

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 646 223**

51 Int. Cl.:

C12P 7/08 (2006.01)

C12P 7/14 (2006.01)

C12Q 3/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.12.2012 PCT/US2012/068418**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.06.2013 WO13090139**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.12.2012 E 12809016 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.08.2017 EP 2791345**

54 Título: **Gestión de la concentración de etanol durante la fermentación de singas**

30 Prioridad:

12.12.2011 US 201161569355 P
25.10.2012 US 201213660518

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.12.2017

73 Titular/es:

INEOS BIO SA (100.0%)
Avenue Des Uttins 3
1180 Rolle, CH

72 Inventor/es:

SENARATNE, RYAN y
LIU, SONG

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 646 223 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

Gestión de la concentración de etanol durante la fermentación de singas

5 Se proporciona un proceso para la gestión de la concentración de etanol durante la fermentación de singas. Más específicamente, se retiran las células y el medio de un fermentador y se devuelve una corriente acuosa de etanol reducido al fermentador a una velocidad eficaz para mantener la concentración deseada de etanol, en el que la velocidad para proporcionar la corriente acuosa de etanol reducido se controla mediante la utilización de una medición del factor de crecimiento.

10 Antecedentes

Los microorganismos anaerobios pueden producir etanol a partir de monóxido de carbono (CO) mediante la fermentación de sustratos gaseosos. Las fermentaciones que usan microorganismos anaerobios del género *Clostridium* producen etanol y otros productos útiles. Por ejemplo, la patente estadounidense n.º 5.173.429 describe el *Clostridium jungdahlii* y la ATCC n.º 49587, un microorganismo anaerobio que produce etanol y acetato a partir de gas de síntesis. La patente estadounidense n.º 5.807.722 describe un método y un aparato para la conversión de los gases residuales en alcoholes y ácidos orgánicos usando *Clostridium jungdahlii* de la ATCC n.º 55380. La patente estadounidense n.º 6.136.577 describe un método y un aparato para la conversión de los gases residuales en etanol usando *Clostridium jungdahlii* de la ATCC n.º 55988 y 55989.

25 El CO se proporciona a menudo a la fermentación como parte de un sustrato gaseoso en la forma de un singas. La gasificación de materiales carbonosos para producir gas productor o gas de síntesis o singas que incluye monóxido de carbono e hidrógeno se conoce muy bien en la técnica. Típicamente, tal proceso de gasificación implica una oxidación parcial u oxidación con inyección controlada de aire de material carbonoso en la que una cantidad subestequiométrica de oxígeno se alimenta al proceso de gasificación para promover la producción de monóxido de carbono, tal como se describe en el documento WO 2009/154788.

30 La concentración de etanol aumenta durante la fermentación. Determinados niveles de etanol llegan a ser inhibidores y dan como resultado un fallo del reactor o una productividad reducida. Se necesitan procesos que sean eficaces para equilibrar la retirada de etanol con el mantenimiento de los niveles de densidad celular deseados y la productividad del etanol. El documento de patente US7285402 divulga un método continuo para la producción de etanol a partir de la fermentación bacteriana anaerobia de un sustrato gaseoso que comprende CO, en el que se mantiene la concentración de ácido acético libre en el biorreactor a menos de 5 g/l. El documento también divulga las etapas para retirar el caldo de fermentación del biorreactor de fermentación, destilar el etanol del caldo y reciclar el agua que contiene acetato de la etapa de destilación de vuelta al biorreactor de fermentación.

Sumario

40 La presente invención se refiere a un proceso para la fermentación de singas que comprende:

inocular un medio con un cultivo de bacterias acetogénicas para proporcionar un medio inoculado que tenga una densidad celular de al menos aproximadamente 0,1 gramos por litro;
 45 poner en contacto el singas con el medio inoculado;
 medir un factor de crecimiento y proporcionar una corriente acuosa a la fermentación cuando el factor de crecimiento sea menor que un factor de crecimiento crítico;
 en el que la corriente acuosa comprende una corriente acuosa de etanol reducido;
 en el que dicha corriente acuosa de etanol reducido se obtiene:

50 retirando las células y el medio de la fermentación y separando las células y el medio para proporcionar células concentradas y permeado; y separando el etanol del permeado para proporcionar etanol y la corriente acuosa de etanol reducido.

Breve descripción de las figuras

55 Los anteriores y otros aspectos, características y ventajas de varios aspectos del proceso serán evidentes a partir de los siguientes dibujos.

60 La Figura 1 ilustra un proceso y un sistema para la fermentación de singas.
 La Figura 2 muestra un proceso y un sistema para la fermentación de singas que incluye un tanque de contención de permeado.
 La Figura 3 ilustra un proceso y un sistema para la fermentación de singas que incluye un intercambiador térmico.
 65 La Figura 4 muestra un proceso y un sistema para la fermentación de singas que incluye un intercambiador térmico y un extractor de CO₂.

La Figura 5 ilustra un proceso y un sistema para la fermentación de singas que incluye una torre de lavado de gas de purga.

La Figura 6 muestra un gráfico del factor de crecimiento en comparación con la concentración de etanol para un cultivo de bacterias acetogénicas.

5 La Figura 7 muestra un gráfico del factor de crecimiento en comparación con la concentración de etanol para un cultivo de bacterias acetogénicas.

La Figura 8 ilustra el efecto del reciclado acuoso sobre la concentración de etanol y la captación de CO y H₂.

10 Los caracteres de referencia correspondientes indican los componentes correspondientes en todas las diversas vistas de los dibujos. Los expertos en la materia apreciarán que los elementos en las figuras se ilustran en cuanto a simplicidad y claridad y no se han dibujado necesariamente a escala. Por ejemplo, las dimensiones de algunos de los elementos en las figuras pueden ampliarse con relación a otros elementos para ayudar a mejorar la comprensión de diversos aspectos del presente proceso y aparato. Además, los elementos comunes pero bien entendidos que son útiles o necesarios en aspectos comercialmente viables a menudo no se representan con el fin de facilitar una vista menos obstruida de estos diversos aspectos.

Descripción detallada

20 Tras el inicio y la posterior fermentación, existe la necesidad de equilibrar la retirada de las células y el medio del fermentador con el tiempo requerido para retirar las células del permeado, retirar el etanol del permeado, y el tiempo requerido para devolver un permeado de etanol reducido al fermentador. El presente proceso equilibra estos procesos para proporcionar una fermentación posterior y un inicio estables.

25 Las fermentaciones de singas producidas en los biorreactores con el medio y las bacterias acetogénicas, tal como se describe en el presente documento, son eficaces para proporcionar conversiones de CO en singas en alcoholes y otros productos. Es este aspecto, la productividad puede expresarse como STY (rendimiento espacio-tiempo expresado como g de etanol/(l-día). Es este aspecto, el proceso es eficaz para proporcionar un STY (rendimiento espacio-tiempo) de al menos aproximadamente 10 g/(l día), en otro aspecto, al menos aproximadamente 30 g/(l día), en otro aspecto, al menos aproximadamente 60 g/(l día), y en otro aspecto, al menos aproximadamente 90 g/(l día).
 30 Los valores de STY posibles incluyen de aproximadamente 10 g/(l día), a aproximadamente 200 g/(l día), en otro aspecto, de aproximadamente 10 g/(l día), a aproximadamente 160 g/(l día), en otro aspecto, de aproximadamente 10 g/(l día), a aproximadamente 120 g/(l día), en otro aspecto, de aproximadamente 10 g/(l día), a aproximadamente 80 g/(l día), en otro aspecto, de aproximadamente 20 g/(l día), a aproximadamente 140 g/(l día), en otro aspecto, de aproximadamente 20 g/(l día), a aproximadamente 100 g/(l día), en otro aspecto, de aproximadamente 40 g/(l día), a aproximadamente 140 g/(l día), y en otro aspecto, de aproximadamente 40 g/(l día), a aproximadamente 100 g/(l día).

