

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 610 189**

51 Int. Cl.:

B01D 53/14 (2006.01)
B01D 53/72 (2006.01)
C02F 3/28 (2006.01)
B01D 19/00 (2006.01)
B01D 53/78 (2006.01)
C12P 7/06 (2006.01)
B01D 53/62 (2006.01)
B01D 53/96 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.05.2011 PCT/NZ2011/000082**
 87 Fecha y número de publicación internacional: **24.11.2011 WO11145956**
 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.05.2011 E 11783806 (0)**
 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.11.2016 EP 2571600**

54 Título: **Procedimiento de producción de alcohol**

30 Prioridad:

21.05.2010 US 347327 P

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

26.04.2017

73 Titular/es:

**LANZATECH NEW ZEALAND LIMITED (100.0%)
 24 Balfour Road Parnell
 Auckland 1052, NZ**

72 Inventor/es:

COOMBES, JOSS, ANTON

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 610 189 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de producción de alcohol

Campo de la invención

5 Esta invención se refiere en general a métodos para producir productos mediante fermentación microbiana anaerobia de sustratos. En particular, la invención se refiere a métodos para aumentar la eficacia de fermentación utilizando corrientes gaseosas que salen de un biorreactor para desoxigenar corrientes líquidas que entran a un biorreactor.

Antecedentes de la invención

10 En todo el mundo, el etanol se está convirtiendo rápidamente en uno de los principales combustibles líquidos, ricos en hidrógeno, para el transporte. Se ha estimado el consumo mundial de etanol en 2005 en 55.000 millones de litros (12.200 millones de galones). Se ha predicho, además, que el mercado global para la industria del etanol combustible continuará creciendo fuertemente en el futuro, debido a un creciente interés en el etanol en Europa, Japón, los EE.UU. y diversas naciones en desarrollo.

15 Por ejemplo, en los EE.UU. se utiliza etanol para producir E10, una mezcla al 10% de etanol en gasolina. En las mezclas E10, el componente de etanol actúa como agente oxigenante, mejorando la eficacia de la combustión y reduciendo la generación de contaminantes atmosféricos.

20 En Brasil, el etanol satisface aproximadamente el 30% de la demanda de combustible para el transporte, tanto en la modalidad de agente oxigenante mezclado con la gasolina como en la de combustible puro como tal. Además, en Europa, las preocupaciones medioambientales sobre las consecuencias de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) han sido un estímulo para que la Unión Europea (UE) imponga a los estados miembro un objetivo obligatorio acerca del consumo de combustibles sostenibles para el transporte, tales como el etanol derivado de biomasa.

25 La inmensa mayoría del etanol combustible se produce mediante procesos de fermentación tradicionales basados en levaduras, que emplean carbohidratos derivados de cultivos, por ejemplo sacarosa extraída de la caña de azúcar o almidón extraído de cultivos de cereales, como principal fuente de carbono. Sin embargo, el coste de estas materias primas carbohidratos se ve influido por su valor como alimento humano o forraje animal, y el cultivo de plantas productoras de almidón o sacarosa con el fin de producir etanol no es sostenible económicamente en todas las zonas geográficas. Por lo tanto, es interesante desarrollar tecnologías para convertir en etanol combustible fuentes de carbono menos costosas y/o más abundantes.

30 El CO es un subproducto importante, gratuito, rico en energía, de la combustión incompleta de materiales orgánicos tales como carbón o petróleo y productos derivados del petróleo. Por ejemplo, se ha publicado que la industria siderúrgica de Australia produce y libera anualmente a la atmósfera más de 500.000 toneladas de CO.

35 Se pueden utilizar procedimientos catalíticos para convertir gases consistentes principalmente en CO y/o CO e hidrógeno (H₂) en una diversidad de combustibles y productos químicos. También se pueden emplear microorganismos para convertir estos gases en combustibles y productos químicos. Estos procesos biológicos, aunque en general son más lentos que las reacciones químicas, presentan diversas ventajas sobre los procesos catalíticos, entre ellas una mayor especificidad, mayores rendimientos, costes energéticos inferiores y mayor resistencia al envenenamiento.

