más orificios a través de los cuales sale el gas a la mezcla. Los orificios pueden estar en el interior del recubrimiento protector (208), para mejorar el mezclado, y/o en otras posiciones a lo largo de la longitud del eje (204).

60 El impulsor (210) puede tener cualquier geometría que se desee y que dirija el líquido a través del recubrimiento

protector a alta velocidad. El impulsor es preferentemente un impulsor marino, como se muestra en la figura 5A, pero puede tener un diseño diferente, por ejemplo, un impulsor Rushton como se muestra en la figura 5B, o un impulsor Rushton modificado, p. ej., inclinado para proporcionar algo de flujo axial.

5 Con el fin de generar el flujo de alta velocidad a través del recubrimiento protector, el motor (202) es preferentemente un motor de alta velocidad y alto par de torsión, por ejemplo, capaz de funcionar de 500 a 20.000 rpm, por ejemplo, de 3.000 a 10.000 rpm. Sin embargo, cuanto mayor sea el mezclador (por ejemplo, cuanto mayor sea el recubrimiento protector y/o mayor sea el motor), menor velocidad de rotación se conseguirá. Por tanto, si se usa un mezclador grande, tal como un 5 hp, 10 hp, 20 hp, o 30 hp o mayor, el motor puede estar diseñado para
10 operar a velocidades de rotación más bajas, por ejemplo, inferiores a 2000 rpm, inferiores a 1500 rpm o incluso a 500 rpm o menos. Por ejemplo, un mezclador dimensionado para mezclar un tanque de 10 000-20 000 litros, puede operar a velocidades de 900 a 1200 rpm. Preferentemente, el par de torsión del motor es autoajustable para mantener una velocidad del impulsor relativamente constante, ya que las condiciones de mezcla cambian con el tiempo, por ejemplo, debido a la sacarificación de los sólidos.

15 Ventajosamente, el mezclador se puede orientar a cualquier ángulo o posición deseados en el tanque para dirigir el flujo del chorro en una dirección deseada. Asimismo, tal y como se ha comentado anteriormente, dependiendo de la dirección de rotación del impulsor, el mezclador se puede usar para dirigir el fluido desde ambos extremos del recubrimiento protector.

20 En algunas implementaciones, se colocan dos o más mezcladores de chorro en el recipiente, estando uno o más configurados para impulsar el fluido hacia arriba («bombeo hacia arriba») y uno o más configurados para impulsar el fluido hacia abajo («bombeo hacia abajo»). En algunos casos, un mezclador de bombeo hacia arriba se puede colocar adyacente a un mezclador de bombeo hacia abajo para potenciar el flujo turbulento creado por los
25 mezcladores. Si se desea, se pueden cambiar uno o más mezcladores entre flujo hacia arriba y flujo hacia abajo durante el procesamiento. Puede ser favorable cambiar todos o la mayoría de los mezcladores al modo de bombeo hacia arriba durante la dispersión inicial de la materia prima en el medio líquido, especialmente si la materia prima se vuelca o se sopla sobre la superficie del líquido, ya que el bombeo hacia arriba crea turbulencias significativas en la superficie. También se puede usar el bombeo hacia arriba durante la fermentación para ayudar a eliminar el CO₂ del
30 líquido haciendo burbujear el gas hacia la superficie desde la cual puede ser ventilado.

Mezcladores de chorro de la cámara de succión

Otro tipo de mezclador de chorro incluye una boquilla primaria que suministra un fluido presurizado de una bomba,
35 una entrada de succión adyacente a la boquilla primaria a través de la cual fluye el fluido ambiental entre la boquilla primaria y la entrada más ancha, y una cámara de succión que se extiende entre la entrada de succión y una boquilla secundaria. Un chorro de fluido a alta velocidad sale de la boquilla secundaria.

En la figura 6 se muestra un ejemplo de este tipo de mezclador. Como se muestra, en el mezclador (600) el líquido
40 presurizado de una bomba (no mostrada) fluye a través de un conducto de entrada (602) y sale a través de una boquilla primaria (603). El líquido del ambiente es aspirado a través de una entrada de succión (604) a la cámara de succión (606) mediante la caída de presión causada por el flujo de líquido presurizado. El flujo combinado sale de la cámara de succión al líquido del ambiente a alta velocidad a través de la boquilla secundaria (608). La mezcla se produce tanto en la cámara de succión como en el líquido del ambiente debido a la acción de chorro del chorro de
45 líquido que sale.

En la figura 6A se muestra un sistema de mezcla que funciona de acuerdo con un principio similar. Los mezcladores que incorporan este diseño están disponibles comercialmente en ITT Water and Wastewater, bajo el nombre comercial de mezcladores de chorro Flygt™. En el sistema (618), la bomba (620) genera un flujo primario que se
50 suministra al tanque (no mostrado) a través de un sistema de boquilla de succión (622). El sistema de boquilla de aspiración (622) incluye una boquilla primaria (624) que funciona de manera similar a la boquilla primaria (603) descrita anteriormente, haciendo que el fluido del ambiente sea arrastrado al extremo abierto adyacente (626) del tubo eyector (628) debido a la caída de presión inducida por el fluido que sale del boquilla primaria. El flujo combinado sale entonces del otro extremo (630) del tubo eyector (628), que funciona como una boquilla secundaria,
55 como un chorro de alta velocidad.

La boquilla que se muestra en la figura 7, conocida como boquilla educadora, funciona bajo un principio similar. Una boquilla que incorpora este diseño está disponible comercialmente con el nombre comercial TeeJet®. Como se muestra, en la boquilla (700) el líquido presurizado fluye a través de una entrada (702) y sale de una boquilla
60 principal (704), arrastrando el fluido ambiental hacia el extremo abierto (706) de un difusor (708). El flujo combinado

sale del extremo abierto opuesto (710) del difusor a un caudal de circulación $A + B$ que es la suma del caudal de entrada A y el caudal B del fluido ambiente arrastrado.

Mezcladoras tipo de aireación de chorro

5

Otro tipo de sistema de mezcla de chorro que puede utilizarse se denomina en la industria de aguas residuales como "mezcla de aireación de chorro". En la industria del agua residual, estos mezcladores se usan generalmente para suministrar un chorro de aire presurizado y una mezcla líquida, para proporcionar aireación. Sin embargo, en la presente solicitud, en algunos casos, los mezcladores del tipo de aireación de chorro se utilizan sin gas presurizado, como se analizará a continuación. Los principios de funcionamiento de los mezcladores de aireación de chorro se describirán inicialmente en el contexto de su uso con gas presurizado, para mayor claridad.

10

Un mezclador de chorro de remolino, como el mezclador (800) mostrado en las figuras 8-8B, incluye múltiples chorros (802) montados en un patrón radial en un cubo central (804). El patrón radial de los chorros distribuye uniformemente la energía de mezcla en todo el tanque. El mezclador de chorro de remolino puede colocarse centralmente en un tanque, como se muestra, para proporcionar un flujo toroidal alrededor del eje central del tanque. El mezclador de chorro de remolino se puede montar en la tubería (806), que suministra líquido a alta velocidad al mezclador de chorro de agua. En la realización mostrada en la figura 8B, también se suministra aire al mezclador de chorro de remolino a través de la tubería (812). El líquido de alta velocidad se suministra mediante una bomba (808) que se coloca fuera del tanque y que atrae líquido a través de una entrada (810) en la pared lateral del tanque.

15

20

Las figuras 9 y 10 muestran dos tipos de configuraciones de boquilla diseñadas para mezclar un gas y una corriente de líquido y expulsar un chorro de alta velocidad. Estas boquillas están configuradas de forma algo diferente de la mezcladora de chorro de remolino que se muestra en las figuras 8 y 8A, pero funcionan de manera similar. En el sistema (900) que se muestra en la figura 9, un fluido primario o motriz se dirige a través de una línea de líquido (902) a las boquillas internas (904) a través de las cuales el líquido se desplaza a alta velocidad dentro de un área de mezclado (906). Un segundo fluido, p. ej., un gas, tal como aire comprimido, nitrógeno o dióxido de carbono, o un líquido, entra al área de mezclado a través de una segunda línea (908) y es arrastrado al fluido motor que entra al área de mezclado (906) a través de las boquillas internas. En algunos casos, el segundo fluido es nitrógeno o dióxido de carbono para reducir la oxidación de la enzima. El flujo combinado de las dos líneas se inyecta en el tanque de mezclado a través de las boquillas exteriores (910). Si el segundo fluido es un gas, pequeñas burbujas quedan atrapadas en el líquido de la mezcla. El líquido se suministra a la línea de líquido (902) mediante una bomba. El gas, si se usa, lo proporcionan los compresores. Si se usa un líquido como el segundo fluido, puede tener la misma velocidad que el líquido que entra a través de la línea de líquido (902), o una velocidad diferente.

35

La figura 10 muestra un diseño de boquilla alternativa (1000), en el que las boquillas externas (1010) (de las que solo se muestra una) están colocadas a lo largo de un miembro alargado (1011) que incluye una línea de líquido (1002) que está colocada paralela a una segunda línea (1008). Cada boquilla incluye una sola boquilla externa (1010) y una única boquilla interna (1004). La mezcla del líquido de motivo con el segundo fluido procede de la misma manera que en el sistema (900) descrito anteriormente.

40

Las figuras 11 y 12 ilustran ejemplos de sistemas de mezcla del tipo de aireación de chorro en los que las boquillas están situadas a lo largo de la longitud de un miembro alargado. En el ejemplo mostrado en la figura 11, el miembro alargado (1102) está colocado a lo largo del diámetro del tanque (1104), y las boquillas (1106) se extienden en direcciones opuestas desde la boquilla para producir el patrón de flujo indicado que incluye dos áreas de flujo generalmente elíptico, uno a cada lado del alargado central miembro. En el ejemplo mostrado en la figura 12, el tanque (1204) es generalmente rectangular en sección transversal, y el miembro alargado (1202) se extiende a lo largo de una pared lateral (1207) del tanque. En este caso, las boquillas (1206) miran todas en la misma dirección, hacia la pared lateral opuesta (1209). Esto produce el patrón de flujo mostrado, en el que el flujo en el tanque es generalmente elíptico alrededor de un eje principal que se extiende generalmente centralmente a lo largo de la longitud del tanque. En la realización mostrada en la figura 12, las boquillas pueden estar inclinadas hacia el suelo del tanque, por ejemplo, en un ángulo de aproximadamente 15 a 30 grados desde la horizontal.

45

50

En otra realización, mostrada en la figura 13, las boquillas (1302), (1304), y la entrada de succión (1306) están dispuestas para hacer que el contenido del tanque gire y gire en una configuración de rosca rodante toroidal alrededor de un eje vertical central del tanque. El flujo alrededor de la superficie del toroide se hace descender por el centro del tanque, a lo largo del suelo, por las paredes y de regreso al centro, creando un patrón de hélice rodante que barre el centro y evita que los sólidos se asienten. El patrón toroidal también es efectivo para mover sólidos flotantes al centro del tanque, donde son arrastrados hacia abajo y se vuelven homogéneos con el contenido del tanque. El resultado es un patrón de flujo helicoidal continuo, que minimiza los puntos muertos del tanque.

55

60

Retrolavado

En algunos casos, las boquillas de chorro descritas en esta invención pueden obstruirse, lo que puede reducir la eficacia y la rentabilidad. La obstrucción de las boquillas puede eliminarse invirtiendo el flujo del líquido motriz a través de la boquilla. Por ejemplo, en el sistema mostrado en la figura 14, esto se realiza cerrando una válvula (1402) entre la bomba (1404) y la línea de líquido (1406) que fluye hacia las boquillas (1408), y activando una bomba secundaria (1410). La bomba secundaria (1410) aspira fluido a través de las boquillas. El fluido viaja después hacia arriba a través del tubo vertical (1412) debido a que la válvula (1402) está cerrada. El fluido sale del tubo vertical (1412) en su salida (1414) para la recirculación a través del tanque.

Mezcla en mezcladores portátiles/de tránsito

Como se indicó anteriormente, si la sacarificación deseada puede tener lugar en parte o completamente durante el transporte de la mezcla, p. ej., entre una primera planta de procesamiento para tratar la materia prima y una segunda planta de procesamiento para la producción de un producto final como etanol. En este caso, la mezcla se puede realizar usando un mezclador de chorro diseñado para vagones u otro uso portátil. A continuación, se analizarán ejemplos de tales mezcladores. Como se muestra esquemáticamente en las figuras 15 y 15A, los mezcladores (1602), (1604) pueden insertarse a través de un orificio (1606) en un tanque, por ejemplo, de un camión (FIG. 15) o un vagón de ferrocarril (figura 15A). El mezclador puede funcionar utilizando un sistema de control (1608) externo al tanque, que puede incluir, por ejemplo, un motor y/o un suministro o aire comprimido, dependiendo del tipo de sistema de mezcla utilizado, y un controlador configurado para controlar el funcionamiento del mezclador. También se puede proporcionar ventilación (no se muestra).

25 Otros sistemas de mezcla/boquillas

Aire/fluido pulsado

Un tipo alternativo de mezclador utiliza un gas suministrado en pulsos a la mezcla. Tal mezclador se muestra esquemáticamente en las figura 15 y 15A, como ejemplo de un mezclador de vagones portátil. Se inyectan o pulsan cantidades medidas de gas a alta presión bajo discos redondos planos (placas de acumuladores) colocados cerca del fondo del tanque. La repentina liberación de aire golpea el líquido. A medida que el gas se mueve hacia afuera entre la placa y el suelo del tanque, barre los sólidos que se han asentado. El gas luego se acumula sobre la placa en grandes burbujas de forma ovalada. A medida que cada burbuja sube a la superficie, empuja el líquido hacia arriba y hacia afuera, hacia el perímetro del tanque. El líquido se mueve hacia los lados del tanque y viaja por la pared del tanque hasta el fondo. Este movimiento de las burbujas fuerza a los sólidos a la superficie y crea una circulación de líquido generalmente circular o toroidal en el tanque. El gas puede ser, por ejemplo, aire, nitrógeno o dióxido de carbono. El tanque está ventilado (no se muestra) para permitir que el gas escape del tanque durante la mezcla.

40 Agitadores de baja velocidad

Las figuras 16 y 16A ilustran agitadores configurados para montarse en un eje (no mostrado) para la mezcla giratoria a velocidades relativamente bajas. Los agitadores pueden incluir, por ejemplo, dos elementos mezcladores (1702) (figura 16), o tres elementos mezcladores (figura 16A), montados en brazos de soporte (1701) alrededor de un cubo central de montaje (1703) que está dispuesto para recibir un eje.

Los elementos de mezcla (1702) están en forma de conos truncados, cada uno de los cuales tiene un primer extremo (1704) y un segundo extremo (1706). El primer extremo tiene una sección transversal mayor que la sección transversal del segundo extremo. Los elementos de mezcla se colocan de manera que los ejes centrales de los elementos de mezcla se disponen en un ángulo con respecto a un plano de rotación de los elementos de mezcla.

El agitador se gira en una dirección para que el líquido fluya a través del primer extremo (1704) y salga por el segundo extremo (1706) a una velocidad mayor, creando condiciones de flujo dinámico generando un flujo turbulento en el extremo cónico de cada elemento de mezcla. La angulación de los elementos de mezcla con relación al plano de rotación tiende a provocar un flujo circular cerrado continuo que fluye hacia arriba en la proximidad de un tanque adyacente o pared del recipiente hacia arriba y en la parte central del tanque o contenedor fluye hacia abajo coaxialmente al eje del mezclador donde pasa a través de los espacios intermedios entre los brazos de soporte (1701). La intensidad de este flujo circular depende de la magnitud del ángulo.

60 Mezcladores de este tipo están disponibles comercialmente en Inotec con el nombre comercial Visco-Jet™. Hay

disponibles mezcladoras plegables que pueden colocarse en vagones u otros contenedores de transporte. Un tipo similar de mezclador se describe en la patente de Estados Unidos n.º 6.921.194, cuya divulgación completa se incorpora en esta invención como referencia.

5 **Minimizar la espera en las paredes del tanque**

En algunas situaciones, en particular a niveles de sólidos que se aproximan a un límite teórico o práctico, el material puede acumularse a lo largo de la pared lateral y/o la pared inferior del tanque durante la mezcla. Este fenómeno, denominado "retención", no es deseable ya que puede dar lugar a una mezcla inadecuada. Se pueden tomar varios
10 enfoques para minimizar la retención y asegurar una buena mezcla en todo el tanque.

Por ejemplo, además del/de los dispositivo(s) de mezcla de chorro, el tanque puede equiparse con un dispositivo de raspado, por ejemplo, un dispositivo que tiene una cuchilla que raspa el costado del tanque en forma de "escobilla de goma". Dichos dispositivos son bien conocidos, por ejemplo, en la industria láctea. Los agitadores adecuados
15 incluyen agitadores de barrido lateral e inferior y agitadores de cuchillas raspadoras fabricados por Walker Engineered Products, New Lisbon, WI. Como se muestra en la figura 18, un agitador de barrido lateral e inferior (1800) puede incluir un miembro alargado central (1802), montado para girar alrededor del eje del tanque. Las hojas raspadoras (1804) de pared lateral están montadas en cada extremo del miembro alargado (1802) y están dispuestas formando un ángulo con respecto al miembro alargado. En la realización mostrada, un par de cuchillas
20 raspadoras de pared inferior (1806) están montadas en un punto intermedio en el elemento alargado (1802), para raspar cualquier material que se acumule en el fondo del tanque. Estos raspadores se pueden omitir si el material no se acumula en el fondo del tanque. Como se muestra en la figura 18A, las cuchillas raspadoras (1804) pueden estar en forma de una pluralidad de elementos raspadores colocados a lo largo de la pared lateral. En otras realizaciones, las cuchillas raspadoras son continuas, o pueden tener cualquier otra geometría deseada.
25

En otras realizaciones, el mezclador de chorro en sí mismo está configurado para minimizar la retención. Por ejemplo, el mezclador de chorro puede incluir una o más cabezas móviles y/o porciones flexibles que se mueven durante la mezcla. Por ejemplo, el mezclador de chorro puede incluir un miembro giratorio alargado que tiene una pluralidad de boquillas de chorro a lo largo de su longitud. El miembro alargado puede ser plano, como se muestra
30 en la figura 19, o tiene una forma no plana, p. ej., puede ajustarse a la forma de las paredes del tanque como se muestra en la figura 20.

Con referencia a la figura 19, las boquillas mezcladoras de chorro pueden posicionarse en un miembro alargado giratorio (1900) que es accionado por un motor (1902) y un eje (1904). El agua u otro fluido se bombea a través de
35 pasos en el elemento giratorio, p. ej., mediante un impulsor de bomba (1906), y sale como una pluralidad de chorros a través de los orificios de chorro (1908) mientras gira el elemento (1900). Para reducir la retención en las paredes laterales del tanque, los orificios (1910) pueden estar provistos en los extremos del miembro (1900).

En la realización mostrada en la figura 20, para ajustarse a la forma particular del tanque (2000), el miembro
40 alargado incluye brazos que se extienden horizontalmente (2002), partes inclinadas hacia abajo (2004), partes inclinadas hacia fuera y hacia arriba (2006), y partes que se extienden verticalmente (2008). El fluido se bombea a través de pasos dentro del miembro alargado a una pluralidad de orificios de chorro (38), a través de los cuales se emiten chorros mientras se hace girar el miembro alargado.

45 En ambas realizaciones mostradas en las figuras 19 y 20, los chorros proporcionan mezcla mientras también bañan las paredes laterales del tanque.

En otras realizaciones, el mezclador de chorro puede incluir miembros flexibles y/o miembros ajustables (p. ej., tubos flexibles o telescópicos) a través de los cuales se suministran los chorros. Por ejemplo, como se muestra
50 esquemáticamente en las figuras 21 y 21A, el dispositivo de mezcla de chorro puede estar hecho de tubos flexibles, a la manera de un tipo flotante de limpiador de piscinas. En el sistema (2100) mostrado, una manguera de suministro flexible (2102) suministra fluido desde una entrada (2104) en la pared lateral del tanque (2106). La manguera de suministro (2102) se extiende a lo largo de la superficie del líquido en el tanque a través de una serie de boyas (2108) y pivotes (2110). Una pluralidad de mangueras flexibles (2112) están aseguradas en sus extremos superiores
55 a juntas en T espaciadas (2114) en la parte flotante de la manguera de suministro (2102). El fluido se inyecta desde los extremos distales abiertos de las mangueras flexibles (2112), dando como resultado la mezcla del contenido del tanque y la eliminación de la retención en las paredes laterales del tanque.

En algunas implementaciones, pueden usarse combinaciones de las realizaciones descritas anteriormente. Por
60 ejemplo, se pueden usar combinaciones de miembros alargados giratorios u oscilantes planos y no planos. Las

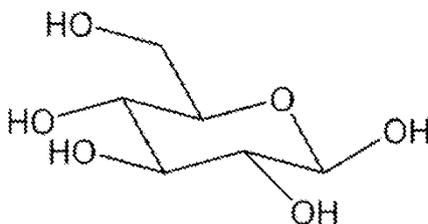
disposiciones de boquillas móviles descritas anteriormente se pueden usar en combinación entre sí y/o en combinación con raspadores. Se puede usar una pluralidad de disposiciones de boquillas móviles juntas, por ejemplo, dos o más de los miembros giratorios mostrados en la figura 19 se pueden apilar verticalmente en el tanque. Cuando se usan múltiples miembros giratorios, se pueden configurar para rotar en la misma dirección o en direcciones opuestas, y a la misma velocidad o diferentes velocidades.

MATERIALES

Materiales de biomasa

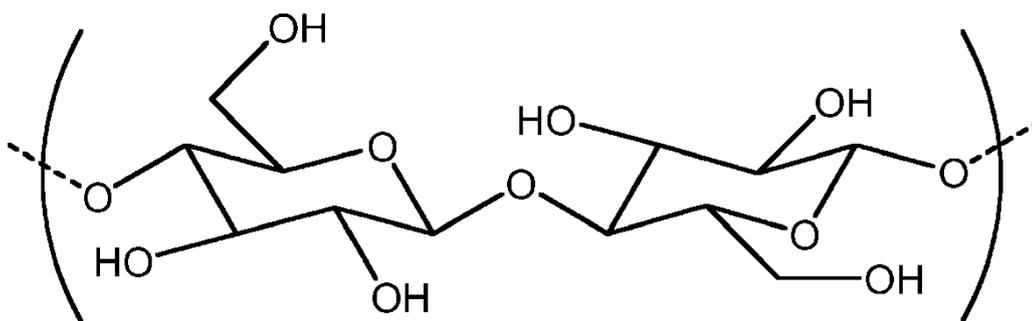
10 La biomasa puede ser, p. ej., un material celulósico o lignocelulósico. Tales materiales incluyen papel y productos de papel (por ejemplo, papel polirevestido y papel Kraft), madera, materiales relacionados con la madera, p. ej., aglomerado, pastos, cascarillas de arroz, bagazo, yute, cáñamo, lino, bambú, sisal, abacá, paja, pasto varilla, alfalfa, heno, mazorcas de maíz, camote de maíz, pelo de coco y materiales con alto contenido de α -celulosa, p. ej.,
 15 algodón. Las materias primas se pueden obtener a partir de restos de materiales textiles vírgenes, por ejemplo, remanentes, o residuos posconsumo, por ejemplo, trapos. Cuando se usan productos de papel, pueden ser materiales vírgenes, por ejemplo, restos de materiales vírgenes, o pueden ser residuos posconsumo. Además de materias primas vírgenes, también se pueden usar residuos posconsumo, industriales (por ejemplo, desperdicios) y de procesamiento (por ejemplo, efluente procedente del procesamiento del papel) como fuentes de fibra.
 20 materias primas de biomasa también se pueden obtener, o pueden proceder, de residuos humanos (por ejemplo, aguas residuales), animales o de plantas. Se han descrito materiales celulósicos y lignocelulósicos adicionales en las patentes de Estados Unidos n.º 6.448.307, 6.258.876, 6.207.729, 5.973.035 y 5.952.105.