Definiciones

40 A menos que se definan de otro modo, los siguientes términos, tal como se usan a lo largo de la presente memoria descriptiva, para la presente divulgación se definen tal como sigue y pueden incluir las formas en singular o en plural de las definiciones definidas a continuación:

45 el término "aproximadamente" que modifica cualquier cantidad se refiere a la variación en esa cantidad encontrada en condiciones del mundo real, por ejemplo, en el laboratorio, planta piloto o instalación de producción. Por ejemplo, una cantidad de un ingrediente o medida empleada en una mezcla o cantidad cuando es modificada por el término "aproximadamente" incluye la variación y el grado de cuidado típicamente empleado en la medición de una condición experimental en un laboratorio o planta de producción. Por ejemplo, la cantidad de un componente de un producto cuando está modificada por el término "aproximadamente" incluye la variación entre lotes en múltiples experimentos en la planta o el laboratorio y la variación inherente en el método analítico.
 50 Ya sean o no modificadas por el término "aproximadamente", las cantidades incluyen equivalentes para aquellas cantidades. Cualquier cantidad mencionada en el presente documento y modificada por el término "aproximadamente" también puede emplearse en la presente divulgación como cantidad no modificada por el término "aproximadamente".

55 El término "singas" o "gas de síntesis" significa gas de síntesis que es el nombre dado a una mezcla de gas que contiene cantidades variables de monóxido de carbono e hidrógeno. Los ejemplos de métodos de producción incluyen reformar con vapor gas natural o hidrocarburos para producir hidrógeno, la gasificación de carbono, y en algunos tipos, energía de producción de instalaciones de gasificación. El nombre proviene de su uso como productos intermediarios en la creación de gas natural sintético (SNG) y para la producción de amoníaco o metanol. El singas es combustible y a menudo se usa como fuente de combustible o como producto intermediario para la producción de otros productos químicos.

65 El término "fermentador" incluye un dispositivo de fermentación que consiste en uno o más recipientes y/o disposiciones de tuberías, que incluye el reactor continuo de tanque agitado (CSTR), el reactor celular inmovilizado (ICR), el reactor de lecho percolador (TBR), el reactor de película biológica de lecho en movimiento (MBBR),

columna de burbujeo, fermentador de elevación de gases, reactor de membrana, tal como el biorreactor de membrana de fibra hueca (HFMBR), mezclador estático u otro recipiente u otro dispositivo adecuado para el control de gas-líquido.

5 Los términos "fermentación", "proceso de fermentación" o "reacción de fermentación" y similares pretenden abarcar tanto la fase de crecimiento como la fase de biosíntesis del producto del proceso. En un aspecto, la fermentación se refiere a la conversión de CO en alcohol.

10 El término "densidad celular" significa masa de células de microorganismo por unidad de volumen de caldo de fermentación, por ejemplo, gramos/litro.

15 El término "reciclado celular" se refiere a la separación de células microbianas de un caldo de fermentación y la devolución de todas o parte de aquellas células microbianas separadas al fermentador. De manera general, un dispositivo de filtración se usa para conseguir separaciones.

20 La expresión "que aumenta la eficacia", "eficacia aumentada" y similares, cuando se usa con relación a un proceso de fermentación incluye aumentar uno o más de la velocidad de crecimiento de microorganismos en la fermentación, el volumen o la masa del producto deseado (tal como alcoholes) producido por volumen o masa de sustrato (tal como monóxido de carbono) consumido, la velocidad de producción o el nivel de producción del producto deseado, y la proporción relativa del producto deseado producido en comparación con otros subproductos de fermentación.

Sistema de fermentación de singas

25 La Figura 1 ilustra un proceso y un sistema para la fermentación de singas. El singas se introduce en un recipiente de reactor 100 a través de una entrada de singas 110. El medio y las células se extraen a través de la salida de medio 120 y se alimentan a un filtro de separación celular 200 a través de una alimentación de filtro 160 usando una bomba de recirculación de medio 150. El filtro de separación celular 200 proporciona células concentradas y permeado. El recipiente de reactor 100 recibe células concentradas a través de una línea de reciclado celular 210 y una columna de destilación 400 recibe el permeado a través de una alimentación de permeado 250. La columna de destilación 400 proporciona un azeotropo de agua/etanol 440 y una corriente acuosa de etanol reducido 410. Un secador/tamiz molecular 700 puede recibir el azeotropo de agua/etanol 440 y proporcionar el producto de etanol 720. Un cambiador de calor 500 recibe una parte de la corriente acuosa de etanol reducido 410 a través de una línea de alimentación de cambiador de calor 430. El cambiador de calor 500 proporciona una corriente acuosa de etanol reducido precalentada 510. Una bomba de recirculación de corriente acuosa 550 recibe la corriente acuosa de etanol reducido a través de una línea de alimentación acuosa 420. La bomba de recirculación de corriente acuosa 550 proporciona la corriente acuosa de etanol reducido de vuelta al recipiente de reactor 100 a través de una línea de alimentación de corriente acuosa de etanol reducido 560.

40 En otro aspecto, un aceite de fusel puede retirarse de la columna de destilación 400 en un lado de extracción 450. Tal como se usa en el presente documento, el término "aceite de fusel" puede incluir alcohol de amilo, propanol, butanol, ácidos grasos, ésteres y mezclas de los mismos.

45 La Figura 2 ilustra otro aspecto de un proceso y sistema para la fermentación de singas. El proceso y sistema descritos en la Figura 2 son similares a la Figura 1 y el sistema y proceso de la Figura 2 incluyen un tanque de contención de permeado 300. En este aspecto, el tanque de contención de permeado 300 recibe el permeado de un filtro 200 a través de una línea de alimentación de permeado 220. Una columna de destilación 400 recibe el permeado a través de una línea de alimentación de permeado 250. Cualquiera de los aspectos descritos en el presente documento puede incluir un tanque de contención de permeado.

50 La Figura 3 ilustra otro aspecto de un proceso y sistema para la fermentación de singas. El proceso y sistema descritos en la Figura 3 son similares a la Figura 1 y el sistema y proceso de la Figura 3 incluyen un intercambiador térmico 555. En este aspecto, el intercambiador térmico recibe una corriente acuosa de etanol reducido y el permeado del filtro 200 a través de una línea de alimentación 230. El intercambiador térmico 555 es eficaz para proporcionar un permeado precalentado. La columna de destilación 400 recibe el permeado precalentado a través de una línea de alimentación de permeado calentado 252. En este aspecto, puede utilizarse el calor que permanece en la corriente acuosa de etanol reducido para precalentar el permeado antes de la destilación. Cualquiera de los aspectos descritos en el presente documento puede incluir intercambiador térmico.

60 La Figura 4 ilustra otro aspecto de un proceso y sistema para la fermentación de singas. El proceso y sistema descritos en la Figura 4 son similares a la Figura 1 y el sistema y proceso de la Figura 4 incluyen un extractor de CO₂ 600. En este aspecto, el extractor de CO₂ 600 recibe el permeado y es eficaz para proporcionar un permeado de CO₂ reducido. El permeado de CO₂ reducido tendrá un nivel de CO₂ inferior a antes de la extracción. En este aspecto, el permeado de CO₂ reducido tendrá una reducción de CO₂ de aproximadamente el 10 % o superior, en otro aspecto, de aproximadamente el 25 % o superior, en otro aspecto, de aproximadamente el 50 % o superior, en otro aspecto, de aproximadamente el 75 % o superior, y en otro aspecto, de aproximadamente el 90 % o superior, en comparación con el permeado antes de la retirada de CO₂. La columna de destilación 400 recibe el permeado de

CO₂ reducido a través de una línea de alimentación de permeado de CO₂ 254. Este aspecto puede incluir un intercambiador térmico 555, tal como se muestra, y también puede incluir un tanque de contención de permeado.