40 La capacidad de los microorganismos para crecer con CO como única fuente de carbono se descubrió por primera vez en 1903. Más tarde se determinó que es una propiedad de organismos que utilizan la ruta bioquímica del acetil coenzima A (acetil-CoA) (también conocida como ruta de Woods-Ljungdah) de crecimiento autotrófico y la ruta de la monóxido de carbono deshidrogenasa/acetil-CoA sintasa (CODH/ACS, por sus siglas en inglés)). Se ha demostrado que un gran número de organismos anaerobios, entre ellos organismos carboxidotróficos, fotosintéticos, metanogénicos y acetogénicos, metabolizan CO hasta diversos productos finales, en concreto CO₂, H₂, metano, *n*-butanol, acetato y etanol. Aunque utilizan CO como única fuente de carbono, dichos organismos producen al menos dos de estos productos finales.

45 Se ha demostrado que bacterias anaerobias, por ejemplo las del género *Clostridium*, producen etanol a partir de CO, CO₂ y H₂ a través de la ruta bioquímica del acetil-CoA. Por ejemplo, en los documentos WO 00/68407, EP 117309, las patentes de EE.UU. n.ºs 5,173,429, 5,593,886 y 6,368,819, y los documentos WO 98/00558 y WO 02/08438, se describen diversas cepas de *Clostridium ljungdahlii* que producen etanol a partir de gases. También es conocida la bacteria *Clostridium autoethanogenum* sp por producir etanol a partir de gases (Abrini *et al.*, Archives of Microbiology 161, págs. 345-351 (1994)).

55 Sin embargo, la producción de etanol por microorganismos a través de la fermentación de gases siempre va asociada con la coproducción de acetato y/o ácido acético. Puesto que algo del carbono disponible se convierte en acetato/ácido acético en vez de en etanol, la eficacia de la producción de etanol mediante dichos procesos de

fermentación puede ser menor de la deseable. Además, salvo que se pueda utilizar el subproducto de acetato/ácido acético para algún otro propósito, ello puede plantear un problema de eliminación de residuos. Los microorganismos convierten el acetato/ácido acético en metano y, por lo tanto, presentan el potencial de contribuir a las emisiones de GEI.

- 5 Se sabe de diversas enzimas, conocidas por estar asociadas con la capacidad de los microorganismos para utilizar monóxido de carbono como única fuente de carbono y energía, que requieren cofactores metálicos para su actividad. Los ejemplos de enzimas clave que requieren la unión de cofactores metálicos para su actividad incluyen la monóxido de carbono deshidrogenasa (CODH) y la acetil-CoA sintasa (ACS).

- 10 Los documentos WO2007/117157, WO2008/115080, WO2009/022925, WO2009/058028, WO2009/064200, WO2009/064201 y WO2009/113878 describen procesos que producen alcoholes, en particular etanol, mediante la fermentación anaerobia de gases que contienen monóxido de carbono. El acetato producido como subproducto del proceso de fermentación descrito en el documento WO2007/117157 se convierte en hidrógeno gaseoso y dióxido de carbono gaseoso, y uno de los dos, o ambos, se pueden utilizar en el proceso de fermentación anaerobia. El documento WO2009/022925 describe el efecto del pH y el potencial redox (PR) en la conversión de sustratos que comprenden CO a productos tales como ácidos y alcoholes, por fermentación. El documento WO2009/058028 describe el uso de gases residuales industriales para producir productos, por ejemplo alcohol, mediante fermentación. El documento WO2009/064201 describe portadores para CO y el uso de CO en la fermentación. El documento WO2009/113878 describe la conversión de ácido o ácidos en alcohol o alcoholes durante la fermentación de un sustrato que comprende CO.