En algunas realizaciones, el material de biomasa incluye un carbohidrato que es o incluye un material que tiene uno o más ligamientos β -1,4 y que tiene un peso molecular medio numérico de entre aproximadamente 3.000 y 50.000. Tal carbohidrato es, o incluye, celulosa (I), que deriva de la (β -glucosa 1) por condensación de enlaces β (1,4)-glicosídicos. Esta unión contrasta por sí misma con la de los enlaces α (1,4)-glicosídicos presentes en el almidón y otros carbohidratos.



1

30



I

Los materiales de almidón incluyen almidón mismo, p. ej. almidón de maíz, almidón de trigo, almidón de patata o
 35 almidón de arroz, un derivado de almidón o un material que incluya almidón, tal como un producto alimenticio comestible o una cosecha. Por ejemplo, el material amiláceo puede ser arracacha, trigo sarraceno, plátano, cebada, tapioca, kudzu, oca, sagú, sorgo, patatas domésticas ordinarias, batata, taro, ñames o una o más judías tales como

habas, lentejas o guisantes. Son también materiales de almidón combinaciones de dos cualesquiera o más materiales de almidón.

En algunos casos, la biomasa es un material microbiano. Las fuentes microbianas incluyen, pero sin limitación, cualquier microorganismo u organismo de origen natural o modificado genéticamente que contenga o sea capaz de proporcionar una fuente de carbohidratos (p.ej. celulosa), por ejemplo protistas, p.ej. protistas animales (p.ej., protozoos tales como flagelados, ameboides, ciliados y esporozoos) y protistas vegetales (p.ej., algas tales como alveolados, clorofitas, criptomónadas, euglenidos, glaucofitas, haptófitos, algas rojas, estramenópilos y viridiplantas). Otros ejemplos incluyen algas marinas, pláncton (p.ej., macrópláncton, mesopláncton, micrópláncton, nanopláncton, picopláncton y femtopláncton), fitopláncton, bacterias (p.ej., bacterias grampositivas, bacterias gramnegativas y extremófilas), levadura y/o mezclas de estas. En algunos aspectos, puede obtenerse biomasa microbiana a partir de fuentes naturales, p.ej., el océano, lagos, masas de agua, p.ej., agua salada o agua dulce o en tierra. Como alternativa o además, la biomasa microbiana puede obtenerse a partir de sistemas de cultivo, p.ej. sistemas de cultivo húmedos y secos a gran escala.

15

Agentes sacarificantes

Entre las enzimas adecuadas se incluyen las celobiasas y celulasas capaces de degradar biomasa.

20 Las celobiasas adecuadas incluyen una celobiasa procedente de *Aspergillus niger* comercializada bajo el nombre comercial NOVOZYME 188™.

Las celulasas son capaces de degradar biomasa y pueden ser de origen fúngico o bacteriano. Las enzimas adecuadas incluyen celulasas de los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Humicola*, *Fusarium*, *Thielavia*, *Acremonium*, *Chrysosporium* and *Trichoderma*, e incluyen especies de *Humicola*, *Coprinus*, *Thielavia*, *Fusarium*, *Myceliophthora*, *Acremonium*, *Cephalosporium*, *Scytalidium*, *Penicillium* o *Aspergillus* (véase, p. ej., EP 458162), especialmente los producidos por una cepa seleccionada de la especie *Humicola insolens* (reclasificada como *Scytalidium thermophilum*, véase, p. ej., la patente de Estados Unidos n.º 4.435.307), *Coprinus cinereus*, *Fusarium oxysporum*, *Myceliophthora thermophila*, *Meripilus giganteus*, *Thielavia terrestris*, *Acremonium sp.*, *Acremonium persicinum*, *Acremonium acremonium*, *Acremonium brachyphenium*, *Acremonium dichromosporum*, *Acremonium obclavatum*, *Acremonium pinkertoniae*, *Acremonium roseogriseum*, *Acremonium incoloratum*, y *Acremonium furatum*; preferentemente de las especies *Humicola insolens* DSM 1800, *Fusarium oxysporum* DSM 2672, *Myceliophthora thermophila* CBS 117.65, *Cephalosporium sp.* RYM-202, *Acremonium sp.* CBS 478.94, *Acremonium sp.* CBS 265.95, *Acremonium persicinum* CBS 169.65, *Acremonium acremonium* AHU 9519, *Cephalosporium sp.* CBS 35 535.71, *Acremonium brachyphenium* CBS 866.73, *Acremonium dichromosporum* CBS 683.73, *Acremonium obclavatum* CBS 311.74, *Acremonium pinkertoniae* CBS 157.70, *Acremonium roseogriseum* CBS 134.56, *Acremonium incoloratum* CBS 146.62, y *Acremonium furatum* CBS 299.70H. Las enzimas celulolíticas también se pueden obtener a partir de *Chrysosporium*, preferentemente una cepa de *Chrysosporium lucknowense*. Adicionalmente, *Trichoderma* (particularmente *Trichoderma viride*, *Trichoderma reesei*, y *Trichoderma koningii*), alkalophilic *Bacillus* (véase, por ejemplo, la patente de Estados Unidos n.º 3.844.890 y EP 458162), y *Streptomyces* (véase, p. ej., EP 458162) se pueden usar.

Se pueden utilizar complejos enzimáticos, tales como los comercializados por Genencore bajo el nombre comercial ACCELLERASE®, por ejemplo, el complejo enzimático Accellerase® 1500. El complejo enzimático Accellerase 1500 45 contiene múltiples actividades enzimáticas, principalmente exoglucanasa, endoglucanasa (2200-2800 CMC U/g), hemicelulasa y beta-glucosidasa (525-775 pNPG U/g), y tiene un pH de 4,6 a 5,0. La actividad endoglucanasa del complejo enzimático se expresa en unidades de actividad carboximetilcelulosa (CMC U), mientras que la actividad beta-glucosidasa se presenta en unidades de actividad pNP-glucosidasa (pNP U). En una realización, se usa una mezcla del complejo enzimático Accellerase® 1500 y celobiasa NOVOZYME™ 188.

50

En algunas implementaciones, el agente sacarificante comprende un ácido, p. ej. un ácido mineral. Cuando se usa un ácido, pueden generarse coproductos que son tóxicos para microorganismos, en cuyo caso el proceso puede incluir además retirar tales coproductos. La retirada puede efectuarse usando un carbono activado, p.ej. carbón activado, u otras técnicas adecuadas.

55

Agentes de fermentación

El(los) microorganismo(s) usados en la fermentación pueden ser microorganismos naturales y/o microorganismos modificados. Por ejemplo, el microorganismo puede ser una bacteria, por ejemplo, una bacteria celulolítica, un 60 hongo, por ejemplo, una levadura, una planta o un protista, por ejemplo, un alga, un protozoo o un protista similar a

hongo, por ejemplo, un moho mucilaginoso. Cuando los organismos son compatibles, se pueden utilizar mezclas de organismos.

- Los microorganismos de fermentación tienen la capacidad de convertir carbohidratos, tales como glucosa, xilosa, arabinosa, manosa, galactosa, oligosacáridos o polisacáridos en productos de fermentación. Entre los microorganismos de fermentación se incluyen cepas del género *Saccharomyces spp.*, por ejemplo, *Saccharomyces cerevisiae* (levadura de panadería), *Saccharomyces distaticus*, *Saccharomyces uvarum*; del género *Kluyveromyces*, por ejemplo, las especies *Kluyveromyces marxianus*, *Kluyveromyces fragilis*; del género *Candida*, por ejemplo, *Candida pseudotropicalis*, y *Candida brassicae*, *Pichia stipitis* (un pariente de la *Candida shehatae*, del género *Clavispora*, por ejemplo, las especies *Clavispora lusitanae* y *Clavispora opuhitiae*, del género *Pachysolen*, por ejemplo, la especie *Pachysolen tannophilus* y del género *Bretannomyces*, por ejemplo, la especie *Bretannomyces clausenii* (Philippidis, G. P., 1996, Cellulose bioconversion technology, in Handbook on Bioethanol: Production and Utilization, Wyman, C.E., ed., Taylor & Francis, Washington, DC, 179-212).
- 15 Las levaduras disponibles en el mercado incluyen, por ejemplo, Red Star®/Lesaffre Ethanol Red (comercializada por Red Star/Lesaffre, EE. UU.), FALI® (comercializada por Fleischmann's Yeast, una división de Burns Philip Food Inc., EE. UU.), SUPERSTART® (comercializada por Alltech, actualmente Lallemand), GERT STRAND® (comercializada por Gert Strand AB, Suecia) y FERMOL® (comercializada por DSM Specialties).
- 20 Las bacterias también pueden usarse en la fermentación, p. ej. *Zymomonas mobilis* and *Clostridium thermocellum* (Philippidis, 1996, *supra*).

Aditivos

25 **Antibióticos**

Aunque es preferente tener una alta concentración de azúcar en la solución sacarificada, se pueden usar concentraciones inferiores, en cuyo caso, puede ser deseable añadir un aditivo antimicrobiano, p. ej., un antibiótico de amplio espectro, en una concentración baja, p. ej., de 50 a 150 ppm. Otros antibióticos adecuados incluyen anfotericina B, ampicilina, cloranfenicol, ciprofloxacina, gentamicina, higromicina B, kanamicina, neomicina, penicilina, puromicina y estreptomina. Los antibióticos inhibirán el crecimiento de microorganismos durante el transporte y almacenamiento, y se pueden usar en concentraciones adecuadas, por ejemplo, entre 15 y 1000 ppm en peso, por ejemplo, entre 25 y 500 ppm, o entre 50 y 150 ppm. Si se desea, se puede incluir un antibiótico incluso si la concentración de azúcar es relativamente alta.

35

Tensioactivos

La adición de tensioactivos puede mejorar la velocidad de sacarificación. Entre los ejemplos de tensioactivos se incluyen tensioactivos no iónicos, tales como Tween® 20 o Tween® 80, tensioactivos de polietilenglicol, tensioactivos iónicos o tensioactivos anfóteros. Entre otros tensioactivos adecuados se incluyen etoxilatos de octilfenol tales como la serie de tensioactivos no iónicos TRITON™ X, comercializada por Dow Chemical. Un tensioactivo también se puede añadir para mantener el azúcar que se está produciendo en solución, especialmente en soluciones de concentraciones altas.

45 **Medio de sacarificación**

En una realización, el medio tiene las siguientes concentraciones de componentes:

Base nitrogenada de levadura	1,7 g/L
Urea	2,27 g/L
Peptona	6,56 g/L
Tensioactivo Tween® 80	10 g/L

TRATAMIENTO FÍSICO DE LA MATERIA PRIMA

50

En algunas implementaciones, la materia prima se trata físicamente antes de la sacarificación y/o fermentación. Los procedimientos de tratamiento físico pueden incluir uno o más de cualquiera de los descritos en esta invención, tales como tratamiento mecánico, tratamiento químico, irradiación, sonicación, oxidación, pirólisis o explosión por vapor. Los procedimientos de tratamiento pueden usarse en combinaciones de dos, tres, cuatro o incluso todas estas

tecnologías (en cualquier orden). Cuando se usa más de un procedimiento de tratamiento, los procedimientos se pueden aplicar al mismo tiempo o en momentos diferentes. También se pueden usar otros procesos que cambian la estructura molecular de una materia prima de biomasa, por sí solos o en combinación con los procedimientos descritos en esta invención.

5

Tratamientos mecánicos

En algunos casos, los procedimientos pueden incluir el tratamiento mecánico de la materia prima de biomasa. Los tratamientos mecánicos incluyen, por ejemplo, corte, molienda, prensado, trituración, cizallamiento o troceado. La molienda puede incluir, por ejemplo, molienda de bolas, molienda de martillos, molienda en seco o húmedo con rotor/estator u otros tipos de molienda. Otros tratamientos mecánicos incluyen, p.ej., molturación con piedra, agrietamiento, arranque o desgarramiento mecánicos, molturación por púas o molienda por fricción.

El tratamiento mecánico puede ser ventajoso para "abrir", "estresar", romper y despedazar los materiales celulósicos o lignocelulósicos, haciendo a la celulosa de los materiales más susceptible de escisión de cadena y/o reducción de la cristalinidad. Los materiales abiertos pueden ser también más susceptibles de oxidación cuando se irradian.

En algunos casos, el tratamiento mecánico puede incluir una preparación inicial de la materia prima según se recibe, p. ej. reducción de tamaño de los materiales, tal como por cortado, molturación, cizallamiento, pulverización o troceado. Por ejemplo, en algunos casos, se prepara materia prima suelta (p.ej., papel reciclado, materiales de almidón o hierba aguja) por cizallamiento o trituración.

Como alternativa, o además, puede tratarse físicamente en primer lugar el material de materia prima mediante uno o más de los otros procedimientos de tratamiento físico, p. ej., tratamiento químico, radiación, sonicación, oxidación, pirólisis o explosión por vapor, y tratarse entonces mecánicamente. Esta secuencia puede ser ventajosa, ya que los materiales tratados mediante uno o más de los otros tratamientos, por ejemplo, irradiación o pirólisis, tienden a ser más frágiles y, por lo tanto, puede resultar más fácil cambiar posteriormente la estructura molecular del material mediante tratamiento mecánico.

En algunas realizaciones, el material de materia prima está en forma de un material fibroso, y el tratamiento mecánico incluye cizallamiento para exponer las fibras del material fibroso. El cizallamiento puede efectuarse, por ejemplo, usando un cortador de cuchilla giratoria. Otros procedimientos de tratamiento mecánico de materia prima incluyen, por ejemplo, molienda o molturación. La molienda puede efectuarse usando, por ejemplo, un molino de martillos, molino de bolas, molino coloidal, molino cónico o de cono, molino de disco, molino de muelas verticales, molino Wiley o molino de grano. La molturación puede efectuarse usando, por ejemplo, un molino de piedra, molino de púas, molino de café o molino de rodillos. La molturación puede proporcionarse, por ejemplo, por una púa alternante u otro elemento, como es el caso en un molino de púas. Otros procedimientos de tratamiento mecánico incluyen el rasgado o desgarramiento mecánico, otros procedimientos aplican presión al material y otros muelen mediante abrasión por aire. Los tratamientos mecánicos adecuados además incluyen cualquier otra técnica que cambie la estructura molecular de la materia prima.

Si se desea, el material tratado mecánicamente puede pasarse a través de un tamiz, p. ej., que tiene un tamaño medio de abertura de 1,59 mm o menos (1/16 pulgadas, 0,0625 pulgadas). En algunas realizaciones, el cizallamiento u otro tratamiento mecánico y el tamizado se efectúan simultáneamente. Por ejemplo, puede usarse un cortador de cuchilla giratoria para cizallar y tamizar simultáneamente la materia prima. La materia prima se cizalla entre hojas estacionarias y hojas giratorias para proporcionar un material cizallado que pasa a través de un tamiz y se captura en una cuba.

El material celulósico o lignocelulósico puede tratarse mecánicamente en estado seco (p. ej., que tiene poca o ninguna agua libre sobre su superficie), estado hidratado (p. ej., que tiene hasta un 10 % en peso de agua absorbida) o en estado húmedo, p. ej. que tiene entre aproximadamente un 10 % y aproximadamente un 75 % en peso de agua. La fuente de fibra puede incluso tratarse mecánicamente mientras se sumerge parcial o completamente bajo un líquido, tal como agua, etanol o isopropanol.

El material celulósico o lignocelulósico puede tratarse mecánicamente también bajo un gas (tal como una corriente o atmósfera de gas distinto del aire), p. ej. oxígeno o nitrógeno, o vapor.

Si se desea, la lignina puede retirarse de cualquiera de los materiales fibrosos que incluyen lignina. También, para ayudar a la descomposición de los materiales que incluyen celulosa, se puede tratar el material, antes o durante el tratamiento mecánico o la irradiación, con calor, un producto químico (por ejemplo, un ácido mineral, una base o un

oxidante fuerte tal como el hipoclorito sódico) y/o una enzima. Por ejemplo, la trituración se puede realizar en presencia de un ácido.

5 Los sistemas de tratamiento mecánico se pueden configurar para producir corrientes con unas características morfológicas concretas tales como, por ejemplo, área superficial, porosidad o densidad aparente y, en el caso de materias primas fibrosas, con características de la fibra tales como la relación longitud-anchura.

En algunas realizaciones, el área superficial de BET del material tratado mecánicamente es mayor de 0,1 m²/g, p. ej. mayor de 0,25 m²/g, mayor de 0,5 m²/g, mayor de 1,0 m²/g, mayor de 1,5 m²/g, mayor de 1,75 m²/g, mayor de 5,0 m²/g, mayor de 10 m²/g, mayor de 25 m²/g, mayor de 35 m²/g, mayor de 50 m²/g, mayor de 60 m²/g, mayor de 75 m²/g, mayor de 100 m²/g, mayor de 150 m²/g, mayor de 200 m²/g o incluso mayor de 250 m²/g.

La porosidad del material tratado mecánicamente puede ser, p. ej., mayor de un 20 %, mayor de un 25 %, mayor de un 35 %, mayor de un 50 %, mayor de un 60 %, mayor de un 70 %, mayor de un 80 %, mayor de un 85 %, mayor de un 90 %, mayor de un 92 %, mayor de un 94 %, mayor de un 95 %, mayor de un 97,5 %, mayor de un 99 % o incluso mayor de un 99,5 %.

20 En algunas realizaciones, después del tratamiento mecánico, el material tiene una densidad de la carga aparente inferior a 0,25 g/cm³, por ejemplo, 0,20 g/cm³, 0,15 g/cm³, 0,10 g/cm³, 0,05 g/cm³ o inferior a, por ejemplo, 0,025 g/cm³. La densidad de la carga aparente se determina usando la norma ASTM D1895B. En resumen, el procedimiento implica el relleno de un cilindro de medición de volumen conocido con una muestra y la obtención de un peso de la muestra. La densidad aparente se calcula dividiendo el peso de la muestra en gramos por el volumen conocido del cilindro en centímetros cúbicos.

25 Si la materia prima es un material fibroso, las fibras del material tratado mecánicamente pueden tener una relación media de longitud a diámetro relativamente grande (p. ej., mayor de 20 a 1), incluso si se han cizallado más de una vez. Además, las fibras de los materiales fibrosos descritos en la presente memoria pueden tener una distribución de longitud y/o relación de longitud a diámetro relativamente estrecha.

30 Como se usa en esta invención, las anchuras medias de fibra (p. ej., diámetros) son aquellas determinadas ópticamente por selección aleatoria de aproximadamente 5.000 fibras. Las longitudes medias de fibra son longitudes ponderadas por longitud corregidas. Las áreas superficiales BET (Brunauer, Emmet y Teller) son áreas superficiales multipunto y las porosidades son las determinadas mediante porosímetro de mercurio.

35 Si la materia prima es un material fibroso, la relación media de longitud a diámetro de las fibras del material tratado mecánicamente puede ser, p. ej., mayor de 8/1, p. ej. mayor de 10/1, mayor de 15/1, mayor de 20/1, mayor de 25/1 o mayor de 50/1. La longitud media de fibra del material tratado mecánicamente puede ser, p. ej., de entre aproximadamente 0,5 mm y 2,5 mm, p. ej. de entre aproximadamente 0,75 mm y 1,0 mm y la anchura media (p. ej., diámetro) del segundo material fibroso 14 puede ser, p. ej., de entre aproximadamente 5 µm y 50 µm, p. ej., de entre 40 aproximadamente 10 µm y 30 µm.

En algunas realizaciones, si la materia prima es un material fibroso, la desviación estándar de la longitud de fibra del material tratado mecánicamente puede ser de menos del 60 por ciento de una longitud de fibra promedio del material tratado mecánicamente, por ejemplo, menos del 50 por ciento de la longitud media, menos del 40 por ciento de la longitud media, menos del 25 por ciento de la longitud media, menos del 10 por ciento de la longitud media, 45 menos del 5 por ciento de la longitud media o incluso menos del 1 por ciento de la longitud media.

En algunas situaciones, puede ser deseable preparar un material de baja densidad aparente, densificar el material (p. ej., para hacerlo más fácil y menos costoso de transportar a otro sitio) y revertir entonces el material a un estado 50 de menor densidad aparente. Los materiales densificados pueden procesarse mediante cualquiera de los procedimientos descritos en esta invención, o cualquier material procesado mediante cualquiera de los procedimientos descritos en la presente memoria puede densificarse posteriormente, p. ej. como se divulga en el documento de Estados Unidos con n.º de serie 12/429,045yWO 2008/073186, cuyas descripciones completas se incorporan en esta invención como referencia.

55

Tratamiento de radiación

Pueden usarse una o más secuencias de procesamiento por radiación para procesar la materia prima y proporcionar material modificado estructuralmente que funciona como entrada para etapas y/o secuencias de procesamiento 60 adicionales. La irradiación puede, por ejemplo, reducir el peso molecular y/o la cristalinidad de la materia prima. La

radiación también puede esterilizar los materiales o cualquier medio necesario para bioprocasar el material.

En algunas realizaciones, se usa la energía depositada en un material que libera un electrón de su orbital atómico para irradiar los materiales. La radiación puede ser proporcionada por (1) partículas muy cargadas, tales como
 5 partículas alfa o protones, (2) electrones producidos, por ejemplo, en aceleradores de desintegración beta o de haz de electrones, o (3) radiación electromagnética, por ejemplo, rayos gammas, rayos X o rayos ultravioleta. En un enfoque, la radiación producida por sustancias radioactivas se puede usar para irradiar la materia prima. En otro enfoque, la radiación electromagnética (por ejemplo, producida usando emisores de haz de electrones) se puede usar para irradiar la materia prima. En algunas realizaciones, se puede utilizar cualquier combinación, en cualquier
 10 orden o simultáneamente, de (1) a (3). Las dosis aplicadas dependen del efecto deseado y de la materia prima concreta.

En algunos aspectos, cuando es deseable la escisión de cadena y/o es deseable la funcionalización de la cadena polimérica, pueden utilizarse partículas más pesadas que electrones, tales como protones, núcleos de helio, iones
 15 de argón, iones de silicio, iones de neón, iones de carbono, iones de fósforo, iones de oxígeno o iones de nitrógeno. Cuando se desea la escisión de cadenas por apertura de anillo, se pueden usar partículas cargadas positivamente, gracias sus propiedades de ácido de Lewis, para mejorar la escisión de cadena por apertura de anillo. Por ejemplo, cuando se desea la máxima oxidación, se pueden utilizar iones de oxígeno, y cuando se desea la máxima nitración, se pueden utilizar iones de nitrógeno. El uso de partículas pesadas y cargadas positivamente se describe en la
 20 patente de Estados Unidos con n.º de serie 12/417.699.

En un procedimiento, se irradia un primer material que es, o incluye, celulosa y tiene un peso molecular promedio en número (M_{N1}), por ejemplo, mediante tratamiento con radiación ionizante (por ejemplo, en forma de radiación
 25 gamma, radiación de rayos X, luz ultravioleta (UV) de 100 nm a 280 nm, un haz de electrones u otras partículas cargadas) para obtener un segundo material que incluye celulosa y tiene un segundo peso molecular promedio en número (M_{N2}) inferior al primer peso molecular promedio en número. El segundo material (o el primer y segundo materiales) se pueden combinar con un microorganismo (con o sin tratamiento enzimático) que puede utilizar el segundo y/o el primer material, o sus azúcares constituyentes, o la lignina, para producir un producto intermedio o un producto, tal como los descritos en el presente documento.

Puesto que el segundo material incluye celulosa que tiene un peso molecular reducido en comparación con el primer material y, en algunos aspectos, también una cristalinidad reducida, generalmente, el segundo material es más dispersable, hinchable y/o soluble, por ejemplo, en una solución que contiene un microorganismo y/o una enzima. Estas propiedades hacen que el segundo material sea más fácil de procesar y más susceptible al ataque químico, enzimático y/o biológico que el primer material, lo que mejora enormemente la velocidad de producción y/o el grado
 30 de producción de un producto deseado, por ejemplo, etanol.