La Figura 5 ilustra otro aspecto de un proceso y sistema para la fermentación de singas. El proceso y sistema descritos en la Figura 5 son similares a la Figura 1 y el sistema y proceso de la Figura 5 incluye una torre de lavado de gas de purga 620. Es este aspecto, la torre de lavado de gas de purga 620 recibe la corriente acuosa de etanol reducido a través de una línea de alimentación de etanol 560, el gas de purga a través de una línea de alimentación de gas de purga 640 y el gas de escape 750 de la columna de destilación. La torre de lavado de gas de purga 620 proporciona una corriente acuosa de etanol reducido de vuelta al recipiente de reactor 100 a través de la línea de alimentación acuosa 563 y deja que el gas de purga se purgue a través de la salida de gas de purga 650. La torre de lavado de gas de purga puede incluirse en cualquiera de los aspectos descritos en el presente documento. En un aspecto, la torre de lavado de gas de purga puede ser eficaz para la retirada de etanol del gas extraído del fermentador.

15 Proceso de fermentación de singas

Medio: de acuerdo con un aspecto, el proceso de fermentación se inicia mediante la adición de un medio adecuado al recipiente de reactor. El líquido contenido en el recipiente de reactor puede incluir cualquier tipo de medio nutriente o caldo de fermentación adecuado. El medio nutriente incluirá vitaminas y minerales eficaces para posibilitar el crecimiento del microorganismo que se usa. Algunos ejemplos de composiciones de medio se describen en la patente estadounidense n.º 7.285.402, presentada el 23 de julio de 2001. El medio puede esterilizarse para retirar los microorganismos no deseables y el reactor se inocula con los microorganismos deseados. La esterilización puede que no se requiera siempre.

Inóculo: de acuerdo con el proceso, un cultivo de bacterias acetogénicas se inoculan en un reactor para proporcionar un medio inoculado que tiene una densidad celular mínima. Tal como se usa en el presente documento, el término "densidad celular mínima" significa una densidad celular viable de al menos aproximadamente 0,1 gramos por litro, en otro aspecto, de al menos aproximadamente 0,2 gramos por litro, en otro aspecto, de al menos aproximadamente 0,3 gramos por litro, en otro aspecto, de al menos aproximadamente 0,4 gramos por litro, y en otro aspecto, de al menos aproximadamente 0,5 gramos por litro. La densidad celular mínima no superará aproximadamente 1,2 gramos por litro. En otro aspecto, el primer cultivo usado para inocular un pre-reactor o reactor de cultivo tiene un pH de 6,5 o inferior, en otro aspecto, de 4,5 o inferior, y en otro aspecto, de aproximadamente 4,0 a aproximadamente 4,5. El primer cultivo usado para inocular un reactor tiene una concentración de ácido acético de aproximadamente 10 gramos por litro o inferior, en otro aspecto, de aproximadamente 1 a aproximadamente 10 gramos por litro, en otro aspecto, de aproximadamente 1 a aproximadamente 5 gramos por litro, en otro aspecto, de aproximadamente 1 a aproximadamente 3 gramos por litro, y en otro aspecto, de aproximadamente 2 gramos por litro. Los microorganismos utilizados incluyen bacterias acetogénicas. Los ejemplos de bacterias acetogénicas útiles incluyen aquellas del género *Clostridium*, tales como cepas de *Clostridium ljungdahlii*, incluyendo aquellas descritas en el documento WO 2000/68407, EP 117309, las patentes estadounidenses n.º 5.173.429, 5.593.886 y 6.368.819, y los documentos WO 1998/00558 y WO 2002/08438, cepas de *Clostridium autoethanogenum* (DSM 10061 y DSM 19630 of DSMZ, Alemania), incluyendo aquellas descritas en el documento WO 2007/117157 y WO 2009/151342 y de *Clostridium ragsdalei* (P11, ATCC BAA-622) y de *Alkalibaculum bacchi* (CP11, ATCC BAA-1772), incluyendo aquellas descritas respectivamente en la patente estadounidense n.º 7.704.723 y en el documento "Biofuels and Bioproducts from BiomassGenerated Synthesis Gas", Hasan Atiyeh, presentado en la Oklahoma EPSCoR Annual State Conference, el 29 de abril de 2010 y de *Clostridium carboxidivorans* (ATCC PTA-7827) descritas en la solicitud de patente estadounidense n.º 2007/0276447. Otros microorganismos adecuados incluyen aquellos del género *Moorella*, incluyendo *Moorella* sp. HUC22-1, y aquellos del género *Carboxydotherrmus*. Pueden usarse cultivos mixtos de dos o más microorganismos.

Algunos ejemplos de bacterias útiles incluyen *Acetogenium kivui*, *Acetoanaerobium noterae*, *Acetobacterium woodii*, *Alkalibaculum bacchi* CP11 (ATCC BAA-1772), *Blautia producta*, *Butyribacterium methylotrophicum*, *Caldanaerobacter subterraneus*, *Caldanaerobacter subterraneus pacificus*, *Carboxydotherrmus hydrogenoformans*, *Clostridium aceticum*, *Clostridium acetobutylicum*, *Clostridium acetobutylicum* P262 (DSM 19630 de DSMZ, Alemania), *Clostridium autoethanogenum* (DSM 19630 de DSMZ, Alemania), *Clostridium autoethanogenum* (DSM 10061 de DSMZ, Alemania), *Clostridium autoethanogenum* (DSM 23693 de DSMZ, Alemania), *Clostridium autoethanogenum* (DSM 24138 de DSMZ, Alemania), *Clostridium carboxidivorans* P7 (ATCC PTA-7827), *Clostridium coskatii* (ATCC PTA-10522), *Clostridium drakei*, *Clostridium ljungdahlii* PETC (ATCC 49587), *Clostridium ljungdahlii* ERI2 (ATCC 55380), *Clostridium ljungdahlii* C-01 (ATCC 55988), *Clostridium ljungdahlii* O-52 (ATCC 55889), *Clostridium magnum*, *Clostridium pasteurianum* (DSM 525 de DSMZ, Alemania), *Clostridium ragsdalei* P11 (ATCC BAA-622), *Clostridium scatologenes*, *Clostridium thermoaceticum*, *Clostridium ultunense*, *Desulfotomaculum kuznetsovii*, *Eubacterium limosum*, *Geobacter sulfurreducens*, *Methanosarcina acetivorans*, *Methanosarcina barkeri*, *Morrella thermoacetica*, *Morrella thermoautotrophica*, *Oxobacter pfennigii*, *Peptostreptococcus productus*, *Ruminococcus productus*, *Thermoanaerobacter kivui*, y mezclas de las mismas.

Singas: la gasificación implica una combustión parcial de biomasa en una alimentación restringida de oxígeno. El gas resultante incluye principalmente CO y H₂. Es este aspecto, el singas contendrá al menos aproximadamente el