- 20 Típicamente, la fermentación anaerobia de sustratos que comprenden CO se lleva a cabo en condiciones estrictamente anaerobias. Antes de pasar al biorreactor, se debe desoxigenar de manera sustancial el medio que entra a un biorreactor, con el fin de eliminar sustancialmente todo el oxígeno disuelto. La desoxigenación del medio es una operación unitaria habitual que requiere energía y recursos adicionales, tales como una corriente de gas libre de oxígeno, o vacío.

- 25 Además, las corrientes gaseosas que salen del biorreactor llevan típicamente componentes arrastrados desde el caldo de fermentación acuoso. A menos que se puedan recuperar los componentes volatilizados, por ejemplo productos de 3 carbonos, entre ellos alcoholes, de la corriente que sale del biorreactor, se podrían perder en una corriente de desecho.

- 30 Es un objeto de la presente invención proporcionar un procedimiento que supere al menos hasta cierto punto los inconvenientes anteriores, o que al menos ofrezca al público una elección útil.

Compendio de la invención

El método de la invención puede implicar un medio de desoxigenación que comprende un recipiente configurado para el contacto gas/líquido, que comprenda:

- (i) una primera entrada configurada para recibir líquido;
- 35 (ii) una primera salida configurada para hacer pasar al menos una parte del líquido a un biorreactor;
- (iii) una segunda entrada configurada para recibir una corriente gaseosa desde un biorreactor; y
- (iv) una segunda salida configurada para evacuar al menos una parte de la corriente gaseosa fuera del recipiente.

En realizaciones particulares, el medio de desoxigenación está configurado de manera que, durante el uso, el líquido y el gas fluyen en contracorriente a través del recipiente.

- 40 En realizaciones particulares, el recipiente incluye material de relleno configurado para aumentar la superficie de contacto gas/líquido. En realizaciones particulares, el recipiente está relleno con relleno aleatorio o estructurado.

El método de la invención es un método para desoxigenar un medio nutriente líquido antes de hacer pasar el medio nutriente líquido a un biorreactor para fermentación anaerobia, en donde el método incluye poner en contacto el medio nutriente líquido con una corriente gaseosa que sale del biorreactor, como se define en las reivindicaciones.

- 45 En realizaciones particulares, se ponen en contacto el medio nutriente líquido y la corriente gaseosa en un medio de desoxigenación configurado para un contacto gas/líquido eficaz.

En realizaciones particulares, el método incluye hacer fermentar un sustrato en el biorreactor para producir uno o más productos. En realizaciones particulares, el sustrato es gaseoso. En realizaciones particulares, el sustrato comprende CO.

- 50 En realizaciones particulares, cuando se ponen en contacto la corriente gaseosa y el medio nutriente líquido se capturan en el medio nutriente líquido uno o más componentes de la corriente gaseosa que sale del biorreactor.

Por tanto, la presente invención proporciona un método para mejorar la eficacia de una fermentación anaerobia, en donde el método incluye;

- a. en un biorreactor que contiene uno o más microorganismos, hacer fermentar uno o más sustratos gaseosos para producir uno o más productos y una corriente gaseosa de salida;
- 5 b. conducir un caldo de medio líquido a un medio de desoxigenación;
- c. hacer pasar la corriente gaseosa de salida desde el biorreactor al medio de desoxigenación;
- d. poner en contacto el caldo de medio líquido con una corriente gaseosa de salida sin fermentar, de manera que uno o más componentes de la corriente gaseosa de salida son capturados en el caldo de medio líquido para proporcionar un caldo de medio líquido sustancialmente desoxigenado; y
- 10 e. hacer pasar el caldo de medio líquido sustancialmente desoxigenado al biorreactor.

En realizaciones particulares, se pone en contacto la corriente gaseosa con un líquido acuoso en el medio de desoxigenación. En realizaciones particulares, el líquido acuoso es medio nutriente líquido que se alimenta al biorreactor para mantener la fermentación. En realizaciones particulares, la puesta en contacto de la corriente gaseosa con el líquido acuoso desoxigena sustancialmente el líquido acuoso.