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

En algunos aspectos, el segundo material incluye celulosa que tiene una cristalinidad (C_2) que es menor que la cristalinidad (C_1) de la celulosa del primer material. Por ejemplo, (C_2) puede ser menor de (C_1) en más de aproximadamente un 10 %, por ejemplo un 15, 20, 25, 30, 35, 40 o incluso más de aproximadamente un 50 por ciento.

En algunas realizaciones, el índice de cristalinidad de partida (antes de la irradiación) es de aproximadamente 40 a aproximadamente 87,5 por ciento, p. ej. de aproximadamente 50 a aproximadamente 75 por ciento o de aproximadamente 60 a aproximadamente 70 por ciento, y el índice de cristalinidad después de irradiación es de aproximadamente 10 a aproximadamente 50 por ciento, p. ej. de aproximadamente 15 a aproximadamente 45 por ciento o de aproximadamente 20 a aproximadamente 40 por ciento. Sin embargo, en algunas realizaciones, por
 50 ejemplo, después de irradiación extensa, es posible tener un índice de cristalinidad menor de un 5 por ciento. En algunas realizaciones, el material después de la irradiación es sustancialmente amorfo.

En algunas realizaciones, el peso molecular medio numérico de partida (antes de la irradiación) es de aproximadamente 200.000 a aproximadamente 3.200.000, p. ej. de aproximadamente 250.000 a aproximadamente
 55 1.000.000 o de aproximadamente 250.000 a aproximadamente 700.000, y el peso molecular medio numérico después de la irradiación es de aproximadamente 50.000 a aproximadamente 200.000, p. ej. de aproximadamente 60.000 a aproximadamente 150.000 o de aproximadamente 70.000 a aproximadamente 125.000. Sin embargo, en algunas realizaciones, p.ej. después de una irradiación extensa, es posible tener un peso molecular medio numérico de menos de aproximadamente 10.000 o incluso de menos de aproximadamente 5.000.

En algunas realizaciones, el segundo material puede tener un grado de oxidación (O_2) superior al grado de oxidación

- del primer material (O_1). Un grado de oxidación más alto del material puede ayudar a su dispersabilidad, hinchabilidad y/o solubilidad, mejorando aún más la susceptibilidad del material a un ataque químico, enzimático o biológico. En algunas realizaciones, para incrementar el grado de oxidación del segundo material respecto al primer material, la irradiación se realiza en un ambiente oxidante, por ejemplo, bajo una manta de aire u oxígeno, produciendo así un segundo material que está más oxidado que el primer material. Por ejemplo, el segundo material puede tener más grupos hidroxilo, grupos aldehído, grupos cetona, grupos éster o grupos ácido carboxílico, lo que aumenta su hidrofiliidad.

Radiación ionizante

- Cada forma de radiación ioniza el material que contiene carbono mediante interacciones concretas, tal y como se determina mediante la energía de la radiación. Las partículas muy cargadas ionizan principalmente la materia por dispersión coulombiana; asimismo, estas interacciones producen electrones energéticos que pueden ionizar aún más la materia. Las partículas alfa son idénticas a los núcleos de un átomo de helio y se producen mediante desintegración alfa de diversos núcleos radioactivos, tales como isótopos de bismuto, polonio, astato, radón, francio, radio, varios actínidos, tales como actinio, torio, uranio, neptunio, curio, californio, americio y plutonio.

- Cuando se utilizan partículas, pueden ser neutras (no cargadas), cargadas positivamente o cargadas negativamente. Cuando están cargadas, las partículas cargadas pueden portar una carga positiva o negativa simple o múltiples cargas, p.ej. una, dos, tres o incluso cuatro o más cargas. En aspectos en que se desea la escisión de cadena, pueden ser deseable partículas cargadas positivamente, en parte debido a su naturaleza ácida. Cuando se utilizan partículas, las partículas pueden tener la masa de un electrón en reposo o mayor, por ejemplo 500, 1000, 1500, 2000, 10.000 o incluso 100.000 veces la masa de un electrón en reposo. Por ejemplo, las partículas pueden tener una masa de aproximadamente 1 unidad atómica a aproximadamente 150 unidades atómicas, por ejemplo de aproximadamente 1 unidad atómica a aproximadamente 50 unidades atómicas, o de aproximadamente 1 a aproximadamente 25, por ejemplo 1, 2, 3, 4, 5, 10, 12 o 15 uma. Los aceleradores usados para acelerar las partículas pueden ser de CC electrostática, CC electrodinámica, lineal de RF, lineal de inducción magnética o de onda continua. Por ejemplo, los aceleradores de tipo ciclotrón comercializados por IBA, Bélgica, tales como el sistema Rhodotron®, o los aceleradores de tipo CC comercializados por RDI, actualmente IBA Industrial, tales como el Dynamitron®. Iones y electrones se describen en *Introductory Nuclear Physics*, Kenneth S. Krane, John Wiley & Sons, Inc. (1988), Krsto Prelec, *FIZIKA B* 6 (1997) 4, 177-206, Chu, William T., "Overview of Light-Ion Beam Therapy" Columbus-Ohio, ICRU-IAEA Meeting, 18-20 March 2006, Iwata, Y. et al., "Alternating-Phase-Focused IH-DTL for Heavy-Ion Medical Accelerators" Proceedings of EPAC 2006, Edinburgh, Scotland Leaner, C.M. et al., "Status of the Superconducting ECR Ion Source Venus" Proceedings of EPAC 2000, Viena, Austria.

- La radiación gamma tiene la ventaja de una profundidad de penetración significativa en una variedad de materiales. Las fuentes de rayos gamma incluyen núcleos radiactivos tales como isótopos de cobalto, calcio, tecnecio, cromo, galio, indio, yodo, hierro, criptón, samario, selenio, sodio, talio y xenón.
- Las fuentes de rayos X incluyen la colisión de rayos de electrones con dianas metálicas tales como wolframio o molibdeno o aleaciones, o fuentes de luz compactas tales como aquellas producidas comercialmente por Lyncean.

Las fuentes de radiación ultravioleta incluyen lámparas de deuterio o cadmio.

- Las fuentes de radiación infrarroja incluyen lámparas de cerámica de ventana de zafiro, cinc o seleniuro.

Las fuentes de microondas incluyen clistrones, fuentes de RF de tipo Slevin o fuentes de rayos de átomos que emplean los gases hidrógeno, oxígeno o nitrógeno.

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

- Los haces de electrones pueden generarse, p. ej., por generadores electrostáticos, generadores en cascada, generadores transformadores, aceleradores de baja energía con un sistema de barrido, aceleradores de baja energía con un cátodo lineal, aceleradores lineales y aceleradores por pulsos. Los electrones como fuente de radiación ionizante pueden ser útiles, por ejemplo, para secciones relativamente finas de materiales, por ejemplo, de menos de 12,7 mm (0,5 pulgadas), por ejemplo, de menos de 10,2 mm (0,4 pulgadas), 7,6 mm (0,3 pulgadas),

5,1 mm (0,2 pulgadas), o menos de 2,5 mm (0,1 pulgadas). En algunas realizaciones, la energía de cada electrón en el haz de electrones es de aproximadamente 0,3 MeV a aproximadamente 2,0 MeV (millones de electronvoltios), por ejemplo, de aproximadamente 0,5 MeV a aproximadamente 1,5 MeV, o de aproximadamente 0,7 MeV a aproximadamente 1,25 MeV.

5 Los dispositivos de irradiación de rayo de electrones pueden adquirirse comercialmente en Ion Beam Applications, Louvain-la-Neuve, Bélgica o the Titan Corporation, San Diego, CA. Energías de electrón típicas pueden ser 1 MeV, 2 MeV, 4,5 MeV, 7,5 MeV o 10 MeV. Potencias típicas del dispositivo de irradiación con haces de electrones pueden ser 1 kW, 5 kW, 10 kW, 20 kW, 50 kW, 100 kW, 250 kW o 500 kW. El grado de despolimerización de la materia
10 prima depende de la energía de electrón usada y de la dosis aplicada, mientras que el tiempo de exposición depende de la potencia y la dosis. Las dosis típicas pueden asumir valores de 1 kGy, 5 kGy, 10 kGy, 20 kGy, 50 kGy, 100 kGy o 200 kGy.

Haces de partículas iónicas

15 Pueden utilizarse partículas más pesadas que los electrones para irradiar materiales tales como carbohidratos o materiales que incluyen carbohidratos, p. ej. materiales celulósicos, materiales lignocelulósicos, materiales de almidón o mezclas de cualquiera de estos y otros descritos en esta invención. Por ejemplo, pueden utilizarse protones, núcleos de helio, iones de argón, iones de silicio, iones de neón, iones de carbón, iones de fósforo, iones
20 de oxígeno o iones de nitrógeno. En algunas realizaciones, las partículas más pesadas que electrones pueden inducir mayores cantidades de escisión de cadena (respecto a partículas más ligeras). En algunos aspectos, las partículas cargadas positivamente pueden inducir mayores cantidades de escisión de cadena que las partículas cargadas negativamente debido a su acidez.

25 Pueden generarse rayos de partículas más pesadas, p. ej., usando aceleradores lineales o ciclotrones. En algunas realizaciones, la energía de cada partícula del rayo es de aproximadamente 1,0 MeV/unidad atómica a aproximadamente 6.000 MeV/unidad atómica, p.ej. de aproximadamente 3 MeV/unidad atómica a aproximadamente 4.800 MeV/unidad atómica, o de aproximadamente 10 MeV/unidad atómica a aproximadamente 1.000 MeV/unidad atómica.

30 En ciertas realizaciones, los haces de iones usados para irradiar materiales que contienen carbono, p. ej. materiales de biomasa, pueden incluir más de un tipo de ión. Por ejemplo, los haces de iones pueden incluir mezclas de dos o más (por ejemplo, tres, cuatro o más) tipos diferentes de iones. Las mezclas ejemplares pueden incluir iones de carbono y protones, iones de carbono e iones de oxígeno, iones de nitrógeno y protones, e iones de hierro y
35 protones. Más generalmente, pueden usarse mezclas de cualquiera de los iones descritos anteriormente (o cualquier otro ion) para formar los haces iónicos irradiantes. En particular, pueden usarse en un solo haz iónico mezclas de iones relativamente ligeros y relativamente más pesados.

En algunas realizaciones, los haces de iones para irradiar materiales incluyen iones cargados positivamente. Los
40 iones cargados positivamente pueden incluir, por ejemplo, iones de hidrógeno cargados positivamente (por ejemplo protones), iones de gas noble (por ejemplo, helio, neón, argón), iones de carbono, iones de nitrógeno, iones de oxígeno, átomos de silicio, iones de fósforo e iones metálicos tales como iones de sodio, iones de calcio y/o iones de hierro. Sin desear ligarse a teoría alguna, se cree que tales iones cargados positivamente se comportan químicamente como restos de ácido de Lewis cuando se exponen a materiales, iniciando y manteniendo reacciones
45 de escisión de cadena con apertura de anillo catiónico en un entorno oxidativo.

En ciertas realizaciones, los haces de iones para irradiar materiales incluyen iones cargados negativamente. Los iones cargados negativamente pueden incluir, por ejemplo, iones de hidrógeno cargados negativamente (por ejemplo, iones hidruro) e iones cargados negativamente de diversos núcleos relativamente electronegativos (por
50 ejemplo, iones de oxígeno, iones de nitrógeno, iones de carbono, iones de silicio e iones de fósforo). Sin desear ligarse a teoría alguna, se cree que tales iones cargados negativamente se comportan químicamente como restos de base de Lewis cuando se exponen a materiales, causando reacciones de escisión de cadena con apertura de anillo aniónico en un entorno reductor.

55 En algunas realizaciones, los haces de materiales irradiantes pueden incluir átomos neutros. Por ejemplo, pueden incluirse uno cualquiera o más de átomos de hidrógeno, átomos de helio, átomos de carbono, átomos de nitrógeno, átomos de oxígeno, átomos de neón, átomos de silicio, átomos de fósforo, átomos de argón y átomos de hierro en haces que se usan para la irradiación de materiales de biomasa. En general, pueden estar presentes en los haces mezclas de dos cualesquiera o más de los tipos anteriores de átomos (por ejemplo, tres o más, cuatro o más o
60 incluso más).

En ciertas realizaciones, los haces de iones usados para irradiar materiales incluyen iones monocargados tales como uno o más de H^+ , H^- , He^+ , Ne^+ , Ar^+ , C^+ , C^- , O^+ , O^- , N^+ , N^- , Si^+ , Si^- , P^+ , P^- , Na^+ , Ca^+ , y Fe^+ . En algunas realizaciones, los haces de iones pueden incluir iones multicargados tales como uno o más de C^{2+} , C^{3+} , C^{4+} , N^{3+} , N^{5+} , N^{3-} , O^{2+} , O^{2-} , O_2^{2-} , Si^{2+} , Si^{4+} , Si^{2-} y Si^{4-} . En general, los haces de iones puede incluir también iones polinucleares más complejos que portan cargas positivas o negativas múltiples. En ciertas realizaciones, en virtud de la estructura del ion polinuclear, pueden distribuirse efectivamente las cargas positivas o negativas sustancialmente sobre toda la estructura de los iones. En algunas realizaciones, las cargas positivas o negativas pueden estar algo localizadas sobre porciones de la estructura de los iones.

10 Radiación electromagnética

En realizaciones en las que la irradiación se realiza con radiación electromagnética, la radiación electromagnética puede tener, por ejemplo, energías por fotón (en electronvoltios) superiores a 10^2 eV, p. ej., superiores a 10^3 , 10^4 , 10^5 , 10^6 , o incluso superiores a 10^7 eV. En algunas realizaciones, la radiación electromagnética tiene una energía por fotón de entre 10^4 y 10^7 , por ejemplo, entre 10^5 y 10^6 eV. La radiación electromagnética puede tener una frecuencia superior a, por ejemplo 10^{16} Hz, superior a 10^{17} Hz, 10^{18} , 10^{19} , 10^{20} o incluso superior a 10^{21} Hz. En algunas realizaciones, la radiación electromagnética tiene una frecuencia de entre 10^{18} y 10^{22} Hz, por ejemplo, entre 10^{19} y 10^{21} Hz.

20 Inactivación y funcionalización controlada

Después del tratamiento con radiación ionizante, cualquiera de los materiales o mezclas descritas en esta invención pueden volverse ionizadas; es decir, el material tratado puede incluir radicales a niveles que son detectables con un espectrómetro de resonancia de espín electrónico. Si la biomasa ionizada permanece en la atmósfera, se oxidará, tal como a un alcance que se generan grupos ácido carboxílico por reacción con el oxígeno atmosférico. En algunos aspectos con algunos materiales, dicha oxidación se desea debido a que puede ayudar en la descomposición adicional en peso molecular de la biomasa que contiene hidratos de carbono, y los grupos de oxidación, por ejemplo, grupos ácido carboxílico pueden ser útiles para solubilidad y utilización de microorganismos en algunos aspectos. Sin embargo, dado que los radicales pueden "vivir" durante algún tiempo después de la irradiación, por ejemplo, más de 1 día, 5 días, 30 días, 3 meses, 6 meses o incluso más de 1 año, las propiedades del material pueden seguir cambiando a lo largo del tiempo, lo que en algunos aspectos, puede ser deseable. De este modo, puede ser deseable desactivar ("quench") el material ionizado.

Después de la ionización, cualquier material de biomasa que haya sido ionizado se puede inactivar para reducir el nivel de radicales en la biomasa ionizada, por ejemplo, de tal forma que los radicales ya no sean detectables con el espectrómetro de resonancia de espín electrónico. Por ejemplo, los radicales pueden inactivarse mediante la aplicación de una presión suficiente a la biomasa y/o utilizando un fluido en contacto con la biomasa ionizada, tal como un gas o líquido, que reacciona con (inactiva) los radicales. El uso de un gas o líquido para, al menos, ayudar a la inactivación de los radicales puede usarse para funcionalizar la biomasa ionizada con una cantidad y un tipo deseados de grupos funcionales, tales como grupos ácido carboxílico, grupos enol, grupos aldehído, grupos nitro, grupos nitrilo, grupos amino, grupos alquilamino, grupos alquilo, grupos cloroalquilo o grupos clorofluoroalquilo.

En algunos casos, dicha inactivación puede mejorar la estabilidad de algunos de los materiales de biomasa ionizados. Por ejemplo, la inactivación puede mejorar la resistencia de la biomasa a la oxidación. La funcionalización por inactivación también puede mejorar la solubilidad de cualquier biomasa descrita en la presente memoria, puede mejorar su estabilidad térmica y puede mejorar la utilización del material mediante diversos microorganismos. Por ejemplo, los grupos funcionales impartidos al material de biomasa por la inactivación pueden actuar como sitios receptores para la unión por microorganismos, por ejemplo, para mejorar la hidrólisis de la celulosa por diversos microorganismos.

En algunas realizaciones, la inactivación incluye una aplicación de presión a la biomasa, tal como mediante deformación mecánica de la biomasa, p. ej., comprimiendo mecánicamente de forma directa la biomasa en una, dos o tres dimensiones, o aplicando presión a un fluido en el que está sumergida la biomasa, p. ej., prensado isostático. En dichos aspectos, la deformación del propio material lleva a radicales, que a menudo están atrapados en dominios cristalinos, a acercarse lo suficiente de modo que los radicales puedan recombinarse, o reaccionar con otro grupo. En algunos aspectos, la presión se aplica junto con la aplicación de calor, tal como una cantidad suficiente de calor para elevar la temperatura de la biomasa por encima de un punto de fusión o punto de ablandamiento de un componente de la biomasa, tal como lignina, celulosa semicelulosa. El calor puede mejorar la movilidad molecular en el material, lo que puede ayudar a la desactivación de los radicales. Cuando se utiliza presión para desactivar, la presión puede ser superior a aproximadamente 1000 psi, tal como superior a aproximadamente 1250 psi, 1450 psi,

- 3625 psi, 5075 psi, 7250 psi, 10.000 psi o incluso superior a 15.000 psi. En algunas realizaciones, la desactivación incluye poner en contacto la biomasa con un fluido, tal como un líquido o gas, por ejemplo, un gas capaz de reaccionar con los radicales, tales como acetileno o una mezcla de acetileno en nitrógeno, etileno, etilenos clorados o clorofluoroetilenos, propileno o mezclas de estos gases. En otras realizaciones particulares, la desactivación incluye poner en contacto biomasa con un líquido, por ejemplo, un líquido soluble en, o al menos capaz de penetrar en la biomasa y reaccionar con los radicales, tales como un dieno, tal como 1,5-ciclooctadieno. En algunas realizaciones específicas, la desactivación incluye poner en contacto la biomasa con un antioxidante, tal como Vitamina E. Si se desea, la materia prima de la biomasa puede incluir un antioxidante dispersado en su interior, y la desactivación puede proceder de poner en contacto el antioxidante dispersado en la materia prima con los radicales.
- 10 La funcionalización puede potenciarse utilizando iones muy cargados, tales como cualquiera de los iones más pesados descritos en esta invención. Por ejemplo, si se desea potenciar la oxidación, pueden utilizarse iones de oxígeno cargados para la irradiación. Si se desean grupos funcionales de nitrógeno, pueden utilizarse iones o aniones de nitrógeno que incluyen nitrógeno. Del mismo modo, si se desean grupos azufre o fósforo, pueden usarse 15 iones de azufre o fósforo en la irradiación.

Dosis

- En algunos aspectos, la irradiación se realiza a una velocidad de dosificación superior a aproximadamente 0,25 Mrad por segundo, por ejemplo, superior a aproximadamente 0,5, 0,75, 1,0, 1,5, 2,0, o incluso superior a aproximadamente 2,5 Mrad por segundo. En algunas realizaciones, se efectúa la irradiación a una velocidad de dosis de entre 5,0 y 1500,0 kilorad/hora, por ejemplo, entre 10,0 y 750,0 kilorad/hora o entre 50,0 y 350,0 kilorad/hora.
- En algunas realizaciones, la irradiación (con cualquier fuente de radiación o una combinación de fuentes) se realiza hasta que el material reciba una dosis de al menos 0,1 Mrad, al menos 0,25 Mrad, p. ej., al menos 1,0 Mrad, al menos 2,5 Mrad, al menos 5,0 Mrad, al menos 10,0 Mrad, al menos 60 Mrad o al menos 100 Mrad. En algunas realizaciones, la irradiación se realiza hasta que el material recibe una dosis de aproximadamente 0,1 Mrad a aproximadamente 500 Mrad, de aproximadamente 0,5 Mrad a aproximadamente 200 Mrad, de aproximadamente 1 Mrad a aproximadamente 100 Mrad, o de aproximadamente 5 Mrad a aproximadamente 60 Mrad. En algunas 30 realizaciones, se aplica una dosis relativamente baja de radiación, por ejemplo, menos de 60 Mrad.

Sonicación

- La sonicación puede reducir el peso molecular y/o la cristalinidad de materiales, tales como uno o más de cualquiera de los materiales descritos en esta invención p. ej. una o más fuentes de carbohidrato tales como materiales celulósicos o lignocelulósicos, o materiales de almidón. La sonicación también puede usarse para esterilizar los materiales. Tal como se ha descrito anteriormente en relación con la radiación, los parámetros del proceso usados para sonicación pueden modificarse dependiendo de diversos factores, p. ej., dependiendo del contenido de lignina de la materia prima. Por ejemplo, las materias primas con mayores niveles de lignina generalmente requieren un mayor tiempo de residencia y/o nivel de energía, lo que resulta en una mayor energía total entregada a la materia prima.

- En un procedimiento, se dispersa un primer material que incluye celulosa que tiene un primer peso molecular medio numérico (M_{N1}) en un medio, tal como agua, y se sonica y/o se cavita de otro modo, proporcionando un segundo material que incluye celulosa que tiene un segundo peso molecular medio numérico (M_{N2}) menor que el primer peso molecular medio numérico. El segundo material (o el primer y segundo materiales en ciertas realizaciones) puede combinarse con un microorganismo (con o sin tratamiento enzimático) que puede utilizar el segundo y/o primer material para producir un producto intermedio o producto.

- 50 Puesto que el segundo material incluye celulosa que tiene un peso molecular reducido en comparación con el primer material y, en algunos aspectos, también una cristalinidad reducida, generalmente, el segundo material es más dispersable, hinchable, y/o soluble, por ejemplo, en una solución que contiene un microorganismo.

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

- En algunos aspectos, el segundo material incluye celulosa que tiene una cristalinidad (C_2) que es menor que la cristalinidad (C_1) de la celulosa del primer material. Por ejemplo, (C_2) puede ser menor de (C_1) en más de 60 aproximadamente un 10 por ciento, por ejemplo, un 15, 20, 25, 30, 35, 40 o incluso más de aproximadamente un 50

por ciento.