20 % molar de CO, en un aspecto, de aproximadamente el 20 a aproximadamente el 100 % molar de CO, en otro aspecto, de aproximadamente el 30 a aproximadamente el 90 % molar de CO, en otro aspecto, de aproximadamente el 40 a aproximadamente el 80 % molar de CO, y en otro aspecto, de aproximadamente el 50 a aproximadamente el 70 % molar de CO. El singas tendrá una relación de CO/CO₂ de al menos aproximadamente 0,75. Algunos ejemplos de métodos y aparatos de gasificación adecuados se proporcionan en los documentos U.S. con los números de serie 61/516.667, 61/516.704 y 61/516.646, todos se presentaron el 6 de abril de 2011 (véanse las solicitudes de patente publicadas US2012/256128, US2012/256129, US2012/256130, US2012/256131), y en los documentos U.S. con los números de serie 13/427.144, 13/427.193 y 13/427.247, todos se presentaron el 22 de marzo de 2012 (publicados como US2012/256129, US2012/256130, US2012/256131). El singas se introduce en el biorreactor a una velocidad eficaz para mantener una presión en el biorreactor de al menos aproximadamente 0 psig, en otro aspecto, de aproximadamente 0,25 psig, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 psig, en otro aspecto, de aproximadamente 1, y en otro aspecto, por ejemplo, de aproximadamente 10 a aproximadamente 250 psig. En varios aspectos diferentes, la presión puede ser de aproximadamente 10 a aproximadamente 200 psig, de aproximadamente 10 a aproximadamente 100 psig, de aproximadamente 10 a aproximadamente 75 psig, de aproximadamente 10 a aproximadamente 50 psig, de aproximadamente 10 a aproximadamente 25 psig, de aproximadamente 20 a aproximadamente 250 psig, de aproximadamente 20 a aproximadamente 200 psig, de aproximadamente 20 a aproximadamente 100 psig, de aproximadamente 20 a aproximadamente 75 psig, de aproximadamente 20 a aproximadamente 50 psig, de aproximadamente 20 a aproximadamente 25 psig, de aproximadamente 30 a aproximadamente 250 psig, de aproximadamente 30 a aproximadamente 200 psig, de aproximadamente 30 a aproximadamente 100 psig, de aproximadamente 30 a aproximadamente 75 psig, de aproximadamente 30 a aproximadamente 50 psig, de aproximadamente 40 a aproximadamente 250 psig, de aproximadamente 40 a aproximadamente 200 psig, de aproximadamente 40 a aproximadamente 100 psig, de aproximadamente 40 a aproximadamente 75 psig, de aproximadamente 40 a aproximadamente 50 psig, de aproximadamente 50 a aproximadamente 250 psig, de aproximadamente 50 a aproximadamente 200 psig, de aproximadamente 50 a aproximadamente 100 psig, y de aproximadamente 50 a aproximadamente 75 psig.

En un aspecto, en fermentadores de determinado tamaño, el singas se introduce en el rociador/entrada de gas a una velocidad de aproximadamente 10 a aproximadamente 50 pies³/s, y en otro aspecto, a una velocidad de aproximadamente 25 a aproximadamente 35 pies³/s. La presión se controla mediante el control de la velocidad a la que se introduce el singas en combinación con el control de la velocidad a la que se escapa el gas del recipiente de reacción. La presión puede medirse en el espacio de cabezal del reactor o en el fondo del recipiente de reacción.

Agitación: el inicio de la agitación se ajusta de aproximadamente 10 a aproximadamente 30 Hz, en otro aspecto, aproximadamente 25 Hz, durante la inoculación. La agitación aumenta de aproximadamente 35 a aproximadamente 50 Hz, en otro aspecto, aproximadamente 45 Hz, a una velocidad de aumento de aproximadamente 2 a aproximadamente 10 Hz cada 10 minutos, y en otro aspecto, aproximadamente 5 Hz cada 10 minutos.

Reciclado celular: tras alcanzar una concentración de etanol superior a aproximadamente 10 g/litro en la fermentación, el proceso incluye retirar las células y el medio del fermentador 100. En otro aspecto, el proceso incluye retirar las células y el medio cuando la fermentación alcanza una concentración de etanol superior a aproximadamente 20 g/litro, y en otro aspecto, superior a aproximadamente 30 g/litro. Las células concentradas y el medio se proporcionan mediante la separación de las células del medio. La separación de las células del medio se puede hacer usando los métodos conocidos, tales como, por ejemplo, un filtro de separación celular 200. Tal como se usa en el presente documento, el término "células concentradas" se refiere a una corriente de células que tiene una densidad de células superior a antes de la separación del medio de las células. El término "permeado" se refiere al medio después de la separación de las células. En este aspecto, el permeado puede contener etanol. Todas o parte de las células concentradas pueden devolverse al fermentador 100. En un aspecto, el reciclado celular puede iniciarse antes de o inmediatamente tras la inoculación.

En otro aspecto, las células y el medio pueden retirarse tras alcanzar una densidad celular de aproximadamente 0,5 gramos por litro o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 0,6 gramos por litro o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 0,7 gramos por litro o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 0,8 gramos por litro o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 0,9 gramos por litro o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 1,0 gramos por litro o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 1,5 gramos por litro o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 2,0 gramos por litro o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 2,5 gramos por litro o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 5,0 gramos por litro o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 1,0 a aproximadamente 4,0 gramos por litro o superior, y en otro aspecto, de aproximadamente 2,0 a aproximadamente 3,0 gramos por litro o superior.

El proceso proporciona la separación de etanol del permeado para alimentar etanol y una corriente acuosa de etanol reducido. En un aspecto, el permeado puede transferirse a un tanque de contención de permeado 300 y, posteriormente, transferirse a una columna de destilación 400. En un aspecto, tras alcanzar un volumen de al menos aproximadamente el 1 % a aproximadamente el 100 % de un volumen total del tanque de contención de permeado, se transfiere de manera continua el permeado del tanque de contención a una columna de destilación 400. En otro aspecto, la transferencia de permeado a la columna de destilación se puede producir una vez que el tanque de contención de permeado 300 alcanza un volumen de aproximadamente el 10 % de su volumen total, en otro

aspecto, de aproximadamente el 25 % de su volumen, en otro aspecto, de aproximadamente el 50 % de su volumen, en otro aspecto, de al menos aproximadamente el 75 % de su volumen, y en otro aspecto, de al menos aproximadamente el 90 % de su volumen. La columna de destilación 400 proporciona etanol 450 y una corriente acuosa de etanol reducido 410. La columna de destilación puede ser cualquier columna de destilación conocida en la técnica, por ejemplo, una columna de bandeja, una columna empaquetada. La columna de destilación produce generalmente un azeotropo de agua-etanol que se procesa adicionalmente usando, por ejemplo, un tamiz molecular para producir etanol anhidro.

Tal como se usa en el presente documento, el término "corriente acuosa de etanol reducido" se refiere a la corriente acuosa después de la retirada de al menos una parte de etanol. La corriente acuosa de etanol reducido puede incluir solo la corriente acuosa de etanol reducido de la columna de destilación o puede incluir la corriente acuosa de etanol reducido de la columna de destilación además de otro medio añadido y/o agua. La corriente acuosa de etanol reducido se devuelve de manera continua al recipiente de reactor 100. Es este aspecto, una relación de una velocidad para proporcionar la corriente acuosa de etanol reducido respecto a una velocidad para retirar las células y el medio es de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 25, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 10, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 5, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 1, en otro aspecto, de aproximadamente 1 a aproximadamente 20, en otro aspecto, de aproximadamente 5 a aproximadamente 15, en otro aspecto, de aproximadamente 5 a aproximadamente 10, en otro aspecto, de aproximadamente 4 a aproximadamente 8, en otro aspecto, de aproximadamente 5 a aproximadamente 7, en otro aspecto, de aproximadamente 5, en otro aspecto, de aproximadamente 6, y en otro aspecto, de aproximadamente 7. Es este aspecto, la corriente acuosa de etanol reducido incluirá menos de aproximadamente el 10 % en peso de alcohol, en otro aspecto, menos de aproximadamente el 5 % en peso de alcohol, en otro aspecto, menos de aproximadamente el 2,5 % en peso de alcohol, en otro aspecto, menos de aproximadamente el 1,0 % en peso de alcohol, en otro aspecto, menos de aproximadamente el 0,5 % en peso de alcohol, en otro aspecto, menos de aproximadamente el 0,1 % en peso, y en otro aspecto, menos de aproximadamente el 0,01 % en peso de alcohol.