- 15 En realizaciones particulares, los uno o más sustratos son gaseosos. En realizaciones particulares, el o los sustratos comprenden CO.

En realizaciones particulares, los uno o más productos incluyen ácido o ácidos y/o alcohol o alcoholes. En realizaciones particulares, el o los ácidos incluyen acetato y el o los alcoholes incluyen etanol.

- 20 En realizaciones particulares, se hace pasar directa o indirectamente la corriente gaseosa que sale del biorreactor al medio de desoxigenación, en donde se pone en contacto la corriente con el medio nutriente líquido. En realizaciones particulares, se hace pasar la corriente gaseosa al medio de desoxigenación a través de medios de conducción.

- 25 En realizaciones particulares, la corriente gaseosa comprende uno o más componentes que incluyen, sin limitación, sustrato o sustratos gaseosos no transformados en la fermentación; producto o productos o subproducto o subproductos gaseosos o volatilizadores de fermentación y/o compuestos gaseosos inertes. En realizaciones particulares, la corriente gaseosa comprende uno o más de CO, CO₂, H₂, H₂S, N₂, CH₄, alcoholes tales como etanol y/o ácidos tales como acetato.

En realizaciones particulares, el medio de desoxigenación es como se ha definido más arriba.

La presente invención también proporciona un método para mejorar la eficacia de una fermentación, en donde el método comprende;

- 30 a. en un biorreactor que comprende uno o más microorganismos, hacer fermentar un sustrato gaseoso que comprende CO para producir uno o más productos líquidos y una corriente gaseosa de salida que comprende al menos etanol;
- b. hacer pasar la corriente gaseosa de salida que comprende al menos etanol a un medio de desoxigenación que contiene un caldo de nutriente líquido;
- 35 c. poner en contacto la corriente gaseosa de salida que comprende al menos etanol con el caldo de medio líquido para proporcionar un caldo de medio líquido desoxigenado;
- d. capturar al menos una parte del componente de etanol de la corriente gaseosa de salida en el caldo de medio líquido desoxigenado; y
- e. hacer pasar el medio nutriente líquido desoxigenado al biorreactor para fermentación.

- 40 También se proporciona un sistema que comprende un biorreactor y medio de desoxigenación, en donde el medio de desoxigenación está configurado para:

- (i) poner en contacto una corriente gaseosa recibida del biorreactor con un líquido; y
- (ii) hacer pasar el líquido sustancialmente desoxigenado al biorreactor.

- 45 En realizaciones particulares, el medio de desoxigenación es el medio de desoxigenación que se ha definido más arriba.

En realizaciones particulares, el sistema incluye medios de conducción configurados para hacer pasar la corriente gaseosa desde el biorreactor al medio de desoxigenación. En realizaciones particulares, el sistema incluye medios de conducción configurados para hacer pasar líquido desde el medio de desoxigenación al biorreactor.

Los expertos en la técnica apreciarán medios para transferir las corrientes líquidas hacia y desde el recipiente de desoxigenación y el biorreactor. Sin embargo, a modo de ejemplo, se puede hacer pasar líquido al biorreactor utilizando una o más bombas. De manera adicional o alternativa, se puede hacer pasar la corriente gaseosa al medio de desoxigenación utilizando uno o más soplantes, compresores, ventiladores y/o bombas.

5 Las realizaciones de la invención encuentran aplicación particular en la producción de ácidos y alcoholes, en particular etanol, por fermentación de un sustrato gaseoso que comprende CO. El sustrato puede comprender un gas obtenido como subproducto de un proceso industrial. En ciertas realizaciones, el proceso industrial se selecciona del grupo consistente en la fabricación de productos metálicos férreos, la fabricación de productos no férreos, procesos de refinado de petróleo, gasificación de biomasa, gasificación de carbón, producción de energía eléctrica, producción de negro de carbono, producción de amoníaco, producción de metanol y fabricación de coque. 10 En una realización de la invención, el sustrato gaseoso es gas de síntesis. En una realización, el sustrato gaseoso comprende un gas obtenido de una planta siderúrgica.