- En algunas realizaciones, el índice de cristalinidad de partida (antes de la sonicación) es de aproximadamente 40 a aproximadamente 87,5 por ciento, p. ej. de aproximadamente 50 a aproximadamente 75 por ciento o de
- 5 aproximadamente 60 a aproximadamente 70 por ciento, y el índice de cristalinidad después de sonicación es de aproximadamente 10 a aproximadamente 50 por ciento, p. ej. de aproximadamente 15 a aproximadamente 45 por ciento o de aproximadamente 20 a aproximadamente 40 por ciento. Sin embargo, en ciertas realizaciones, por ejemplo, después de sonicación extensa, es posible tener un índice de cristalinidad menor de un 5 por ciento. En algunas realizaciones, el material después de la sonicación es sustancialmente amorfo.
- 10 En algunas realizaciones, el peso molecular medio numérico de partida (antes de la sonicación) es de aproximadamente 200.000 a aproximadamente 3.200.000, p. ej. de aproximadamente 250.000 a aproximadamente 1.000.000 o de aproximadamente 250.000 a aproximadamente 700.000, y el peso molecular medio numérico después de la sonicación es de aproximadamente 50.000 a aproximadamente 200.000, p. ej. de aproximadamente 60.000 a aproximadamente 150.000 o de aproximadamente 70.000 a aproximadamente 125.000. Sin embargo, en
- 15 algunas realizaciones, por ejemplo, después de una sonicación extensa, es posible tener un peso molecular promedio en número de menos de aproximadamente 10.000 o incluso de menos de aproximadamente 5.000.
- En algunas realizaciones, el segundo material puede tener un grado de oxidación (O_2) superior al grado de oxidación del primer material (O_1). Un mayor nivel de oxidación del material puede ayudar a su dispersabilidad, hinchabilidad y/o solubilidad, mejorando además la susceptibilidad del material al ataque químico, enzimático o biológico.
- 20 En algunas realizaciones, para aumentar el nivel de oxidación del segundo material respecto al primer material, se efectúa la sonicación en un medio oxidante, produciendo un segundo material que está más oxidado que el primer material. Por ejemplo, el segundo material puede tener más grupos hidroxilo, grupos aldehído, grupos cetona, grupos éster o grupos ácido carboxílico, lo que aumenta su hidrofiliidad.
- 25 En algunas realizaciones, el medio de sonicación es un medio acuoso. Si se desea, el medio puede incluir un oxidante tal como un peróxido (por ejemplo, peróxido de hidrógeno), un agente dispersante y/o un tampón. Los ejemplos de agentes dispersantes incluyen agentes dispersantes iónicos, por ejemplo, laurilsulfato de sodio, y agentes dispersantes no iónicos, por ejemplo, polietilenglicol.
- 30 En otras realizaciones, el medio de sonicación es no acuoso. Por ejemplo, la sonicación puede realizarse en un hidrocarburo, por ejemplo, tolueno o heptano, un éter, por ejemplo, dietiléter o tetrahidrofurano, o incluso en un gas licuado tal como argón, xenón o nitrógeno.

Pirólisis

- 35 Pueden usarse una o más secuencias de procesamiento por pirólisis para procesar materiales que contienen carbono de una amplia variedad de fuentes diferentes para extraer sustancias útiles de los materiales, y para proporcionar materiales parcialmente degradados que funcionan como entrada de etapas y/o secuencias de procesamiento adicionales. La pirólisis también puede usarse para esterilizar los materiales. Las condiciones de
- 40 pirólisis pueden variarse dependiendo de las características de la materia prima y/u otros factores. Por ejemplo, las materias primas con mayores niveles de lignina pueden requerir una temperatura más alta, un tiempo de residencia más largo y/o la introducción de niveles más altos de oxígeno durante la pirólisis.
- En un ejemplo, se piroliza un primer material que incluye celulosa que tiene un primer peso molecular medio numérico (M_{N1}), por ejemplo, calentando el primer material en un horno de tubo (en presencia o ausencia de
- 45 oxígeno), proporcionando un segundo material que incluye celulosa que tiene un segundo peso molecular medio numérico (M_{N2}) menor que el primer peso molecular medio numérico.
- Puesto que el segundo material incluye celulosa que tiene un peso molecular reducido en comparación con el primer
- 50 material y, en algunos aspectos, también una cristalinidad reducida, generalmente, el segundo material es más dispersable, hinchable y/o soluble, por ejemplo, en una solución que contiene un microorganismo.
- En algunas realizaciones, el segundo peso molecular medio numérico (M_{N2}) es menor que el primer peso molecular medio numérico (M_{N1}) en más de aproximadamente un 10 por ciento, p. ej., más de aproximadamente un 15, 20, 25,
- 55 30, 35, 40, 50 por ciento, 60 por ciento o incluso más de aproximadamente un 75 por ciento.
- En algunos aspectos, el segundo material incluye celulosa que tiene una cristalinidad (C_2) que es menor que la cristalinidad (C_1) de la celulosa del primer material. Por ejemplo, (C_2) puede ser menor de (C_1) en más de
- 60 aproximadamente un 10 por ciento, por ejemplo, un 15, 20, 25, 30, 35, 40 o incluso más de aproximadamente un 50 por ciento.

En algunas realizaciones, el índice de cristalinidad de partida (antes de la pirólisis) es de aproximadamente 40 a aproximadamente 87,5 por ciento, p. ej. de aproximadamente 50 a aproximadamente 75 por ciento o de aproximadamente 60 a aproximadamente 70 por ciento, y el índice de cristalinidad después de pirólisis es de aproximadamente 10 a aproximadamente 50 por ciento, p. ej. de aproximadamente 15 a aproximadamente 45 por ciento o de aproximadamente 20 a aproximadamente 40 por ciento. Sin embargo, en ciertos aspectos, por ejemplo, después de pirólisis extensa, es posible tener un índice de cristalinidad menor de un 5 por ciento. En algunas realizaciones, el material después de la pirólisis es sustancialmente amorfo.

En algunas realizaciones, el peso molecular medio numérico de partida (antes de la pirólisis) es de aproximadamente 200.000 a aproximadamente 3.200.000, p. ej. de aproximadamente 250.000 a aproximadamente 1.000.000 o de aproximadamente 250.000 a aproximadamente 700.000, y el peso molecular medio numérico después de la pirólisis es de aproximadamente 50.000 a aproximadamente 200.000, p. ej. de aproximadamente 60.000 a aproximadamente 150.000 o de aproximadamente 70.000 a aproximadamente 125.000. Sin embargo, en algunas realizaciones, por ejemplo, después de una pirólisis extensa, es posible tener un peso molecular promedio en número de menos de aproximadamente 10.000 o incluso de menos de aproximadamente 5.000.

En algunas realizaciones, el segundo material puede tener un grado de oxidación (O_2) superior al grado de oxidación del primer material (O_1). Un mayor nivel de oxidación del material puede ayudar a su dispersabilidad, hinchabilidad y/o solubilidad, mejorando además la susceptibilidad del material al ataque químico, enzimático o biológico. En algunas realizaciones, para aumentar el nivel de oxidación del segundo material respecto al primer material, se efectúa la pirólisis en un entorno oxidante, produciendo un segundo material que está más oxidado que el primer material. Por ejemplo, el segundo material puede tener más grupos hidroxilo, grupos aldehído, grupos cetona, grupos éster o grupos ácido carboxílico, lo que aumenta su hidrofiliidad.

En algunas realizaciones, la pirólisis de los materiales es continua. En otras realizaciones, se piroliza el material durante un tiempo predeterminado y se le permite enfriar entonces durante un segundo tiempo predeterminado antes de pirolizar de nuevo.

Oxidación

Pueden usarse una o más secuencias de procesamiento oxidativo para procesar materiales que contienen carbono de una amplia variedad de fuentes diferentes para extraer sustancias útiles de los materiales, y para proporcionar materiales parcialmente degradados y/o alterados que funcionan como entrada de etapas y/o secuencias de procesamiento adicionales. Las condiciones de oxidación pueden variar, por ejemplo, dependiendo del contenido de lignina de la materia prima, con un mayor grado de oxidación deseándose generalmente para materias primas con un mayor contenido de lignina.

En un procedimiento, se oxida un primer material que incluye celulosa que tiene un primer peso molecular medio numérico (M_{N1}) y que tiene un primer contenido de oxígeno (O_1), p. ej., calentando el primer material en una corriente de aire o aire enriquecido en oxígeno, proporcionando un segundo material que incluye celulosa que tiene un segundo peso molecular medio numérico (M_{N2}) y que tiene un segundo contenido de oxígeno (O_2) mayor que el primer contenido de oxígeno (O_1).

El segundo peso molecular medio numérico del segundo material es generalmente menor que el primer peso molecular medio numérico del primer material. Por ejemplo, el peso molecular puede reducirse en la misma medida que se ha descrito anteriormente con respecto a los otros tratamientos físicos. La cristalinidad del segundo material también puede reducirse en la misma medida que se ha descrito anteriormente con respecto a los otros tratamientos físicos.

En algunas realizaciones, el segundo contenido de oxígeno es al menos aproximadamente un cinco por ciento mayor que el primer contenido de oxígeno, p. ej. un 7,5 por ciento mayor, un 10,0 por ciento mayor, un 12,5 por ciento mayor, un 15,0 por ciento mayor o un 17,5 por ciento mayor. En algunas realizaciones preferidas, el segundo contenido de oxígeno es al menos aproximadamente un 20,0 por ciento mayor que el primer contenido de oxígeno del primer material. Se mide el contenido de oxígeno por análisis elemental pirolizando una muestra en un horno que funciona a 1300 °C o más. Es un analizador elemental adecuado el analizador LECO CHNS-932 con un horno de pirólisis a alta temperatura VTF-900.

Generalmente, aparece oxidación de un material en un entorno oxidante. Por ejemplo, la oxidación puede efectuarse o ayudarse por pirólisis en un entorno oxidante, tal como en aire o aire enriquecido en argón. Para ayudar a la oxidación, pueden añadirse diversos agentes químicos, tales como oxidantes, ácidos o bases, al material antes o durante la oxidación. Por ejemplo, puede añadirse un peróxido (por ejemplo, peróxido de benzoilo) antes de la

oxidación.

- Algunos procedimientos oxidativos de reducción de la recalcitrancia en una materia prima de biomasa emplean química de tipo Fenton. Se describen tales aplicaciones, por ejemplo, en la patente de Estados Unidos con n.º de serie 12/639.289. Los oxidantes ejemplares incluyen peróxidos tales como peróxido de hidrógeno y peróxido de benzoílo, persulfatos tales como persulfato de amonio, formas activadas de oxígeno tales como ozono, permanganatos tales como permanganato de potasio, percloratos tales como perclorato de sodio e hipocloritos tales como hipoclorito de sodio (lejía doméstica).
- 5
- 10 En algunas situaciones, el pH se mantiene a o por debajo de aproximadamente 5,5 durante el contacto, tal como entre 1 y 5, entre 2 y 5, entre 2,5 y 5 o entre aproximadamente 3 y 5. Las condiciones de oxidación pueden incluir también un periodo de contacto de entre 2 y 12 horas, por ejemplo, entre 4 y 10 horas o entre 5 y 8 horas. En algunos aspectos, la temperatura se mantiene en o por debajo de 300 °C, por ejemplo, en o por debajo de 250, 200, 150, 100 o 50 °C. En algunos aspectos, la temperatura permanece sustancialmente ambiente, por ejemplo, en o
- 15 aproximadamente 20-25 °C.

En algunas realizaciones, los uno o más oxidantes se aplican como un gas, tal como generando ozono *in situ* irradiando el material a través del aire con un haz de partículas, tales como electrones.

- 20 En algunas realizaciones, la mezcla incluye además una o más hidroquinonas tales como 2,5-dimetoxihidroquinona (DMHQ) y/o una o más benzoquinonas tales como 2,5-dimetoxi-1,4-benzoquinona (DMBQ), que pueden ayudar a las reacciones de transferencia de electrones.
- En algunas realizaciones, el uno o más oxidantes se generan electroquímicamente *in situ*. Por ejemplo, el peróxido de hidrógeno y/o el ozono se pueden producir electroquímicamente dentro de un recipiente de contacto o reacción.
- 25

Otros procesos para solubilizar, reducir la recalcitrancia o para funcionalizar

- Cualquiera de los procedimientos de este párrafo se pueden usar por sí solos, sin ninguno de los procedimientos descritos en esta invención, o en combinación con cualquiera de los procedimientos descritos en esta invención (en cualquier orden): explosión por vapor, tratamiento químico (p. ej., tratamiento ácido (incluyendo tratamiento con ácidos concentrados o diluidos con ácidos minerales tales como ácido sulfúrico, ácido clorhídrico y ácidos orgánicos tales como ácido trifluoroacético) y/o tratamiento básico (p. ej., tratamiento con cal o hidróxido sódico)), tratamiento UV, tratamiento por extrusión de tornillo, tratamiento con disolvente (véase, p. ej., la solicitud de patente de los
- 30 Estados Unidos n.º de serie 61/115.398, presentada el 17 de noviembre de 2008, tratamiento con disolvente (p. ej., tratamiento con líquidos iónicos) y molienda en congelación (véase, p. ej., el n.º de serie de los Estados Unidos 12/502.629).
- 35

PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES, ÁCIDOS, ÉSTERES Y/U OTROS PRODUCTOS

- 40 Después de que la o las etapas de procesamiento comentadas anteriormente se han realizado sobre la biomasa, los carbohidratos complejos contenidos en las fracciones de celulosa y hemicelulosa se pueden procesar para convertirlos en azúcares fermentables usando un procedimiento de sacarificación, como se analiza anteriormente.
- 45 Una vez que la solución de azúcar se ha transportado a la instalación de fabricación, los azúcares se pueden convertir en una variedad de productos, tales como alcoholes, p. ej., etanol, o ácidos orgánicos. El producto obtenido depende del microorganismo utilizado y de las condiciones en las que se ha producido el bioprocesamiento. Estas etapas se pueden realizar, por ejemplo, utilizando el equipo existente en la instalación de fabricación de etanol a partir de maíz.
- 50 Si se desea, también se pueden usar durante el bioprocesamiento los procedimientos de mezcla y equipos comentados en esta invención. Ventajosamente, los sistemas de mezclado descritos en esta invención no transmiten un cizallamiento alto al líquido y no elevan significativamente la temperatura global del líquido. Como resultado, los microorganismos usados en el bioprocesamiento se mantienen en condiciones viables durante todo el
- 55 procedimiento. El mezclado puede aumentar la velocidad de reacción y mejorar la eficiencia del procedimiento.

Generalmente, la fermentación utiliza diversos microorganismos. La solución de azúcar producida por sacarificación de materiales lignocelulósicos contendrá generalmente xilosa así como glucosa. Puede ser deseable retirar la xilosa, p.ej. por cromatografía, ya que algunos microorganismos usados comúnmente (p.ej. levaduras) no actúan sobre la

60 xilosa. La xilosa se puede recoger y utilizar en la fabricación de otros productos, por ejemplo, alimentos animales y el

edulcorante xilitol. La xilosa se puede eliminar antes o después del suministro de la solución de azúcar a la instalación de fabricación en la que se va a llevar a cabo la fermentación.

El microorganismo puede ser un microorganismo natural o un microorganismo modificado, p. ej., cualquiera de los microorganismos comentados en la sección Materiales de esta invención.

El pH óptimo para la levadura es de aproximadamente pH 4 a 5, mientras que el pH óptimo para *Zymomonas* es de aproximadamente pH 5 a 6. Los tiempos de fermentación habituales son de aproximadamente 24 a 96 horas con temperaturas en el intervalo de 26 °C a 40 °C, sin embargo, los microorganismos termófilos prefieren temperaturas superiores.

Los grupos ácido carboxílico generalmente rebajan el pH de la solución de fermentación, tendiendo a inhibir la fermentación con algunos microorganismos, tales como *Pichia stipitis*. Por consiguiente, en algunos casos es deseable añadir base y/o un tampón, antes o durante la fermentación, para subir el pH de la solución. Por ejemplo, pueden añadirse hidróxido de sodio o cal al medio de fermentación para elevar el pH del medio a un intervalo que sea óptimo para el microorganismo utilizado.

La fermentación se realiza generalmente en un medio de crecimiento acuoso que puede contener una fuente de nitrógeno u otra fuente de nutriente, p.ej. urea, junto con vitaminas y oligominerales y metales. Es generalmente preferible que el medio de crecimiento sea estéril, o al menos que tenga una baja carga microbiana, p.ej. recuento bacteriano. La esterilización del medio de crecimiento puede lograrse de cualquier manera deseada. Sin embargo, en implementaciones preferidas, se logra la esterilización irradiando el medio de crecimiento o los componentes individuales del medio de crecimiento antes del mezclado. La dosificación de radiación es generalmente lo más baja posible mientras siga obteniendo resultados adecuados, para minimizar el consumo de energía y el coste resultante. Por ejemplo, en muchos aspectos, puede tratarse el medio de crecimiento mismo o componentes del medio de crecimiento con una dosis de radiación de menos de 5 Mrad, tal como menos de 4, 3, 2 o 1 Mrad. En aspectos específicos, se trata el medio de crecimiento con una dosis de entre aproximadamente 1 y 3 Mrad.

En algunas realizaciones, todo o una parte del procedimiento de fermentación, se puede interrumpir antes de que el azúcar de bajo peso molecular se haya convertido completamente en etanol. Los productos intermedios de la fermentación incluyen altas concentraciones de azúcar y carbohidratos. Estos productos intermedios de la fermentación se pueden usar en la preparación de alimentos para el consumo humano o animal. Además, o como alternativa, los productos intermedios de la fermentación se pueden triturar a un tamaño de partícula fino en un molino de acero inoxidable de laboratorio para producir una sustancia de aspecto similar a la harina.

Se pueden utilizar fermentadores móviles, como se describe en la solicitud de patente provisional de Estados Unidos n.º de serie 60/832.735, ahora solicitud internacional publicada n.º WO 2008/011598. De forma similar, el equipo de sacarificación puede ser móvil. Además, la sacarificación y/o fermentación se pueden realizar en parte o en su totalidad durante el tránsito.

POSTPROCESAMIENTO

Después de la fermentación, los fluidos resultantes se pueden destilar usando, por ejemplo, una "columna de destilación de cerveza" para separar el etanol y otros alcoholes de la mayoría del agua y los sólidos residuales. El vapor que sale de la columna de destilación de cerveza puede ser, por ejemplo, etanol al 35 % en peso y se puede alimentar a una columna rectificadora. Una mezcla prácticamente azeotrópica de etanol (92,5 %) y agua procedente de la columna rectificadora se puede purificar para obtener etanol puro (99,5 %) usando tamices moleculares en fase vapor. El fondo de la columna de destilación de cerveza se puede enviar al primer efecto de un evaporador de tres efectos. El condensador de reflujo de la columna rectificadora puede proporcionar calor para este primer efecto. Después del primer efecto, los sólidos se pueden separar usando una centrifugadora y secar en una secadora rotativa. Una parte (25 %) del efluente de la centrifugadora se puede reciclar a la fermentación y el resto se puede enviar al segundo y tercer efectos del evaporador. La mayor parte del condensado del evaporador de puede devolver al procedimiento como condensado relativamente limpio y una pequeña parte se puede devolver al tratamiento de aguas residuales para evitar la acumulación de compuestos de bajo punto de ebullición.

INTERMEDIOS Y PRODUCTOS

Usando los procedimientos descritos en esta invención, la biomasa tratada se puede convertir en uno o más productos, tales como energía, combustibles, alimentos y materiales. Los ejemplos concretos de productos incluyen, pero no se limitan a, hidrógeno, alcoholes (p. ej., alcoholes monohídricos o alcoholes dihidricos, tales como etanol,

n-propanol o n-butanol), alcoholes hidratados o hidratados, por ejemplo, que contienen más del 10 %, 20 %, 30 % o incluso más de 40 % de agua, xilitol, azúcares, biodiesel, ácidos orgánicos (p. ej., ácido acético y/o ácido láctico), hidrocarburos, coproductos (p. ej., proteínas, como proteínas celulolíticas (enzimas) o proteínas monocelulares), y mezclas de cualquiera de estos en cualquier combinación o concentración relativa, y opcionalmente en combinación con cualquier aditivo, por ejemplo, aditivos para combustible. Otros ejemplos incluyen ácidos carboxílicos tales como ácido acético o ácido butírico, sales de un ácido carboxílico, una mezcla de ácidos carboxílicos y sales de ácidos carboxílicos y ésteres de ácidos carboxílicos (p. ej., ésteres metílico, etílico y n-propílico), cetonas (p. ej., acetona), aldehídos (p. ej. acetaldehído), ácidos alfa, beta-insaturados tales como ácido acrílico y olefinas tales como etileno. Otros alcoholes y derivados de alcohol incluyen propanol, propilenglicol, 1,4-butanodiol, 1,3-propanodiol, ésteres de metilo o etilo de cualquiera de estos alcoholes. Otros productos incluyen acrilato de metilo, metacrilato de metilo, ácido láctico, ácido propiónico, ácido butírico, ácido succínico, ácido 3-hidroxipropiónico, una sal de cualquiera de los ácidos y una mezcla de cualquiera de los ácidos y sales respectivos.

Otros productos intermedios y productos, incluyendo alimentos y productos farmacéuticos, se describen en el n.º de serie de Estados Unidos . 12/417.900.

EJEMPLO

Se preparó una materia prima de papel cizallado de la siguiente manera:

Se obtuvo un palé de 1500 libras de cajas de cartón de zumo vírgenes de medio galón hechas de cartón Kraft blanco policubierto no impreso con una densidad aparente de 20 lb/ft³ de International Paper. Cada caja de cartón se plegó plana y luego se alimentó a una desmenuzadora Flinch Baugh de 3 hp a una velocidad de aproximadamente 15 a 20 libras por hora. La desmenuzadora estaba equipada con dos cuchillas giratorias de 12 pulgadas, dos cuchillas fijas y un tamiz de descarga de 0,30 pulgadas. El espacio entre las cuchillas giratorias y las fijas se ajustó a 0,10 pulgadas. La salida de la desmenuzadora se asemejaba a confeti que tiene un ancho de entre 0,1 pulgadas y 0,5 pulgadas, una longitud de entre 0,25 pulgadas y 1 pulgada y un espesor equivalente al del material de partida (aproximadamente 0,075 pulgadas).

El material parecido a un confeti se alimentó a un cortador de cuchillas giratorias Munson, modelo SC30. El modelo SC30 está equipado con cuatro cuchillas giratorias, cuatro cuchillas fijas y un tamiz de descarga que tiene aberturas de 1/8 de pulgada. El espacio entre las cuchillas giratorias y las fijas se ajustó a aproximadamente 0,020 pulgadas. El cortador de cuchillas giratorias cizallaba los trozos similares a confeti a través de los bordes de las cuchillas, despedazando los trozos y liberando un material fibroso a un ritmo de aproximadamente una libra por hora. El material fibroso tenía un área superficial BET de 0,9748 m²/g +/- 0,0167 m²/g, una porosidad del 89,0437 por ciento y una densidad aparente (@0,53 psia) de 0,1260 g/ml. La longitud promedio de las fibras fue de 1,141 mm y el ancho promedio de las fibras fue de 0,027 mm, dando una L/D promedio de 42:1.

Para sacarificar la materia prima de papel, primero se añadieron 7 litros de agua a un recipiente. La temperatura del agua se mantuvo a 50 ° C durante todo el proceso de sacarificación, y el pH se mantuvo a 5. La materia prima se agregó al agua en incrementos, como se muestra a continuación en la tabla. Después de cada adición, se realizó la mezcla hasta que se dispersó la materia prima, después se añadió una mezcla de dos enzimas, de nuevo como se muestra a continuación en la tabla. (La enzima 1 era el complejo enzimático Accellerase® 1500. La enzima 2 era la enzima celobiasa Novozyme™ 188). Después de cada adición, la mezcla se realizó inicialmente a 10.000 RPM, con el mezclador girando a 4.000 RPM tan pronto como la materia prima se había dispersado. Se utilizó un mezclador agitador de chorro IKA Werks T-50, con una herramienta de mezcla de chorro 50K-G-45.

La materia prima se añadió en incrementos porque era necesario sacarificante al menos parcialmente la materia prima antes de que se pudiera agregar más; de lo contrario, la mezcla se vuelve demasiado difícil de mezclar. Se observó que se necesitaba menos enzima para obtener un nivel de glucosa dado del que se había requerido en experimentos previos con matraces oscilantes. Durante las primeras 300 horas, no se observó contaminación por microorganismos indeseables tales como moho. Aproximadamente a las 300 horas se observó un organismo parecido a un moho en las paredes del tanque donde la concentración de azúcar era la más baja, pero no en el propio tanque.

Tiempo (h)	Glucosa (Medida (g/l))	Glucosa (calculada (g/l))	Enzima 1 (ml)	Enzima 2 (ml)	Materias primas de papel (g)
0	0,548	54,8	100	10	400
7	0,641	64,1	100	10	400

Tiempo (h)	Glucosa (Medida (g/l))	Glucosa (calculada (g/l))	Enzima 1 (ml)	Enzima 2 (ml)	Materias primas de papel (g)
25	0,779	77,9	100	10	300
29	0,8	80	0	0	0
50	1,11	111	100	10	300
55	1,25	125	0	0	0
75	1,39	139	200	20	1600*
80	1,71	171	0	0	0
82	1,88	188	0	0	0
106	2,03	203	0	0	0
130	2,32	232	0	0	0
150	2,75	275	0	0	0
* La adición de 1600 gramos se realizó en el transcurso de varias horas.					