La corriente acuosa de etanol reducido puede incluir ácido acético. Es este aspecto, la corriente acuosa de etanol reducido puede tener aproximadamente 5,0 gramos por litro de ácido acético o inferior, en otro aspecto, aproximadamente 2,5 gramos por litro de ácido acético o inferior, en otro aspecto, aproximadamente 1,0 gramos por litro o inferior de ácido acético, en otro aspecto, de aproximadamente 0,01 a aproximadamente 5,0 gramos por litro de ácido acético, y en otro aspecto, de aproximadamente 0,01 a aproximadamente 0,02 gramos por litro de ácido acético. La corriente acuosa de etanol reducido que contiene ácido acético puede enviarse de vuelta al reactor de tal manera que no se produzca ácido acético neto. Se establece un equilibrio entre etanol y agua en el reactor. Como resultado, todo el CO, CO₂ y H₂ alimentados al reactor pueden convertirse en etanol, a excepción de los usados para el mantenimiento del cultivo. De acuerdo con el proceso de la invención, la velocidad para proporcionar la corriente acuosa de etanol reducido y una velocidad para retirar las células y el medio del fermentador se controla mediante la utilización de una medición del factor de crecimiento. Tal como se usa en el presente documento, el término "factor de crecimiento" es el aumento de la cantidad de células (en gramos, peso seco) por gramo de células (precursoras) (peso seco) por hora. Es este aspecto, la velocidad para proporcionar la corriente acuosa de etanol reducido y una velocidad para retirar las células y el medio es eficaz para proporcionar un factor de crecimiento de al menos aproximadamente 0,01 gramos/gramo/hora, en otro aspecto, un factor de crecimiento de aproximadamente 0,01 a aproximadamente 1, en otro aspecto, un factor de crecimiento de aproximadamente 0,01 a aproximadamente 0,5, en otro aspecto, un factor de crecimiento de aproximadamente 0,01 a aproximadamente 0,25, y en otro aspecto, un factor de crecimiento de aproximadamente 0,01 a aproximadamente 0,1. Tal como se usa en el presente documento, el término "factor de crecimiento crítico" se refiere a un factor de crecimiento deseado mínimo. En un aspecto, un ejemplo de un factor de crecimiento deseado mínimo es de aproximadamente 0,01, en otro aspecto, de aproximadamente 0,02, y en otro aspecto, de aproximadamente 0,03. El factor de crecimiento puede determinarse tal como sigue:

$$\text{Factor de crecimiento} = \frac{(\text{Peso seco de las células en gramos a } T_2) - (\text{Peso seco de las células en gramos a } T_1)}{(\text{Peso seco de las células en gramos a } T_1)}$$

en la que T₂ es el peso seco de células en gramos medido a 60 minutos después de T₁
 en la que T₁ es el peso seco de células en gramos en un tiempo de inicio seleccionado.

Es este aspecto, cuando el factor de crecimiento alcanza o está por debajo de un factor de crecimiento crítico, se proporciona una corriente acuosa que comprende una corriente acuosa de etanol reducido al fermentador. Se muestra un gráfico de factor de crecimiento en comparación con la concentración de etanol para *Clostridium ljungdahlii* en las Figuras 6 y 7. Es este aspecto, concentraciones de etanol inferiores pueden ser perjudiciales o inhibitorias para otras cepas de bacterias.

En un aspecto, tras alcanzar una concentración de etanol de aproximadamente 10 g/l o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 20 g/l o superior, y en otro aspecto, de aproximadamente 30 g/l o superior en la fermentación, las células y el medio se retiran de la fermentación. Las células y el medio se separan en etanol y una corriente acuosa de etanol reducido y la corriente acuosa de etanol reducido se devuelve a la fermentación. Tal como se describe
 5 adicionalmente, cualquiera de los niveles de concentración de etanol descritos pueden utilizarse junto con cualquiera de las relaciones de reciclado, densidades celulares, factores de crecimiento y valores de STY descritos.

En otro aspecto, tras alcanzar una concentración de etanol de aproximadamente 10 g/l o superior, la relación de la
 10 velocidad para proporcionar la corriente acuosa de etanol reducido a la fermentación respecto a la velocidad para retirar las células y el medio de la fermentación es de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 25, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 10, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 5, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 1, en otro aspecto, de aproximadamente 1 a aproximadamente 20, en otro aspecto, de aproximadamente 5 a aproximadamente 15, en otro aspecto, de aproximadamente 5 a aproximadamente 10, en otro aspecto, de aproximadamente 4 a aproximadamente 8, y en otro aspecto,
 15 de aproximadamente 5 a aproximadamente 7, en otro aspecto, de aproximadamente 5, en otro aspecto, de aproximadamente 6, y en otro aspecto, de aproximadamente 7. En un aspecto similar, tras alcanzar una concentración de etanol de aproximadamente 10 g/l o superior y una densidad celular de aproximadamente 0,5 g/l o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 0,6 g/l o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 0,7 g/l o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 0,8 g/l o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 0,9 g/l o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 1,0 g/l o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 1,5 g/l o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 2,0 g/l o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 2,5 g/l o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 5,0 g/l, en otro aspecto, de aproximadamente 1,0 a aproximadamente 4,0 g/l, y en otro aspecto, de aproximadamente 2,0 a aproximadamente 3,0 g/l, la relación de la velocidad para proporcionar la corriente acuosa de etanol reducido a la fermentación
 20 respecto a la velocidad para retirar las células y el medio de la fermentación es de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 25, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 10, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 5, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 1, en otro aspecto, de aproximadamente 1 a aproximadamente 20, en otro aspecto, de aproximadamente 5 a aproximadamente 15, en otro aspecto, de aproximadamente 5 a aproximadamente 10, en otro aspecto, de aproximadamente 4 a aproximadamente 8, en otro aspecto, de aproximadamente 5 a aproximadamente 7, en otro aspecto, de aproximadamente 5, en otro aspecto, de aproximadamente 6, y en otro aspecto, de aproximadamente 7.

El proceso es eficaz para proporcionar un factor de crecimiento de aproximadamente 0,01 a aproximadamente 1, en otro aspecto, de aproximadamente 0,01 a aproximadamente 0,5, en otro aspecto, de aproximadamente 0,01 a aproximadamente 0,1. El proceso es eficaz
 35 adicionalmente para proporcionar un STY de aproximadamente 10 g/(l día), a aproximadamente 200 g/(l día), en otro aspecto, de aproximadamente 10 g/(l día), a aproximadamente 160 g/(l día), en otro aspecto, de aproximadamente 10 g/(l día), a aproximadamente 120 g/(l día), en otro aspecto, de aproximadamente 10 g/(l día), a aproximadamente 80 g/(l día), en otro aspecto, de aproximadamente 20 g/(l día), a aproximadamente 140 g/(l día), en otro aspecto, de aproximadamente 20 g/(l día), a aproximadamente 100 g/(l día), en otro aspecto, de aproximadamente 40 g/(l día), a aproximadamente 140 g/(l día), y en otro aspecto, de aproximadamente 40 g/(l día), a aproximadamente 100 g/(l día),

En otro aspecto, tras alcanzar una concentración de etanol de aproximadamente 20 g/l o superior, la relación de la
 45 velocidad para proporcionar la corriente acuosa de etanol reducido a la fermentación respecto a la velocidad para retirar las células y el medio de la fermentación es de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 25, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 10, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 5, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 1, en otro aspecto, de aproximadamente 1 a aproximadamente 20, en otro aspecto, de aproximadamente 5 a aproximadamente 15, en otro aspecto, de aproximadamente 5 a aproximadamente 10, en otro aspecto, de aproximadamente 4 a aproximadamente 8, y en otro aspecto, de aproximadamente 5 a aproximadamente 7, en otro aspecto, de aproximadamente 5, en otro aspecto, de aproximadamente 6, y en otro aspecto, de aproximadamente 7. En un aspecto similar, tras alcanzar una concentración de etanol de aproximadamente 10 g/l o superior y una densidad celular de aproximadamente 0,5 g/l o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 0,6 g/l o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 0,7 g/l o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 0,8 g/l o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 0,9 g/l o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 1,0 g/l o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 1,5 g/l o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 2,0 g/l o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 2,5 g/l o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 5,0 g/l, en otro aspecto, de aproximadamente 1,0 a aproximadamente 4,0 g/l, y en otro aspecto, de aproximadamente 2,0 a aproximadamente 3,0 g/l, la relación de la velocidad para proporcionar la corriente acuosa de etanol reducido a la fermentación
 50 respecto a la velocidad para retirar las células y el medio de la fermentación es de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 25, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 10, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 5, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 1, en otro aspecto, de aproximadamente 1 a aproximadamente 20, en otro aspecto, de aproximadamente 5 a aproximadamente 15, en otro aspecto, de aproximadamente 5 a aproximadamente 10, en otro aspecto, de
 55 aproximadamente 4 a aproximadamente 8, en otro aspecto, de aproximadamente 5 a aproximadamente 7, en otro aspecto, de aproximadamente 5, en otro aspecto, de aproximadamente 6, y en otro aspecto, de aproximadamente 7.

aproximadamente 4 a aproximadamente 8, en otro aspecto, de aproximadamente 5 a aproximadamente 7, en otro aspecto, de aproximadamente 5, en otro aspecto, de aproximadamente 6, y en otro aspecto, de aproximadamente 7.

5 El proceso es eficaz para proporcionar un factor de crecimiento de aproximadamente 0,01 a aproximadamente 1, en otro aspecto, de aproximadamente 0,01 a aproximadamente 0,5, en otro aspecto, de aproximadamente 0,01 a aproximadamente 0,25, y en otro aspecto, de aproximadamente 0,01 a aproximadamente 0,1. El proceso es eficaz adicionalmente para proporcionar un STY de aproximadamente 10 g/(l día), a aproximadamente 200 g/(l día), en otro aspecto, de aproximadamente 10 g/(l día), a aproximadamente 160 g/(l día), en otro aspecto, de aproximadamente 10 g/(l día), a aproximadamente 120 g/(l día), en otro aspecto, de aproximadamente 10 g/(l día), a aproximadamente 80 g/(l día), en otro aspecto, de aproximadamente 20 g/(l día), a aproximadamente 140 g/(l día), en otro aspecto, de aproximadamente 20 g/(l día), a aproximadamente 100 g/(l día), en otro aspecto, de aproximadamente 40 g/(l día), a aproximadamente 140 g/(l día), y en otro aspecto, de aproximadamente 40 g/(l día) a aproximadamente 100 g/(l día).

15 En otro aspecto, tras alcanzar una concentración de etanol de aproximadamente 30 g/l o superior, la relación de la velocidad para proporcionar la corriente acuosa de etanol reducido a la fermentación respecto a la velocidad para retirar las células y el medio de la fermentación es de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 25, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 10, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 5, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 1, en otro aspecto, de aproximadamente 1 a aproximadamente 20, en otro aspecto, de aproximadamente 5 a aproximadamente 15, en otro aspecto, de aproximadamente 5 a aproximadamente 10, en otro aspecto, de aproximadamente 4 a aproximadamente 8, y en otro aspecto, de aproximadamente 5 a aproximadamente 7, en otro aspecto, de aproximadamente 5, en otro aspecto, de aproximadamente 6, y en otro aspecto, de aproximadamente 7. En un aspecto similar, tras alcanzar una concentración de etanol de aproximadamente 10 g/l o superior y una densidad celular de aproximadamente 0,5 g/l o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 0,6 g/l o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 0,7 g/l o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 0,8 g/l o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 0,9 g/l o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 1,0 g/l o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 1,5 g/l o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 2,0 g/l o superior, en otro aspecto, de aproximadamente 2,5 g/l, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 5,0 g/l, en otro aspecto, de aproximadamente 1,0 a aproximadamente 4,0 g/l, y en otro aspecto, de aproximadamente 2,0 a aproximadamente 3,0 g/l, la relación de la velocidad para proporcionar la corriente acuosa de etanol reducido a la fermentación respecto a la velocidad para retirar las células y el medio de la fermentación es de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 25, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 10, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 5, en otro aspecto, de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 1, en otro aspecto, de aproximadamente 1 a aproximadamente 20, en otro aspecto, de aproximadamente 5 a aproximadamente 15, en otro aspecto, de aproximadamente 5 a aproximadamente 10, en otro aspecto, de aproximadamente 4 a aproximadamente 8, en otro aspecto, de aproximadamente 5 a aproximadamente 7, en otro aspecto, de aproximadamente 5, en otro aspecto, de aproximadamente 6, y en otro aspecto, de aproximadamente 7. El proceso es eficaz para proporcionar un factor de crecimiento de aproximadamente 0,01 a aproximadamente 1, en otro aspecto, de aproximadamente 0,01 a aproximadamente 0,5, en otro aspecto, de aproximadamente 0,01 a aproximadamente 0,25, y en otro aspecto, de aproximadamente 0,01 a aproximadamente 0,1. El proceso es eficaz adicionalmente para proporcionar un STY de aproximadamente 10 g/(l día) a aproximadamente 200 g/(l día), en otro aspecto, de aproximadamente 10 g/(l día) a aproximadamente 160 g/(l día), en otro aspecto, de aproximadamente 10 g/(l día) a aproximadamente 120 g/(l día), en otro aspecto, de aproximadamente 10 g/(l día) a aproximadamente 80 g/(l día), en otro aspecto, de aproximadamente 20 g/(l día) a aproximadamente 140 g/(l día), en otro aspecto, de aproximadamente 20 g/(l día) a aproximadamente 100 g/(l día), en otro aspecto, de aproximadamente 40 g/(l día) a aproximadamente 140 g/(l día), y en otro aspecto, de aproximadamente 40 g/(l día) a aproximadamente 100 g/(l día).

Ejemplo

50 Ejemplo 1: efecto de reciclado acuoso en la captación de H₂ y CO

Se realizó una fermentación con *Clostridium ljungdahlii* a un nivel de STY de 60 g/l. En la Figura 8 se muestra un gráfico de la concentración de etanol y la captación total de H₂ y CO. En esta fermentación, el reciclado de agua se inicia una vez la concentración de etanol excedió 36,8 g/l. Después del inicio del reciclado de agua, la concentración de etanol disminuyó a aproximadamente 28 g/l. La captación total de H₂ y CO alcanzó un máximo en una concentración de etanol de aproximadamente 33,7 g/l y después descendió de aproximadamente 2,02 mol/min a aproximadamente 1,85 mol/min cuando la concentración de etanol excedió 36 g/l. Una vez se inició el reciclado de agua (aproximadamente la 537^a hora), la concentración de etanol descendió y la captación de H₂ y CO total aumentó. La continuación de la fermentación sin el reciclado de agua da como resultado una disminución de la captación total del H₂ y CO totales y fallo del cultivo.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para la fermentación de singas que comprende:

- 5 inocular un medio con un cultivo de bacterias acetogénicas para proporcionar un medio inoculado que tenga una densidad celular de al menos aproximadamente 0,1 gramos por litro;
- poner en contacto el singas con el medio inoculado;
- medir un factor de crecimiento y proporcionar una corriente acuosa a la fermentación cuando el factor de crecimiento sea menor que un factor de crecimiento crítico, en el que el factor de crecimiento es el aumento de la
- 10 cantidad de células (en gramos, peso seco) por gramo de células precursoras (peso seco) por hora; en el que la corriente acuosa comprende una corriente acuosa de etanol reducido;
- en el que dicha corriente acuosa de etanol reducido se obtiene:
- retirando las células y el medio de la fermentación y separando las células y el medio para proporcionar células concentradas y permeado; y separando el etanol del permeado para proporcionar etanol y la corriente
- 15 acuosa de etanol reducido.