OTRAS REALIZACIONES

Se han descrito una serie de realizaciones. Sin embargo, se entenderá que pueden realizarse varias modificaciones sin apartarse del alcance de la divulgación.

Por ejemplo, los mezcladores de chorro descritos en esta invención se pueden usar en cualquier combinación deseada, y/o en combinación con otros tipos de mezcladores.

- 10 El(los) mezclador(es) de chorro puede(n) montarse en cualquier posición deseada dentro del tanque. Con respecto a los mezcladores de chorro montados en el eje, el eje puede ser colineal con el eje central del tanque o puede estar desplazado del mismo. Por ejemplo, si se desea, el tanque puede estar provisto de un mezclador de montaje central de un tipo diferente, p. ej., un impulsor marino o un impulsor Rushton, y un mezclador de chorro se puede montar en otra área del tanque ya sea desde el eje central o el eje central. En el último caso, un mezclador puede extenderse desde la parte superior del tanque mientras que el otro se extiende hacia arriba desde el suelo del tanque.

En cualquiera de los sistemas de mezcla de chorro descritos en esta invención, el flujo de fluido (líquido y/o gas) a través del mezclador de chorro puede ser continuo o pulsado, o una combinación de períodos de flujo continuo con intervalos de flujo pulsado. Cuando se pulsa el flujo, el pulso puede ser regular o irregular. En este último caso, el motor que impulsa el flujo de fluido puede programarse, por ejemplo, para proporcionar un flujo pulsado a intervalos para evitar que la mezcla se "atasque". La frecuencia del flujo pulsado puede ser, por ejemplo, de aproximadamente 0,5 Hz a aproximadamente 10 Hz, p. ej., aproximadamente 0,5 Hz, 0,75 Hz, 1,0 Hz, 2,0 Hz, 5 Hz o 10 Hz. El flujo pulsado se puede proporcionar encendiendo y apagando el motor y/o proporcionando un desviador de flujo que interrumpe el flujo del fluido.

Aunque en esta invención se ha hecho referencia a los tanques, la mezcla de chorro se puede usar en cualquier tipo de recipiente o contenedor, incluyendo lagunas, piscinas, estanques y similares. Si el contenedor en el que tiene lugar la mezcla es una estructura en la tierra, tal como una laguna, debe estar revestido. El contenedor puede estar cubierto, por ejemplo, si está en exteriores, o descubierto.

A pesar de que se han descrito en esta invención materias primas de biomasa, se pueden usar otras materias primas y mezclas de materias primas de biomasa con otras materias primas. Por ejemplo, algunas implementaciones pueden utilizar mezclas de materias primas de biomasa con materias primas que contienen carbono tales como las desveladas en la solicitud provisional de los Estados Unidos n.º 61/226.877, presentada el 20 de julio de 2009. En consecuencia, otras realizaciones están dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones que definen el alcance de la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento que comprende:
 5 sacarificar una materia prima lignocelulósica en un recipiente mezclando la materia prima lignocelulósica con un medio fluido y un agente sacarificante usando un mezclador de chorro, donde el mezclador de chorro comprende un agitador de flujo de chorro, y donde la sacarificación de la materia prima comprende agitar la materia prima con el agitador de flujo de chorro, y donde el recipiente tiene una superficie inferior arqueada, y
 10 donde un eje longitudinal de un eje del agitador de flujo de chorro está desplazado lateralmente desde un eje longitudinal del recipiente.
2. El procedimiento de la reivindicación 1 donde la materia prima tiene una densidad aparente de menos de aproximadamente $0,5 \text{ g/cm}^3$, y/o donde el medio fluido comprende agua, y/o donde el agente de sacarificación comprende una enzima.
- 15 3. El procedimiento de la reivindicación 1 donde el agitador de flujo de chorro comprende un impulsor montado en un extremo distal de un eje, y un recubrimiento protector que rodea el impulsor.
4. El procedimiento de la reivindicación 1 o la reivindicación 2 donde el mezclador de chorro comprende
 20 una pluralidad de agitadores de flujo de chorro, estando configurado cada agitador de chorro de manera reversible, bombeando fluido hacia la parte superior del recipiente en un primer modo, y hacia la parte inferior del recipiente en un segundo modo, preferentemente donde, durante al menos parte de la mezcla, todos los agitadores de flujo de chorro funcionan en el primer modo, opcionalmente donde, durante al menos parte de la mezcla, algunos de los agitadores de flujo de chorro funcionan en el primer modo y, al mismo tiempo, otros funcionan en el segundo modo.
- 25 5. El procedimiento de la reivindicación 4 comprende además añadir un microorganismo al recipiente y fermentar la materia prima sacarificada, donde durante al menos parte de la fermentación todos los agitadores de flujo de chorro funcionan en el primer modo.
- 30 6. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde el mezclador de chorro comprende además un mezclador tipo aireación de chorro que tiene una boquilla de suministro, y donde sacarificar la materia prima comprende suministrar un chorro a través de la boquilla de suministro, preferentemente donde el mezclador tipo aireación de chorro funciona sin inyectar aire a través de la boquilla de suministro.
- 35 7. El procedimiento de la reivindicación 6 donde la sacarificación comprende suministrar un líquido a dos líneas de entrada del mezclador del tipo de aireación de chorro.
8. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde el mezclador de chorro comprende además un mezclador de chorro de cámara de succión.
- 40 9. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde el mezclador de chorro comprende además una boquilla en comunicación fluida con un primer extremo de un tubo eyector, estando el primer extremo del tubo eyector separado de la boquilla, y teniendo el tubo expulsor un segundo extremo que está configurado para emitir un chorro fluido.
- 45 10. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde la sacarificación comprende añadir la materia prima al medio fluido en incrementos discretos; y mezclar cada incremento discreto de materia prima en el medio fluido con el mezclador de chorro antes de agregar otro incremento de materia prima.
- 50 11. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende además monitorizar un nivel de glucosa de una mezcla de la materia prima, el medio fluido y el agente sacarificante durante el funcionamiento del mezclador de chorro, y/o que comprende además añadir materia prima y agente sacarificante al recipiente durante sacarificación.
- 55 12. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde el recipiente comprende un tanque, y/o donde el recipiente comprende un tanque de un vagón de ferrocarril o un camión cisterna, preferentemente donde la sacarificación tiene lugar parcial o completamente durante el transporte de la mezcla de materia prima, medio fluido y agente sacarificante.
- 60 13. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde la materia prima comprende

papel.

14. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende además añadir un emulsionante o tensioactivo a la mezcla en el recipiente, y/o comprende además añadir un microorganismo al
5 recipiente y fermentar la materia prima sacarificada.

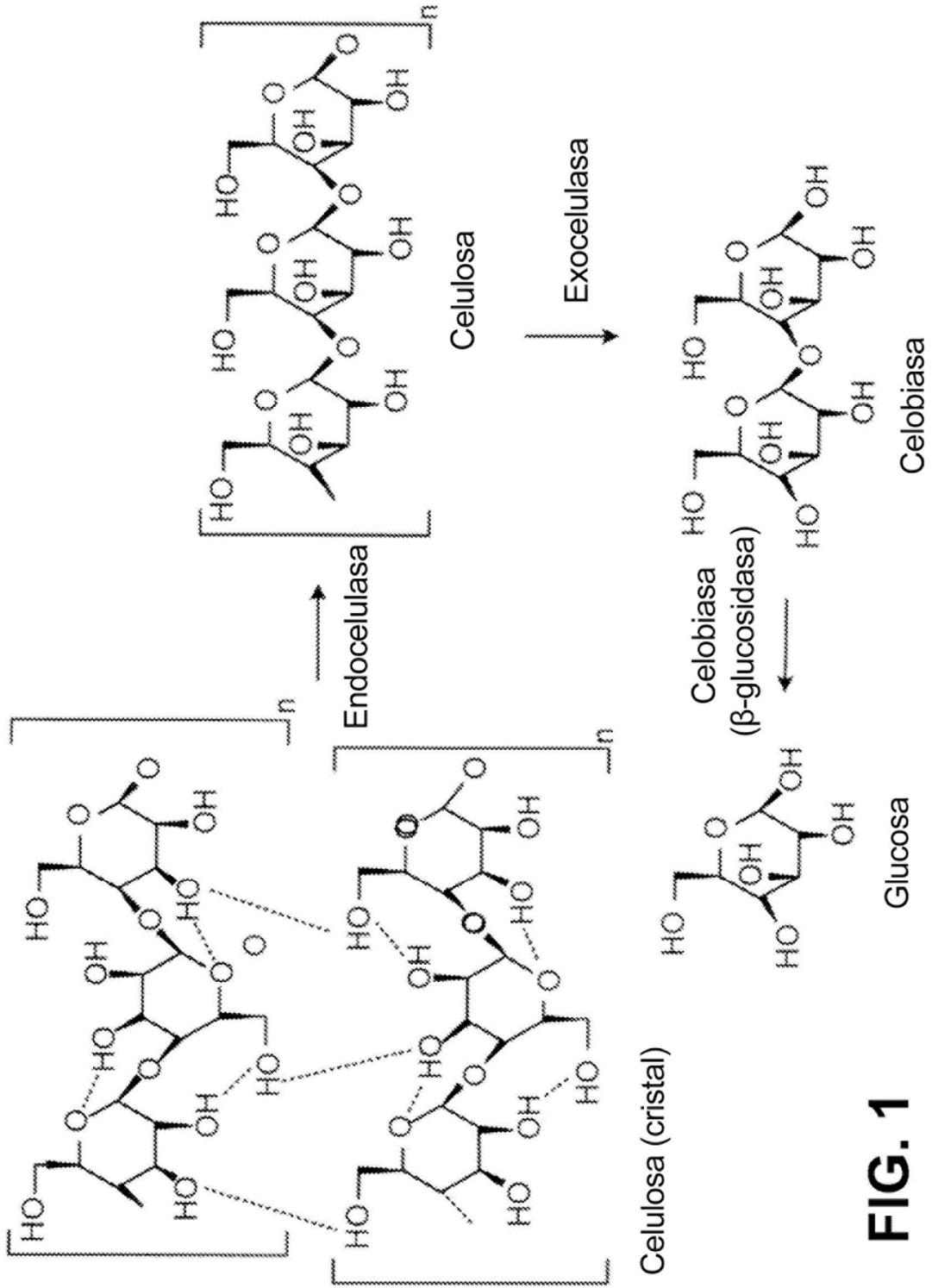


FIG. 1

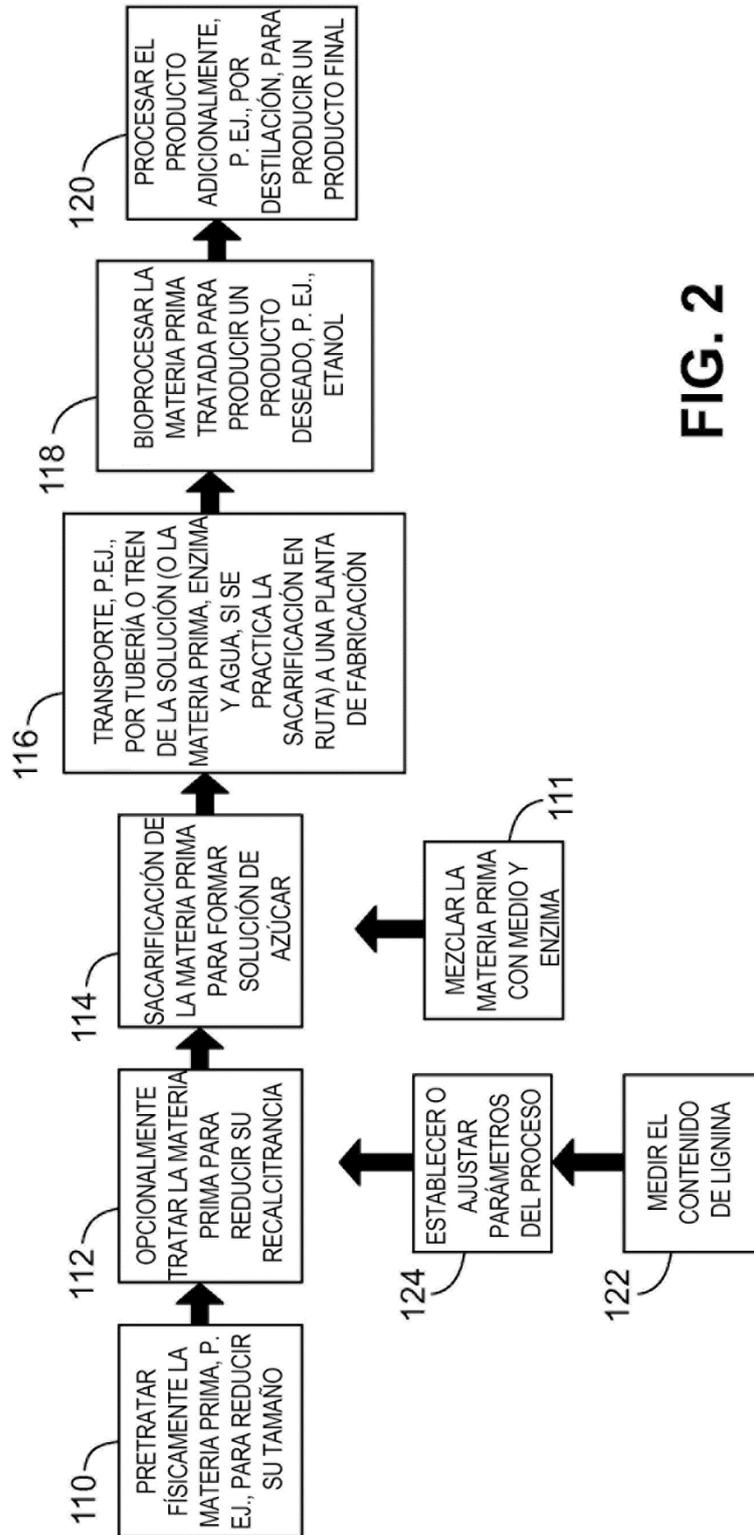


FIG. 2

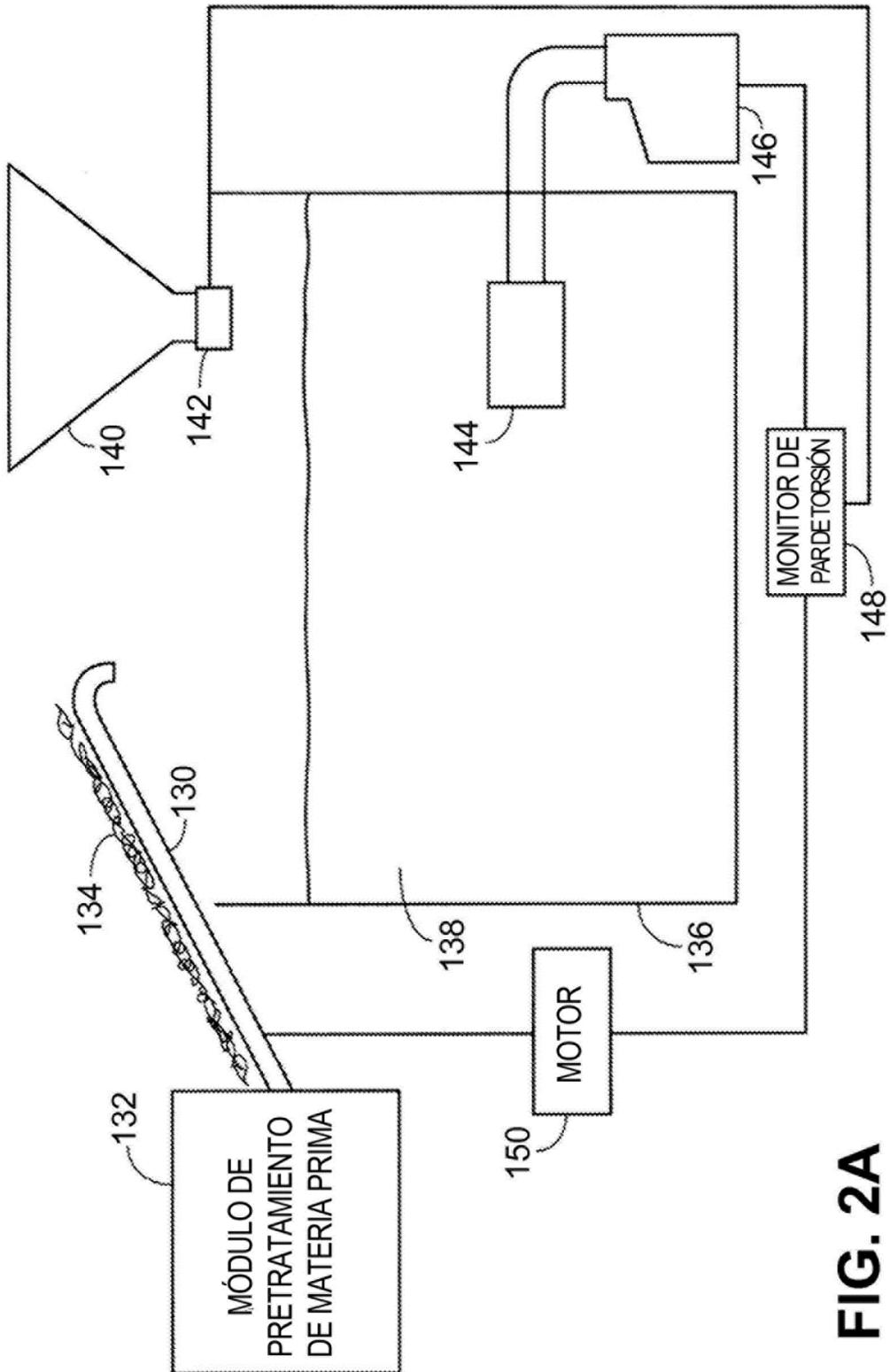


FIG. 2A

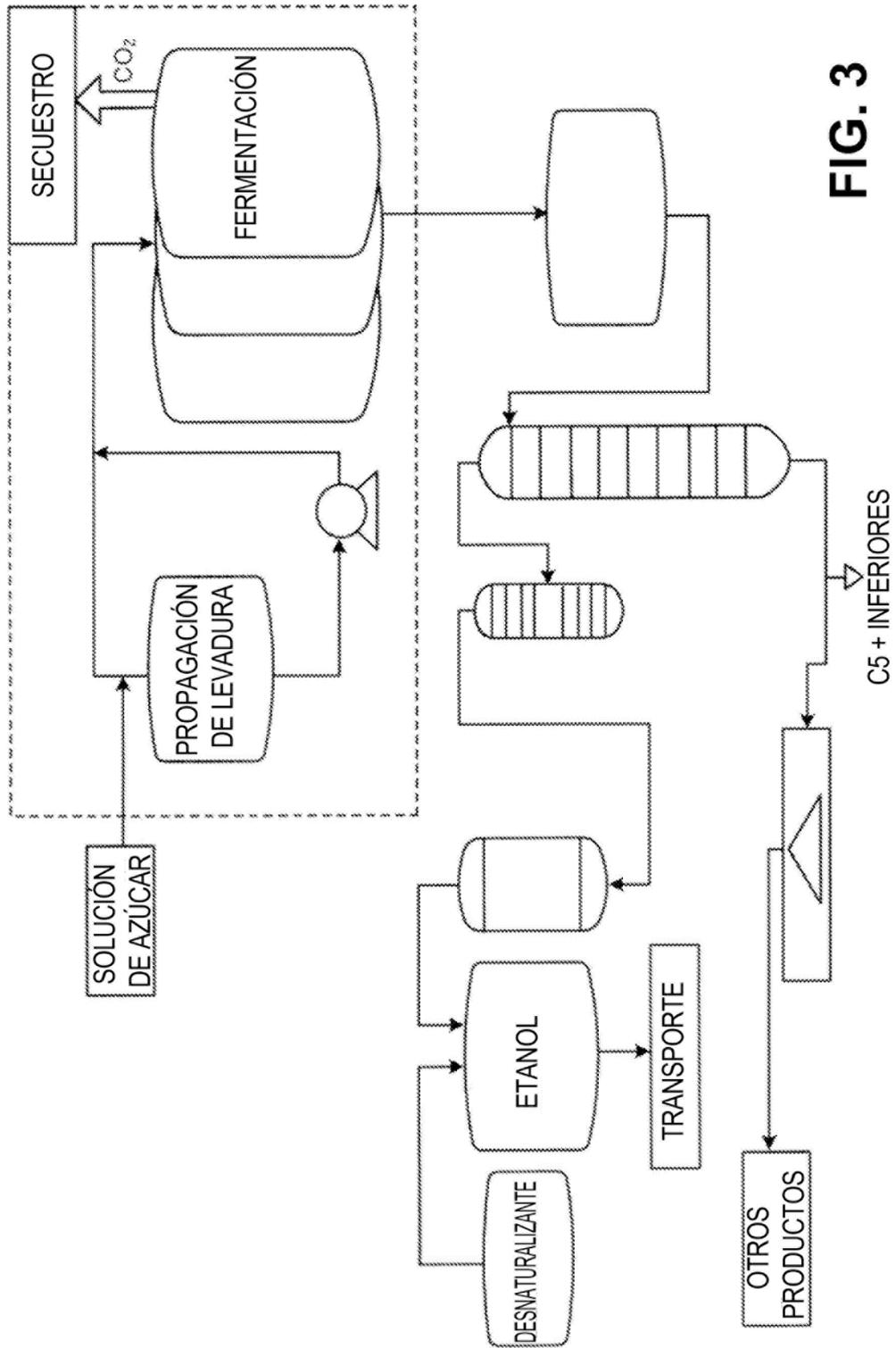


FIG. 3

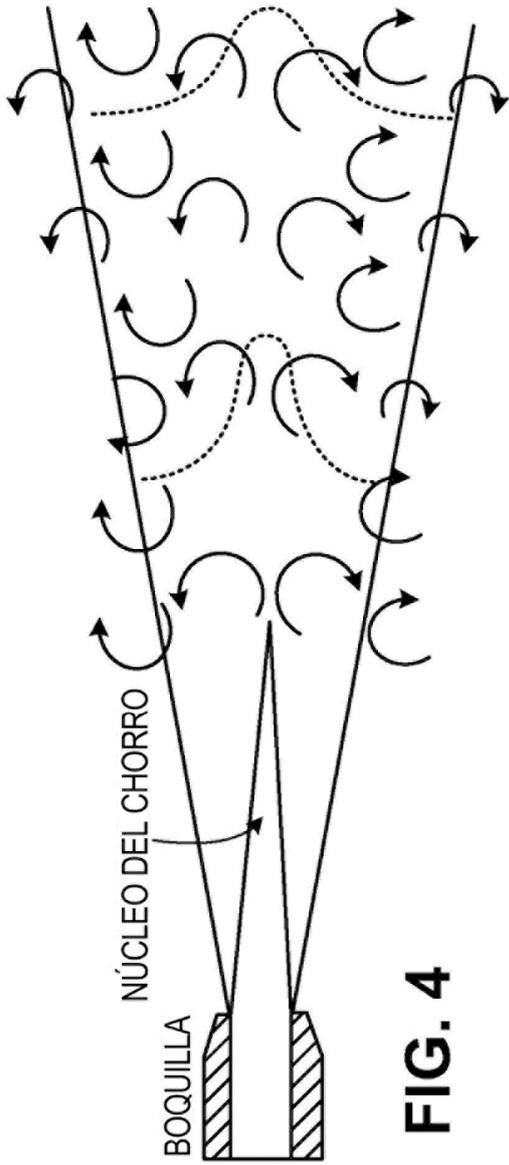


FIG. 4

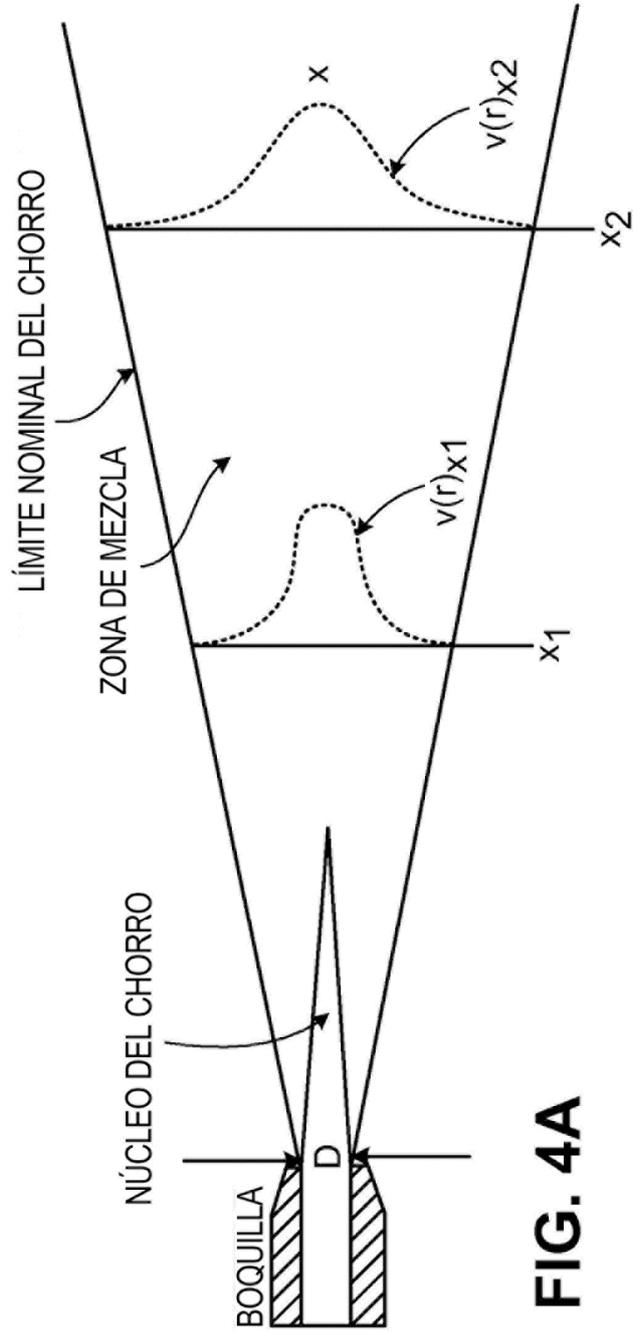
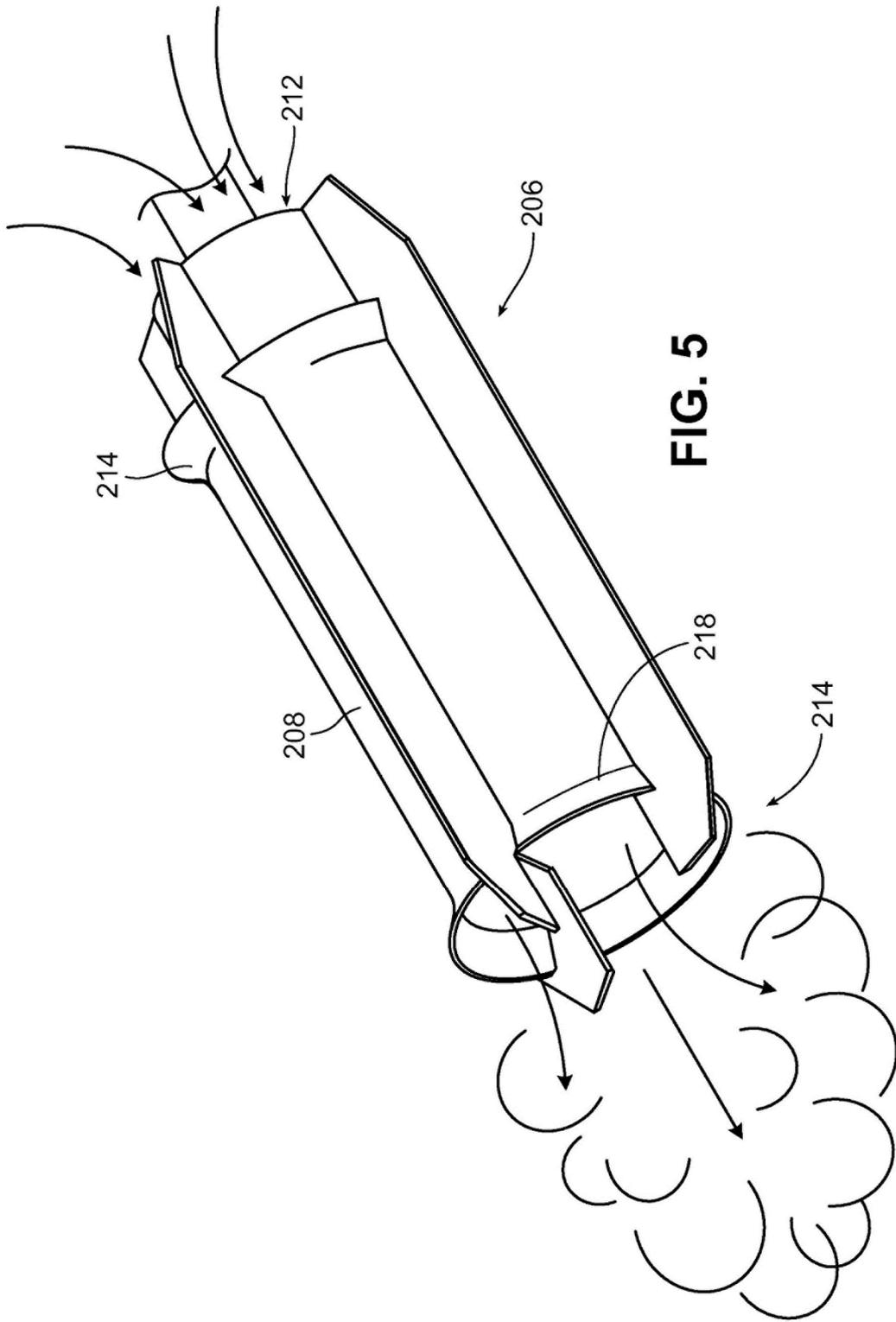