FIGURA 1

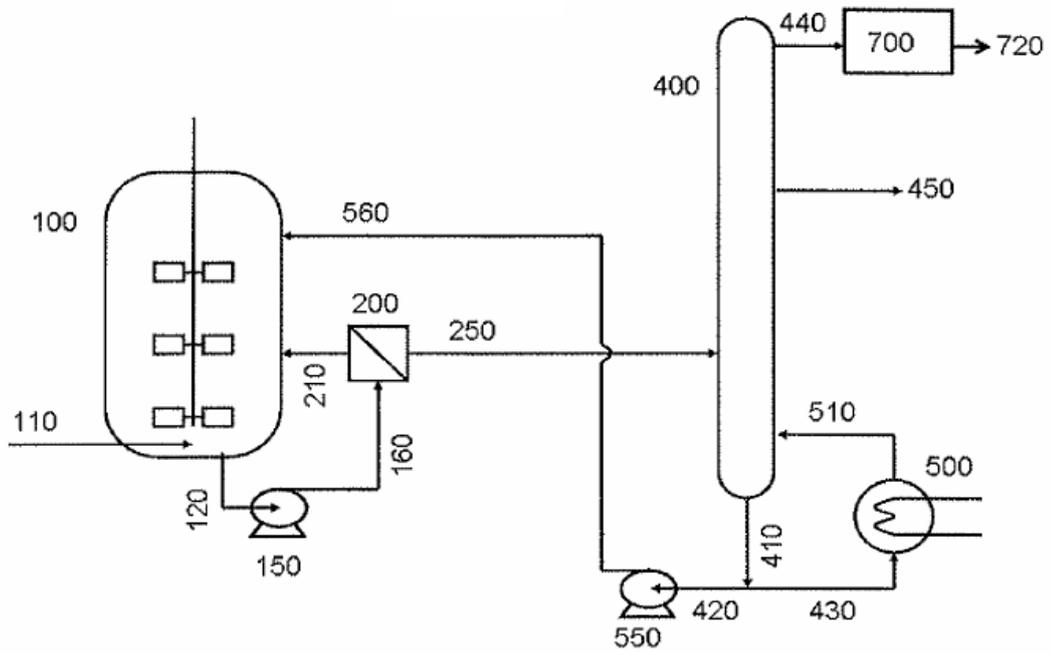


FIGURA 2

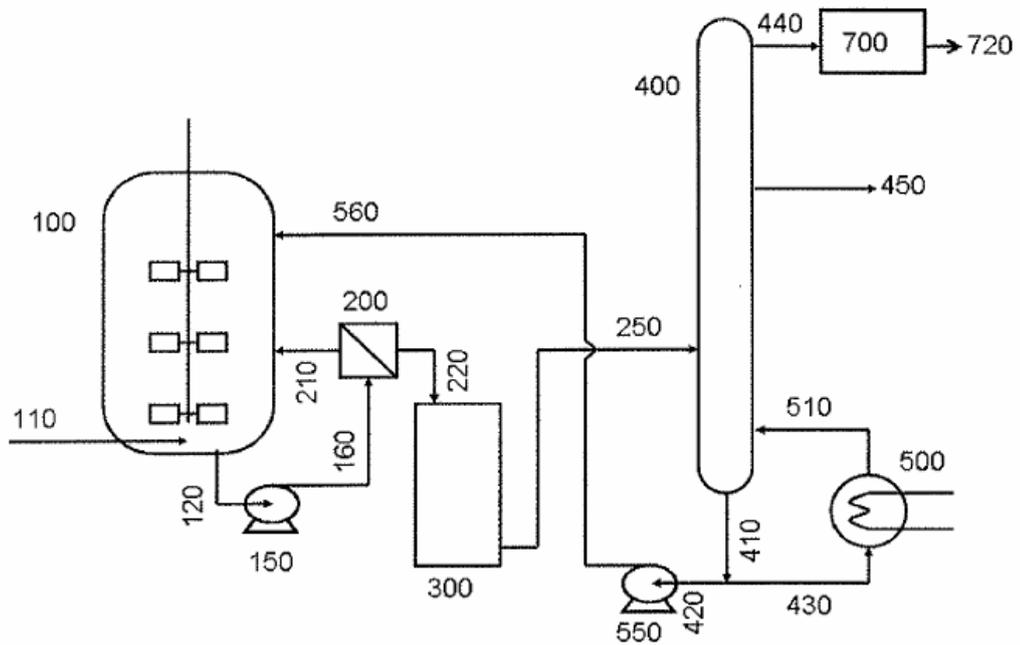


FIGURA 3

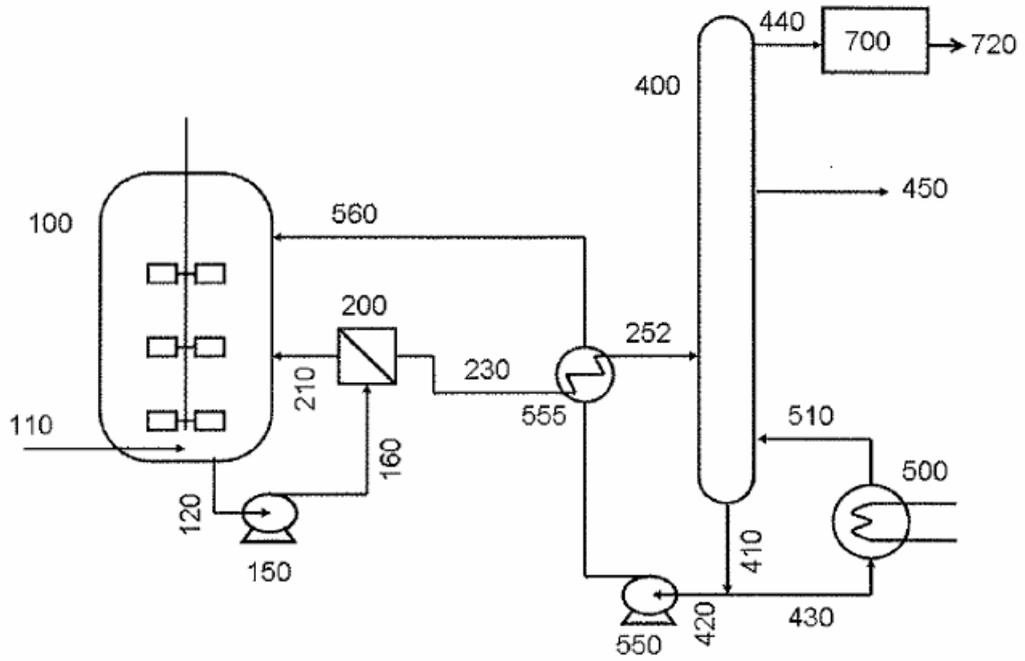


FIGURA 4