FIG. 4A



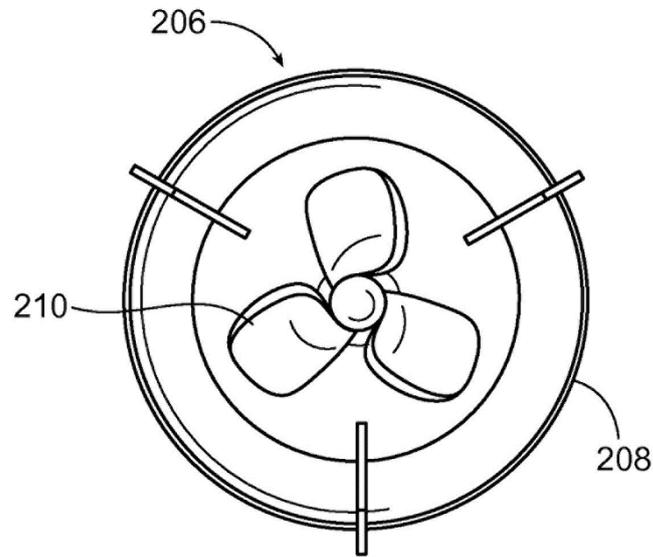


FIG. 5A

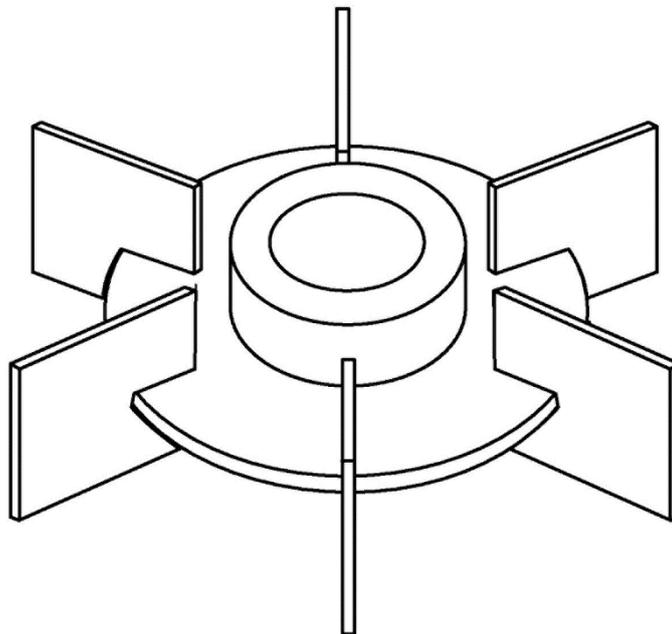


FIG. 5B

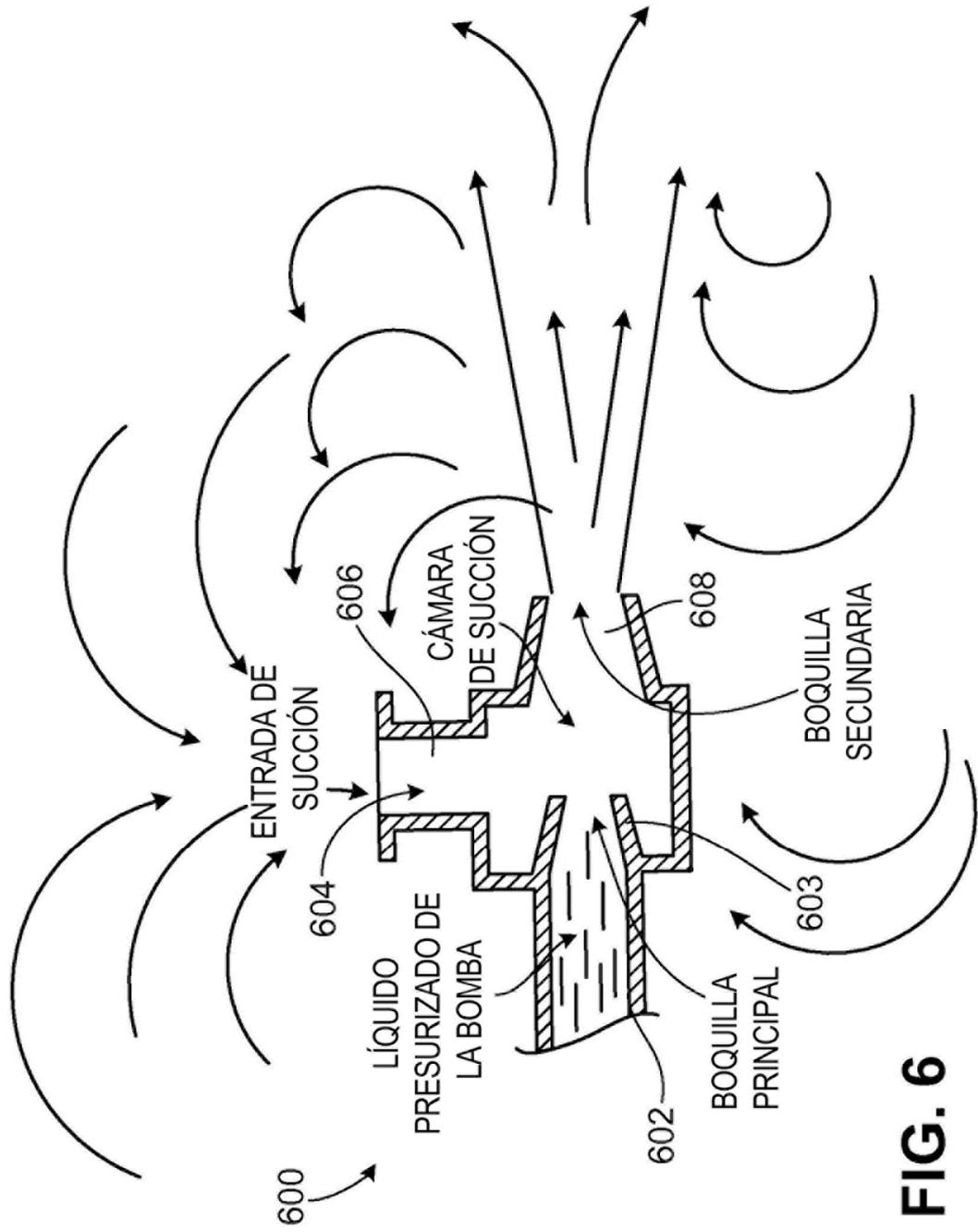


FIG. 6

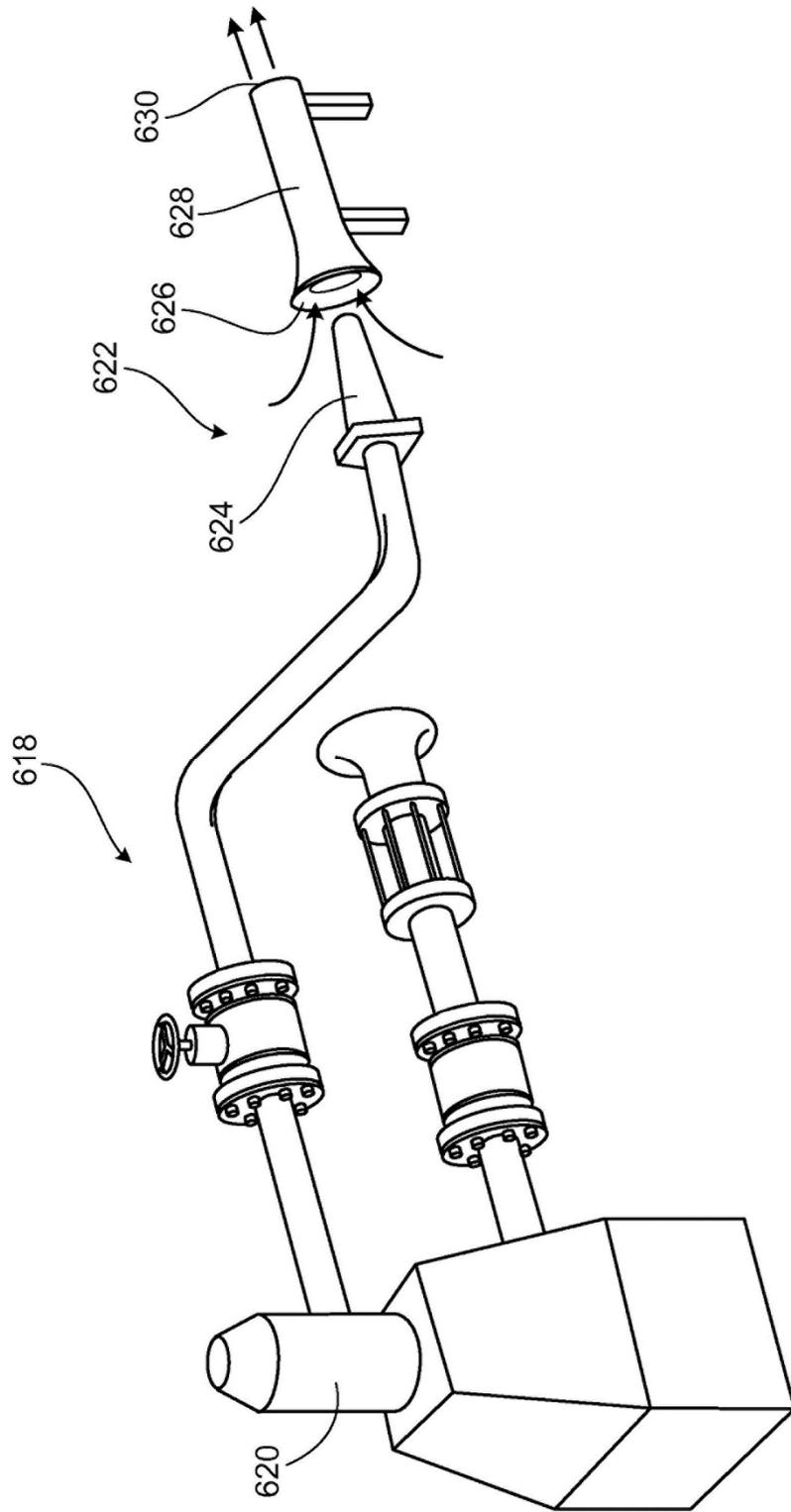


FIG. 6A

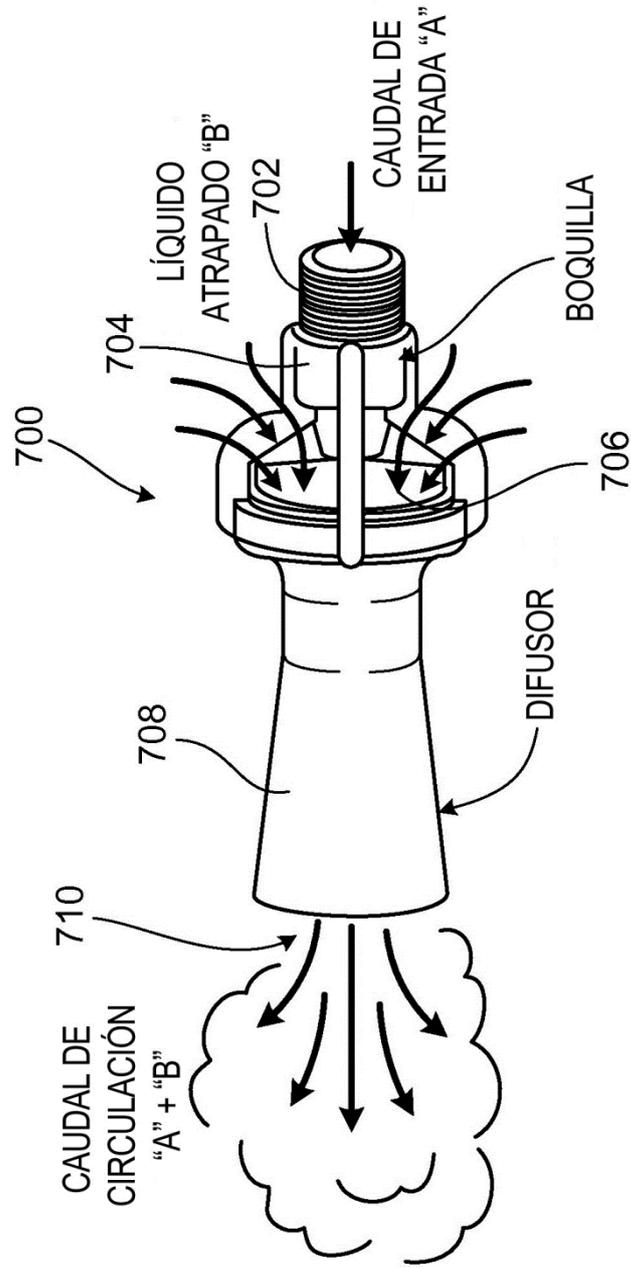


FIG. 7

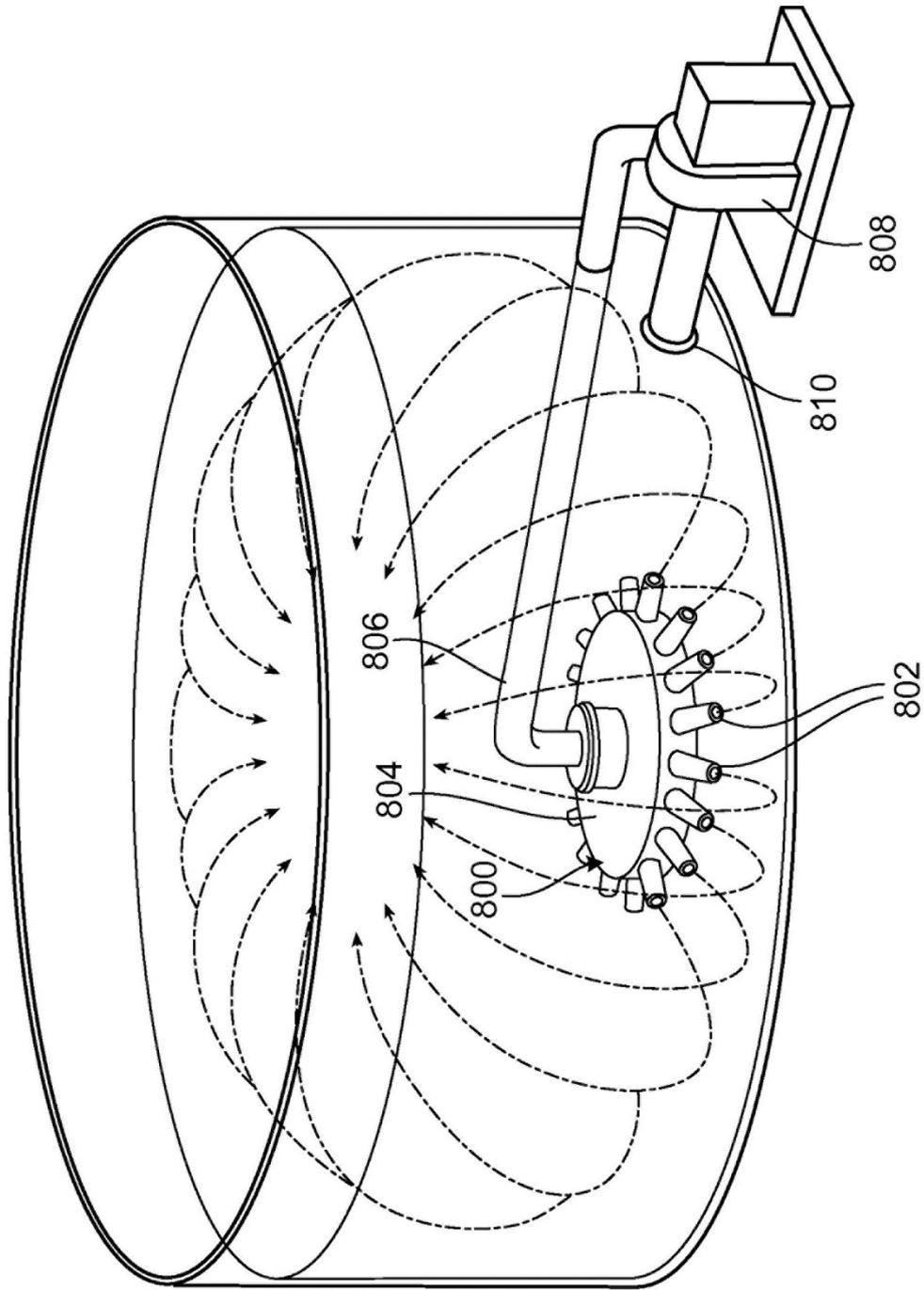


FIG. 8

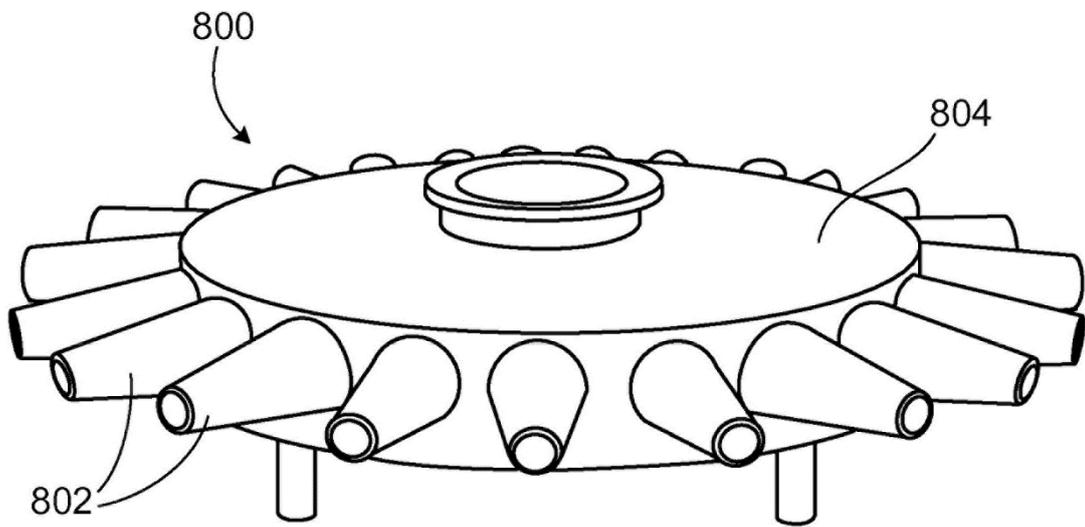


FIG. 8A

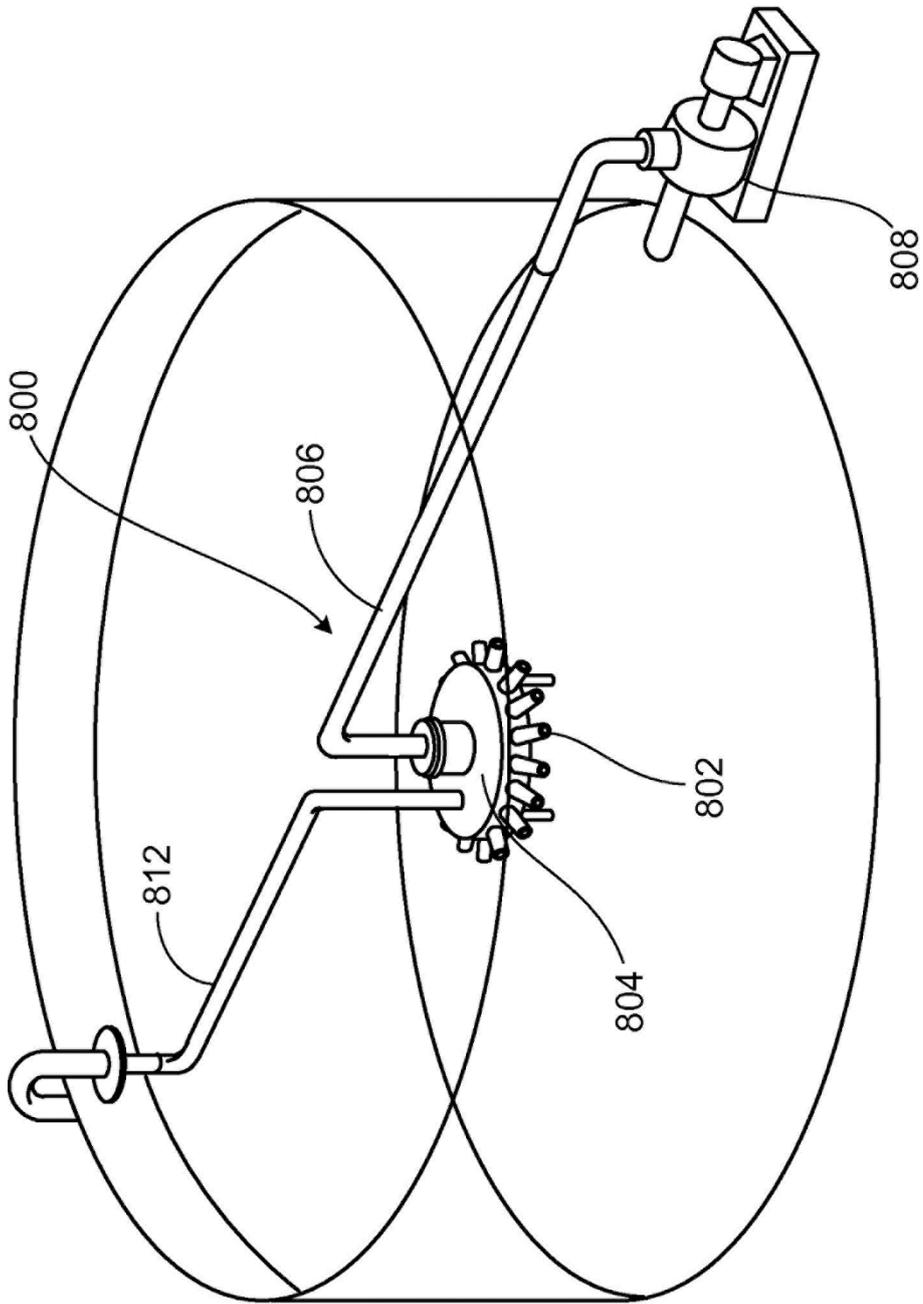


FIG. 8B

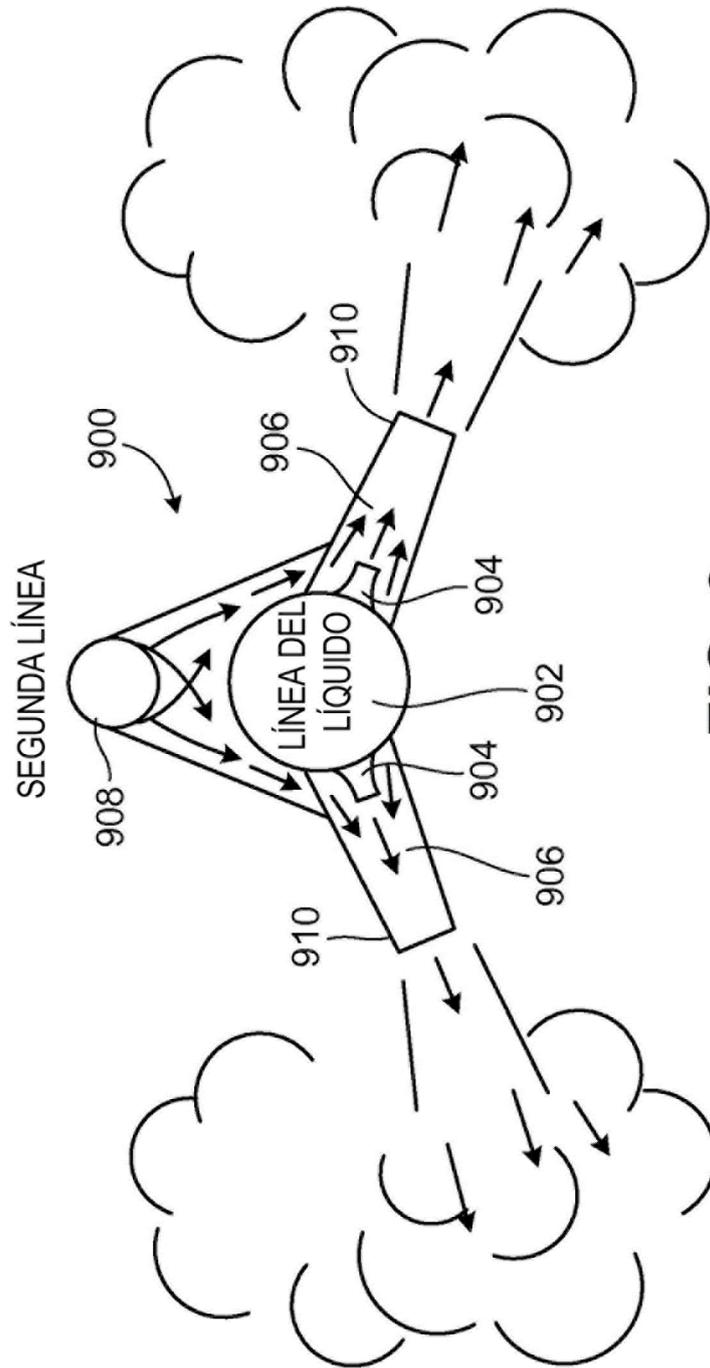


FIG. 9

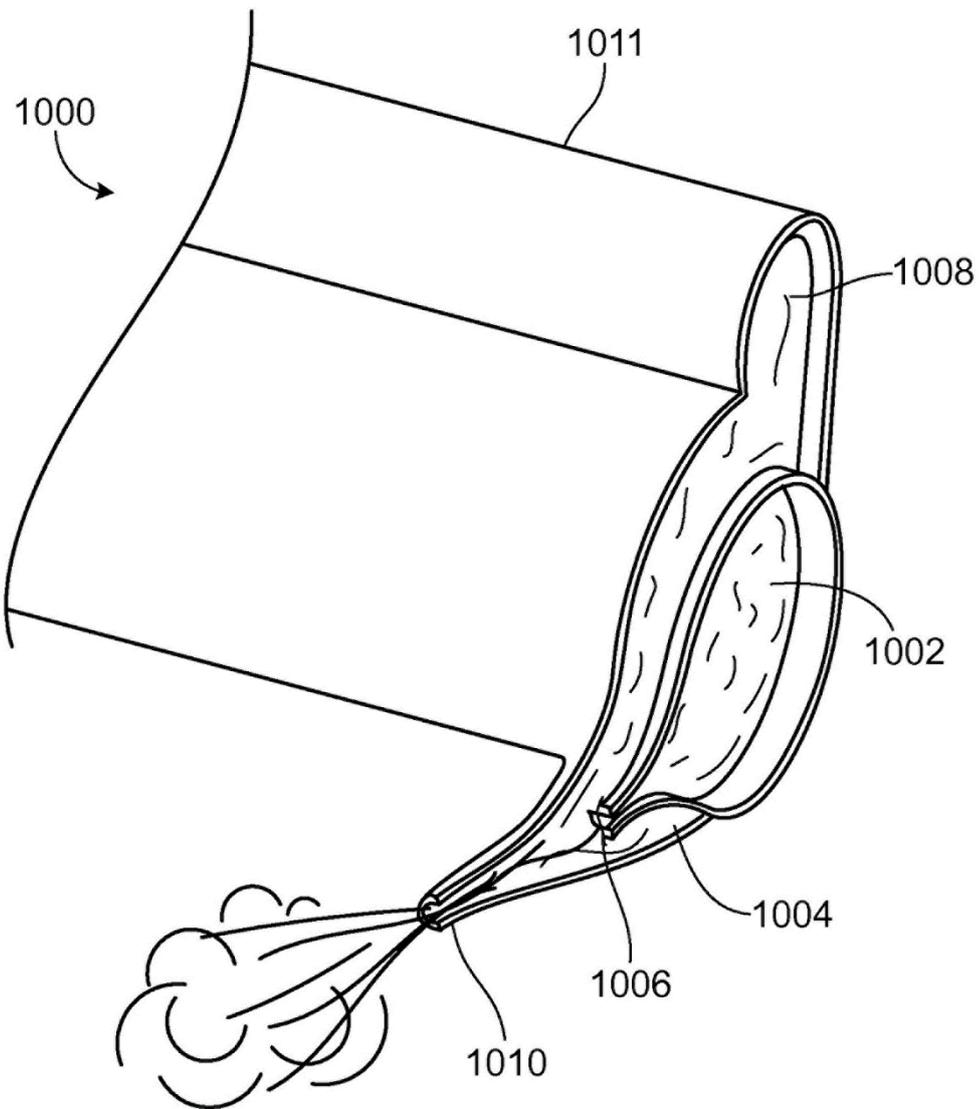


FIG. 10

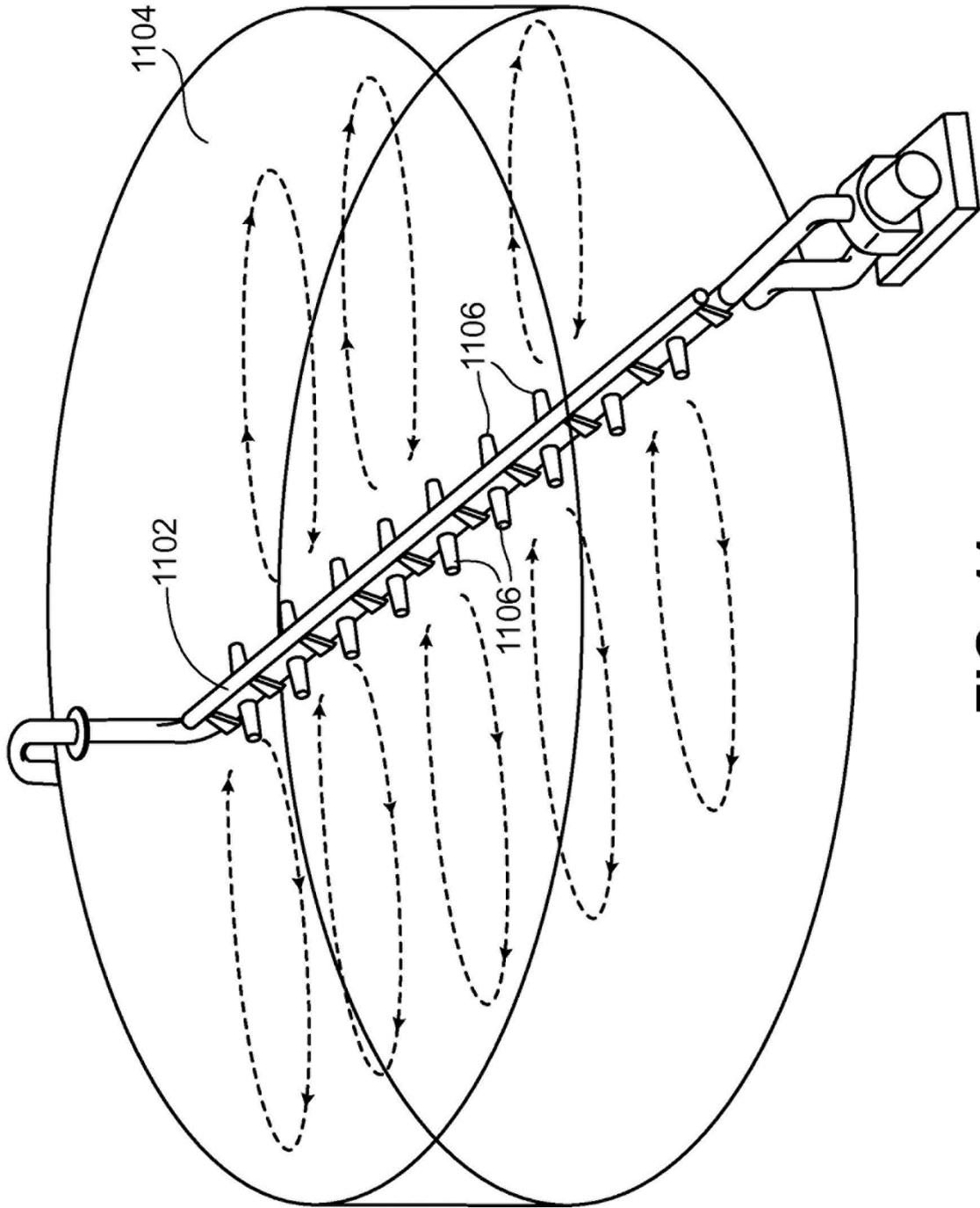


FIG. 11

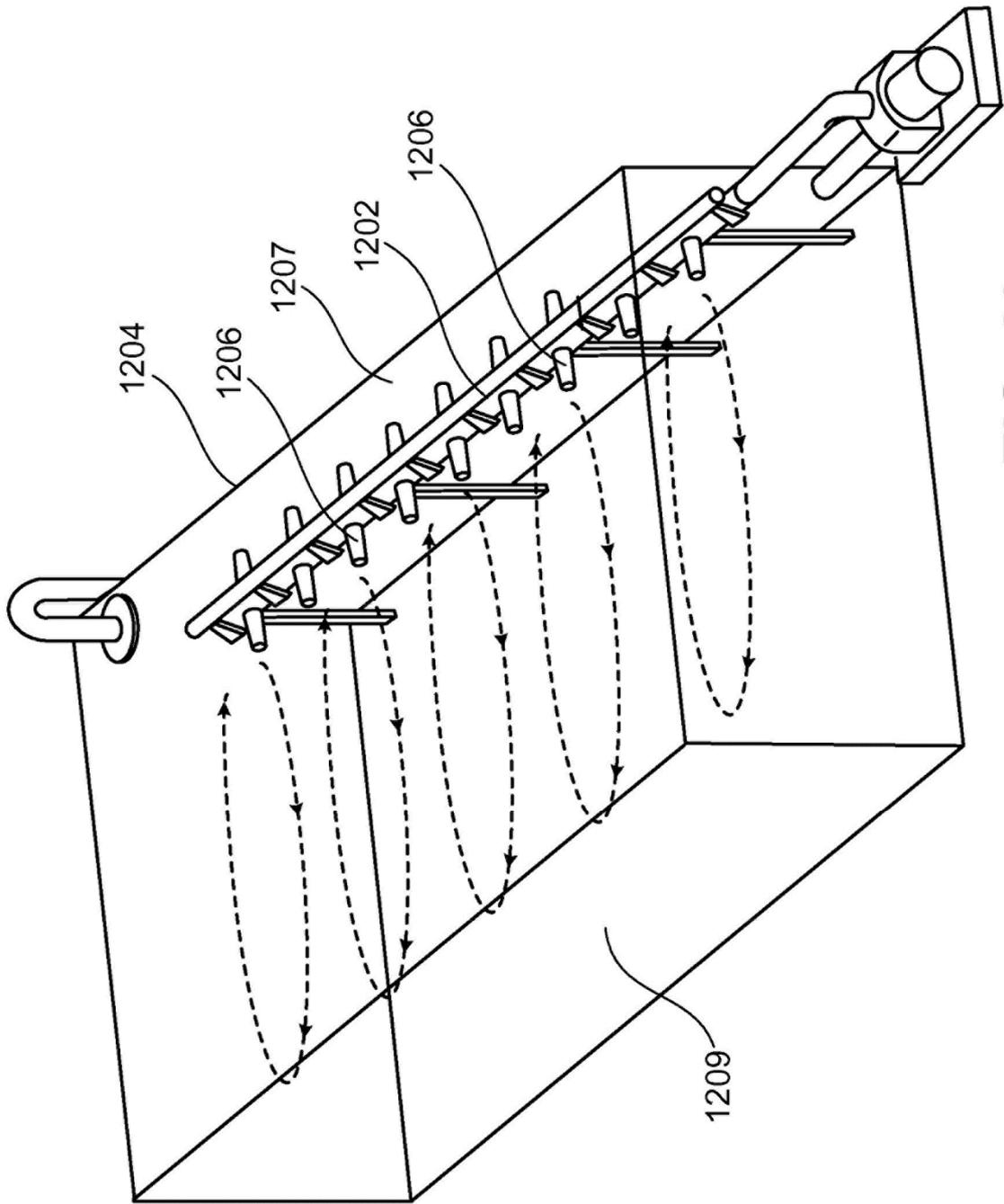


FIG. 12

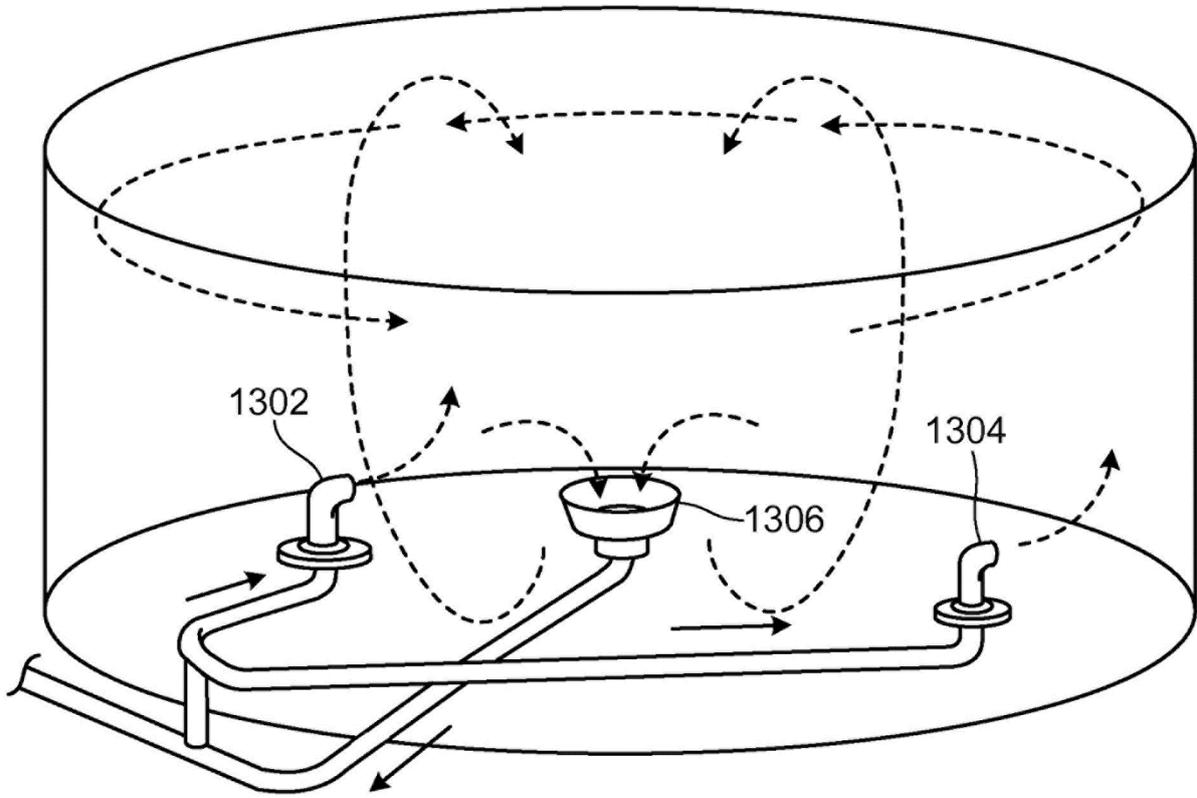


FIG. 13

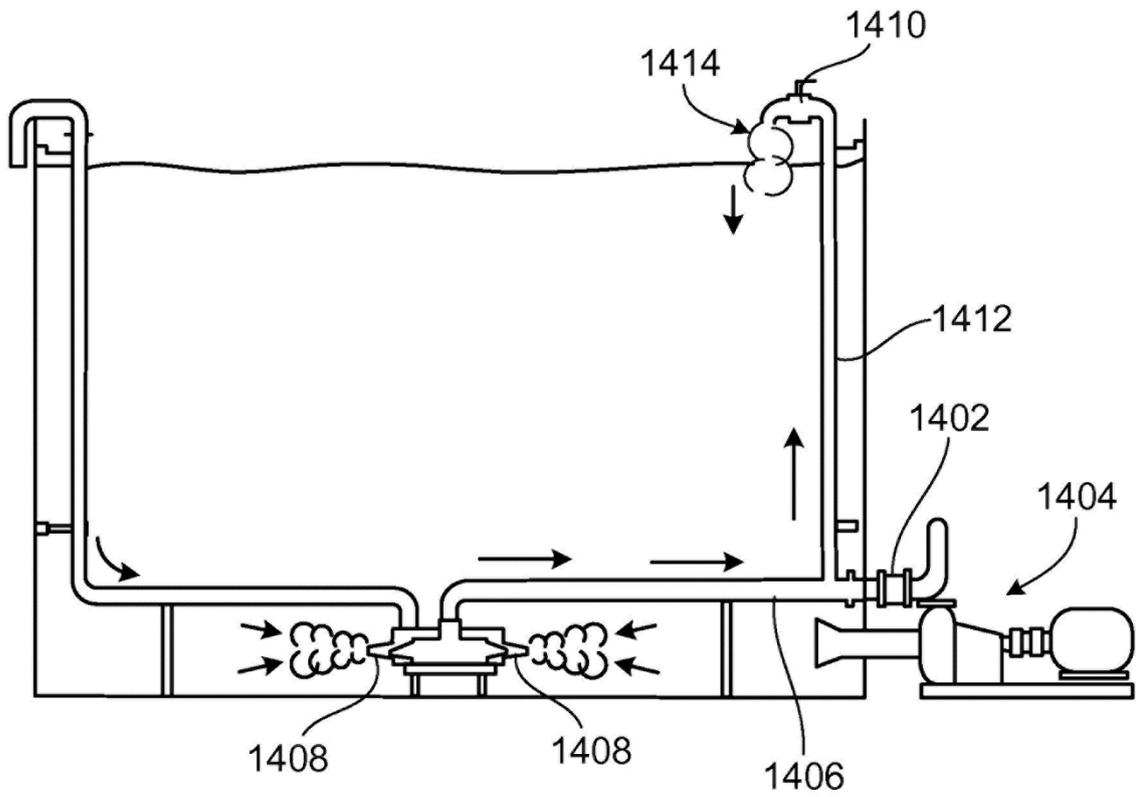


FIG. 14

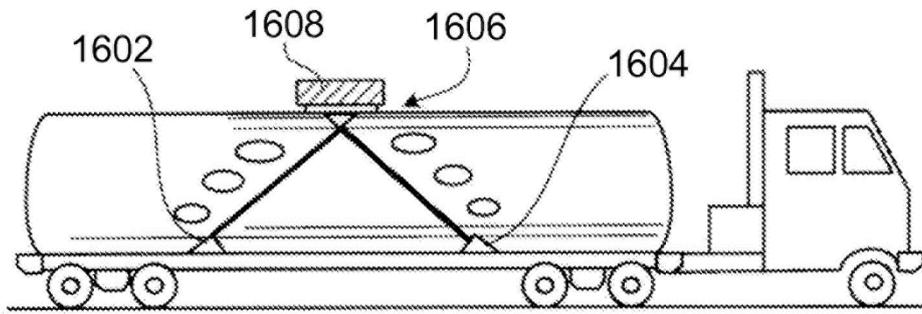


FIG. 15

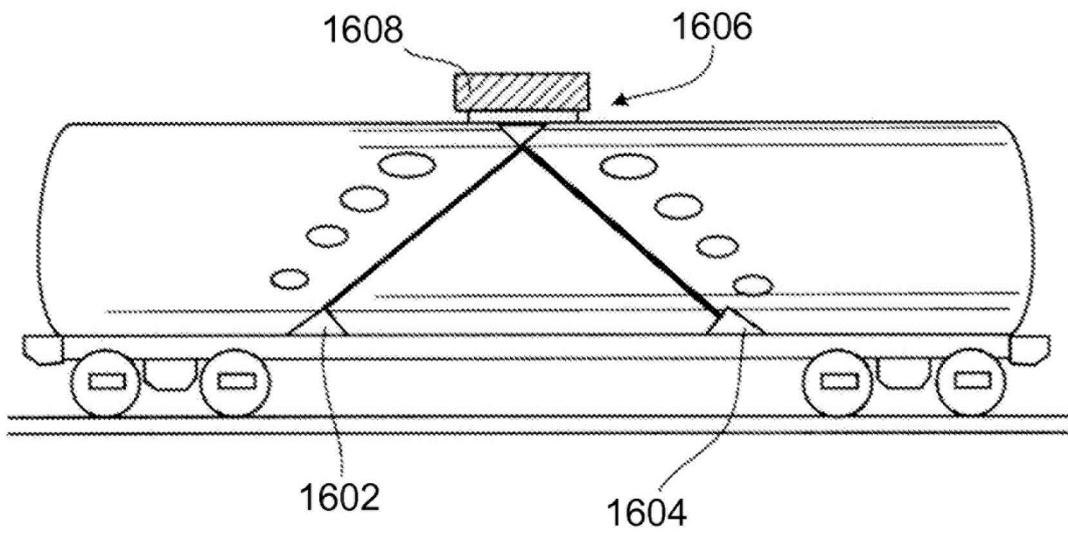


FIG. 15A

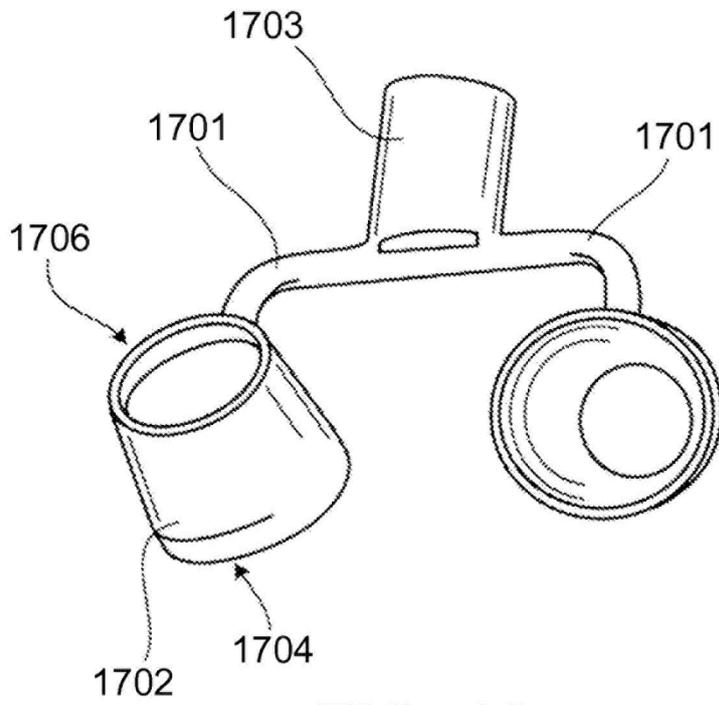


FIG. 16

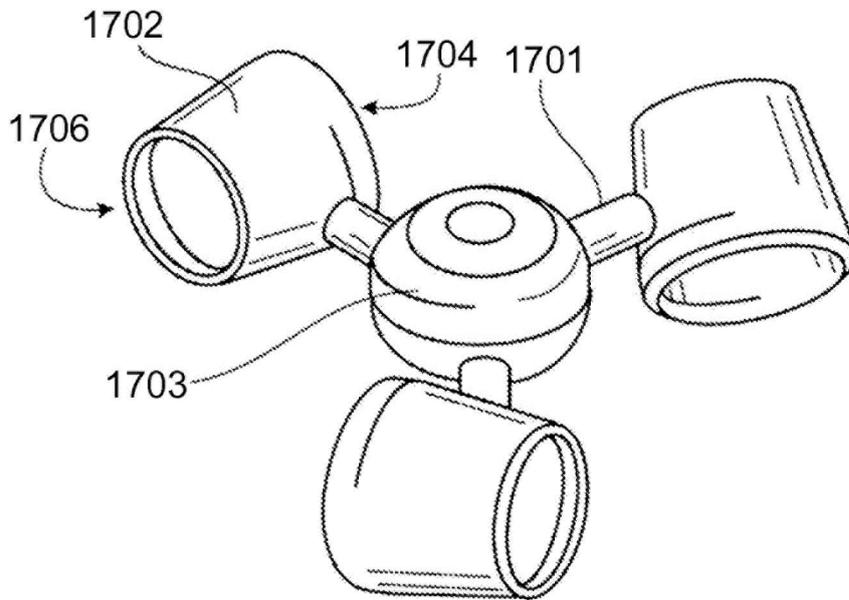


FIG. 16A

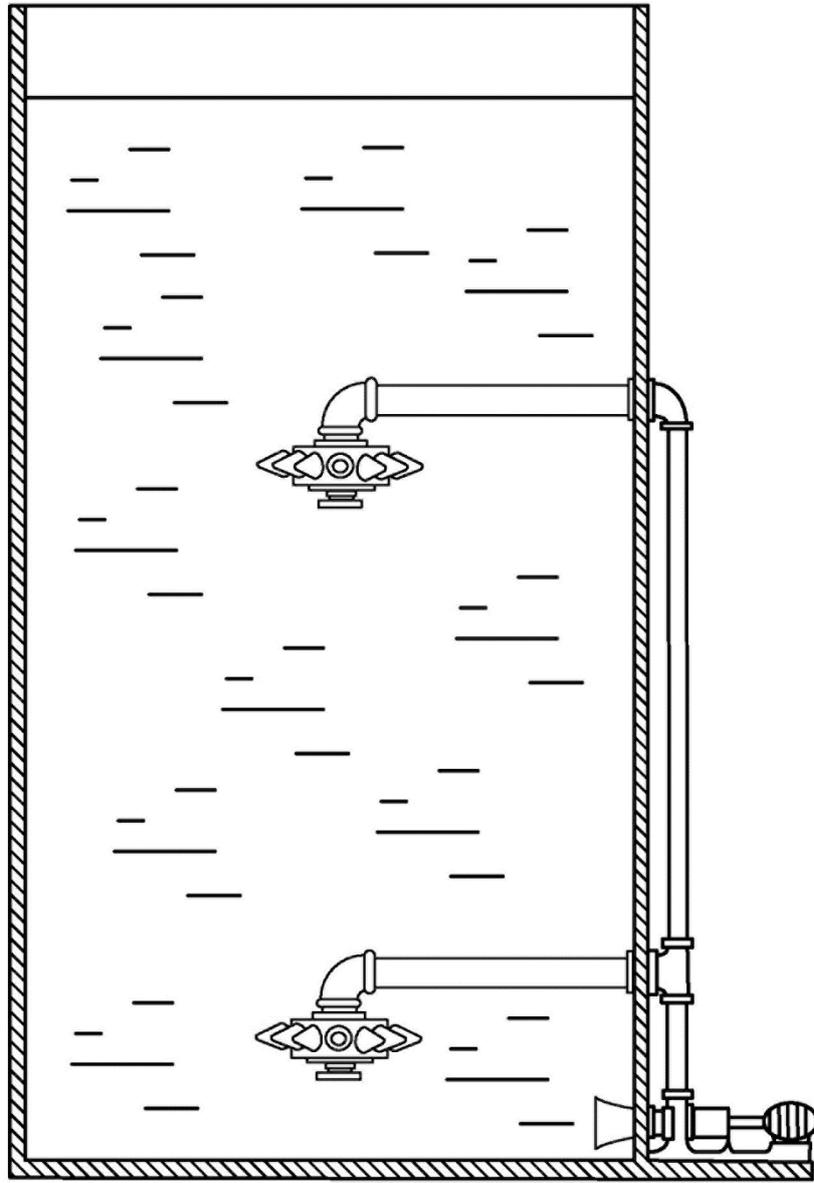


FIG. 17

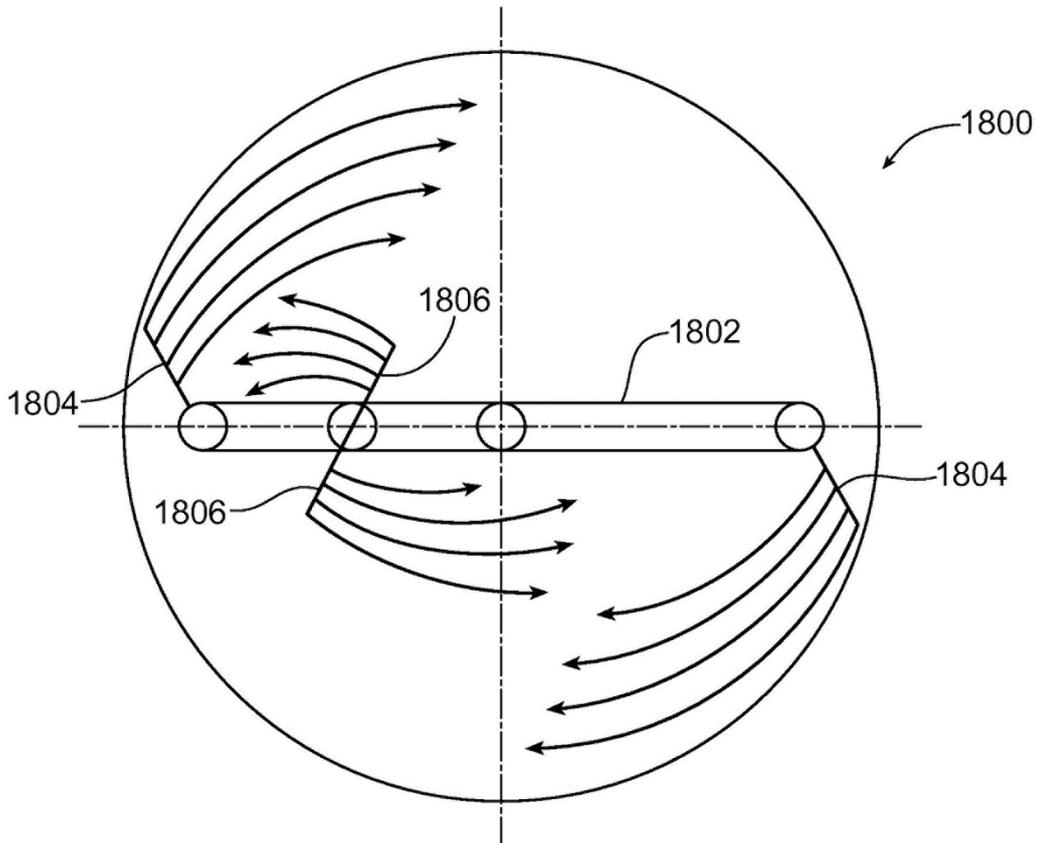


FIG. 18

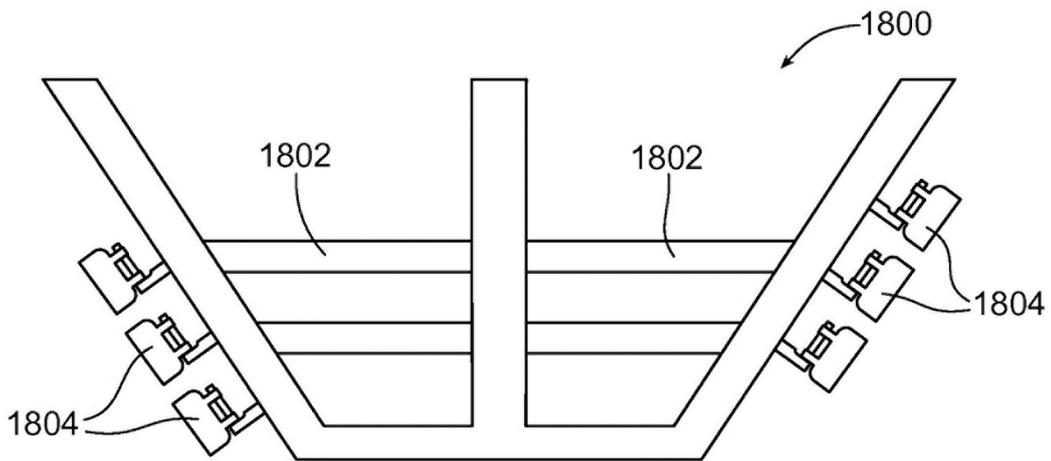


FIG. 18A

FIG. 19

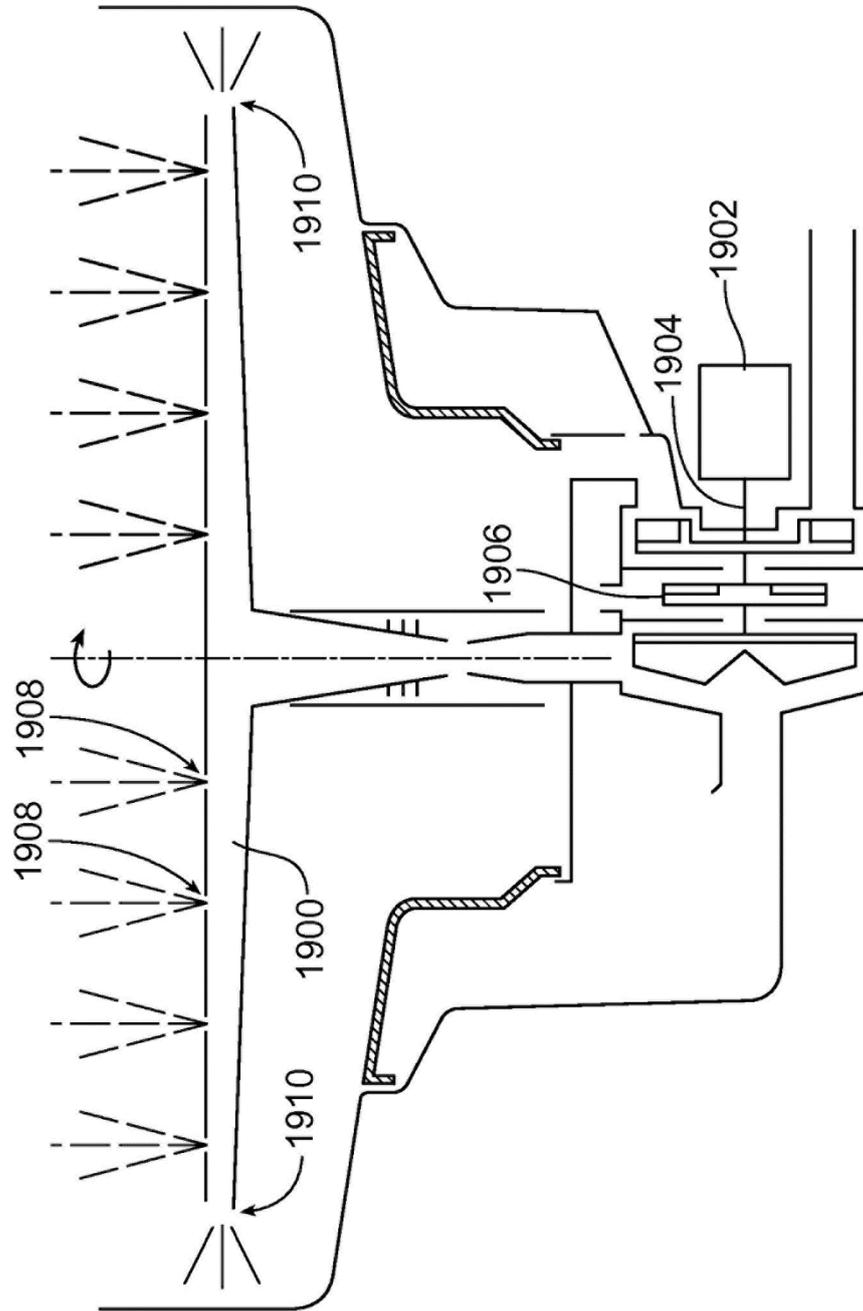
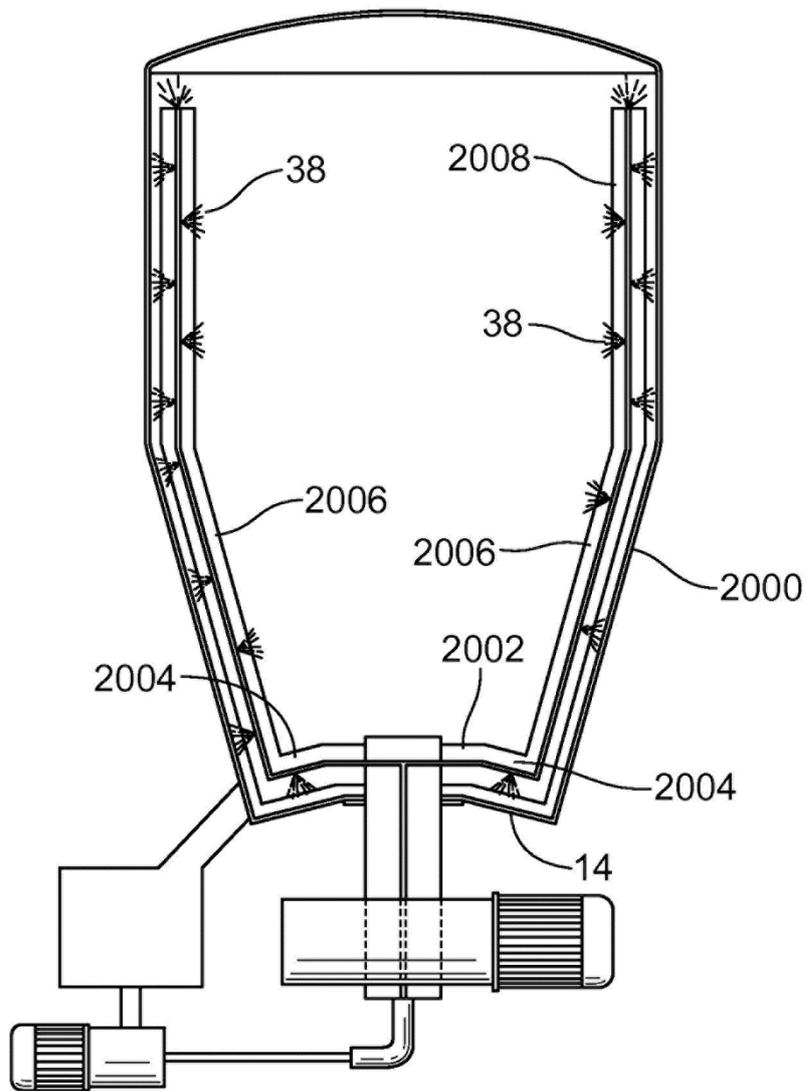


FIG. 20



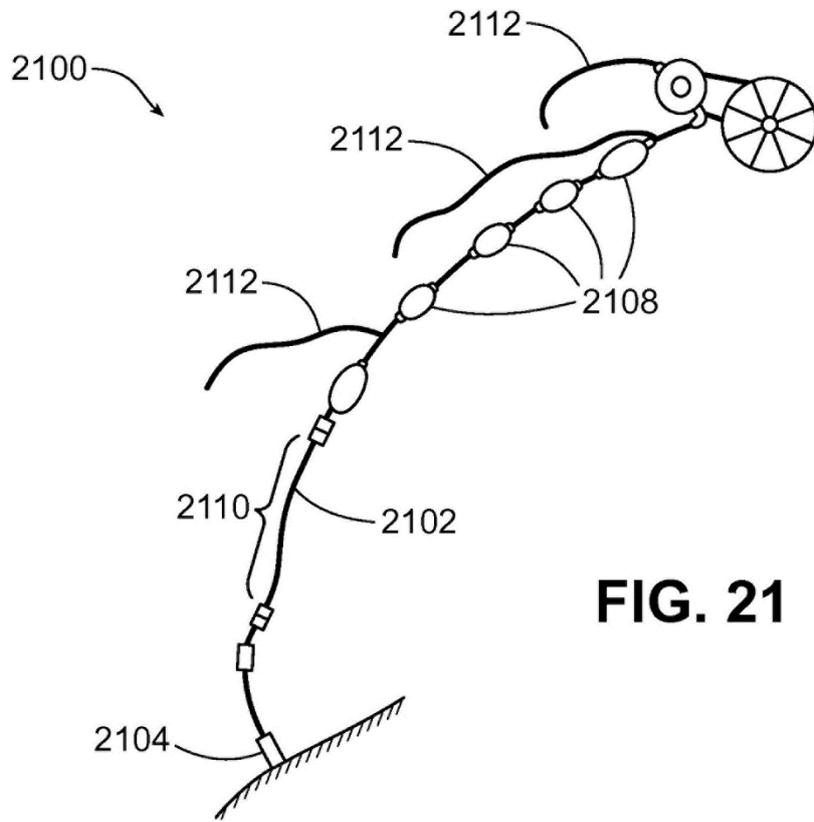


FIG. 21

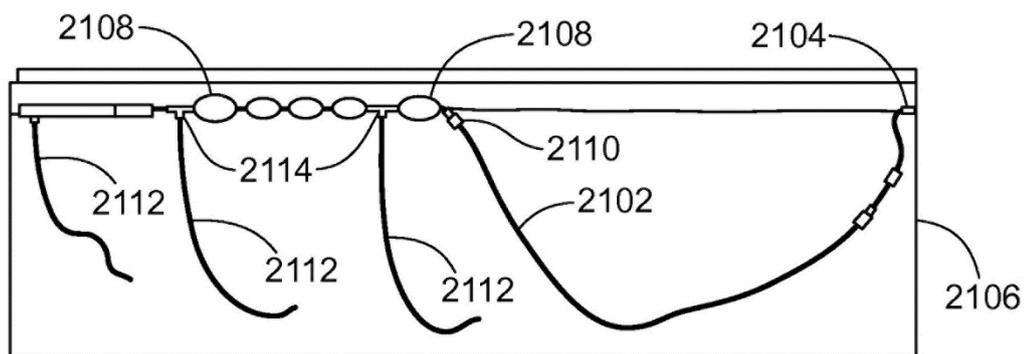


FIG. 21A

FIG. 22