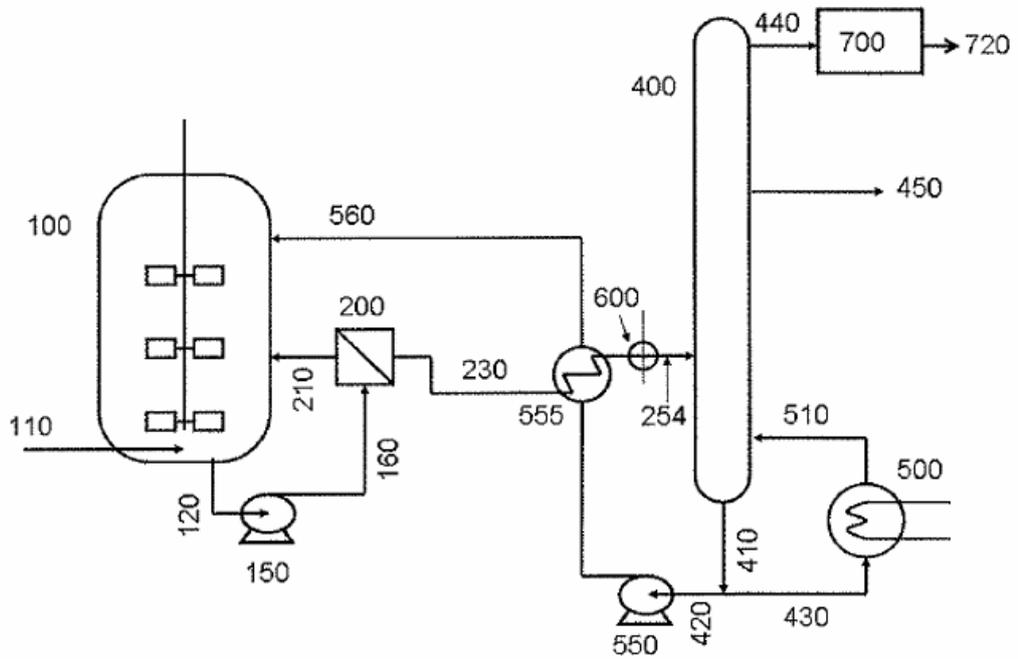


FIGURA 5

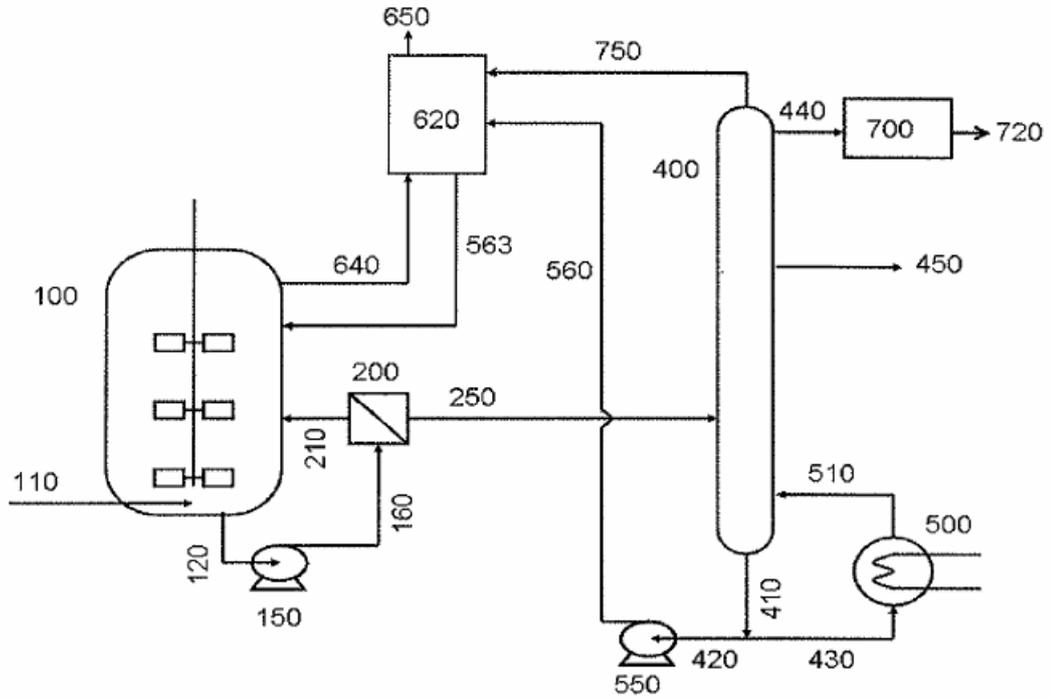


FIGURA 6

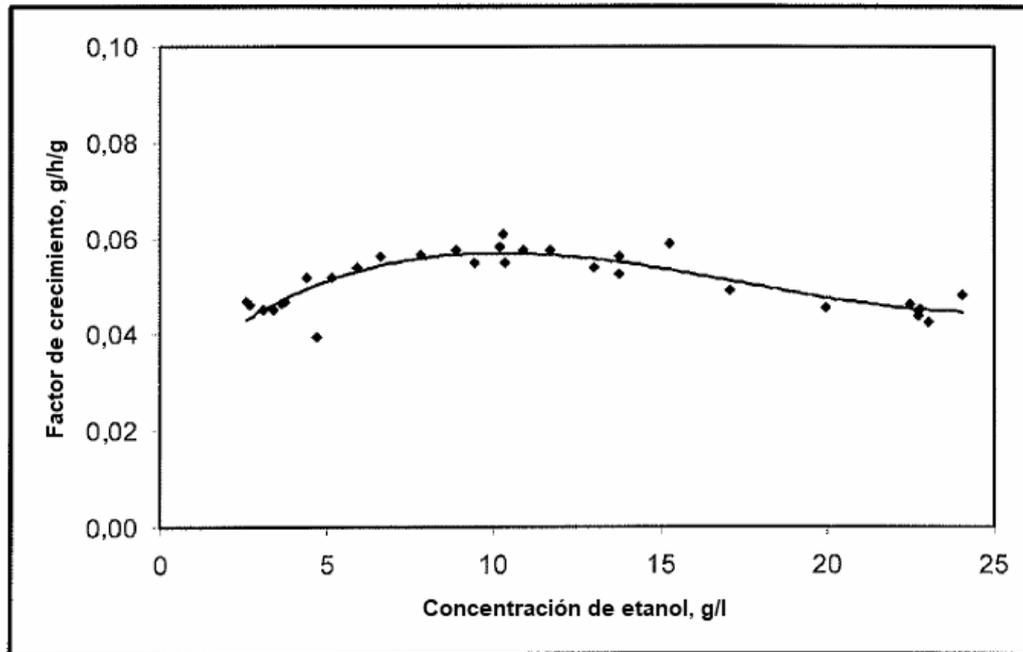


FIGURA 7

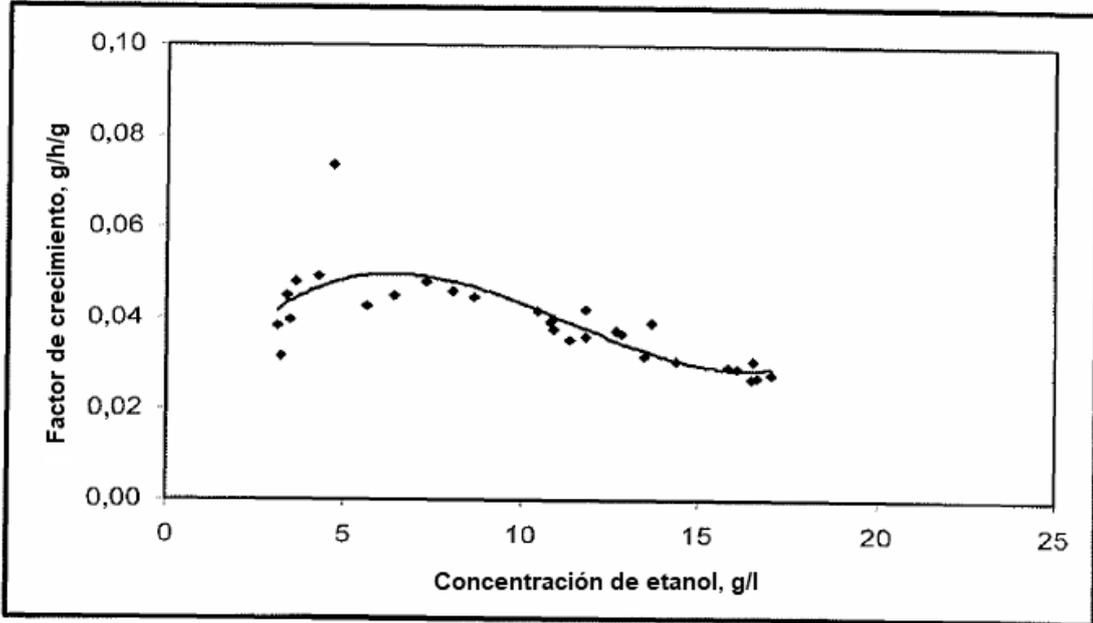


FIGURA 8