En realizaciones particulares, el sustrato que contiene CO contendrá típicamente una proporción importante de CO, por ejemplo al menos de aproximadamente 20% a aproximadamente 100% de CO en volumen, de 30% a 70% de CO en volumen, de 40% a 60% de CO en volumen y de 45% a 55% de CO en volumen. En realizaciones particulares, el sustrato comprende aproximadamente 25%, o aproximadamente 30%, o aproximadamente 35%, o aproximadamente 40%, o aproximadamente 45%, o aproximadamente 50% de CO, o aproximadamente 55% de CO, o aproximadamente 60% de CO en volumen. En algunas realizaciones, la corriente de sustrato comprende bajas concentraciones de H₂, por ejemplo menos de 5%, o menos de 4%, o menos de 3%, o menos de 2%, o menos de 1%, o bien está sustancialmente exenta de hidrógeno. También pueden ser apropiados sustratos con concentraciones de CO inferiores, por ejemplo 6%, en particular cuando también están presentes H₂ y CO₂. 15 20

En diversas realizaciones, la fermentación se lleva a cabo usando un cultivo de una o más cepas de bacterias carboxidotróficas. En diversas realizaciones, la bacteria carboxidotrófica se selecciona de *Clostridium*, *Moorella*, *Oxobacter*, *Pepcostreptococcus*, *Acetobacterium*, *Eubacterium* o *Butyribacterium*. En una realización, la bacteria carboxidotrófica es *Clostridium autoethanogenum*. 25

Descripción detallada de la invención

Sorprendentemente, se ha reconocido que se puede utilizar una corriente gaseosa de salida sustancialmente exenta de oxígeno que sale de un biorreactor configurado para la fermentación anaerobia de sustratos gaseosos, con el fin de desoxigenar medio nutriente líquido aportado al biorreactor. Este procedimiento presenta también la ventaja sorprendente de capturar sustancialmente al menos una parte de uno o más productos y/u otros componentes de la corriente gaseosa de salida, en el medio nutriente líquido aportado al biorreactor. Los uno o más productos y/u otros productos pueden incluir alcoholes y/o ácidos arrastrados desde un caldo de fermentación anaerobia a una corriente gaseosa de salida durante la fermentación de sustrato gaseoso. Por tanto, la invención proporciona métodos y sistemas para aumentar la eficacia de la captura de uno o más productos producidos por la fermentación de un sustrato gaseoso en un biorreactor. 30 35

En realizaciones particulares, un método de la invención incluye el paso de hacer pasar al menos una parte de un gas de salida que sale de un biorreactor a través de medios de desoxigenación, de manera que se captura al menos una parte de uno o más componentes del gas de salida en un medio acuoso antes de pasar al biorreactor tal como se define en las reivindicaciones. En realizaciones particulares, los uno o más componentes del gas de salida comprenden al menos etanol, y al menos una parte del etanol es capturada en el medio acuoso antes de pasar al biorreactor. 40

La fermentación de sustratos gaseosos, por ejemplo sustratos que comprenden CO, para producir productos es conocida. En tales fermentaciones, a través de uno o más medios de conducción se introduce una corriente de sustrato en un biorreactor, y se mezcla con un caldo de fermentación. Durante la fermentación de sustratos en un biorreactor, por ejemplo sustratos que comprenden CO, típicamente se suspenden uno o más microorganismos en un caldo de fermentación que comprende un medio nutriente líquido que contiene nutrientes esenciales para el crecimiento y el metabolismo. Tales nutrientes esenciales incluyen, sin limitación, nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y vitaminas B seleccionadas, que típicamente se proporcionan en forma de sales disueltas en un medio acuoso. Se puede aportar de manera continua o por lotes el medio nutriente líquido a un biorreactor que contiene uno o más microorganismos; convirtiendo el cultivo microbiano al menos una parte de un sustrato, por ejemplo un sustrato que comprende CO, en productos tales como alcohol. Los procesos de fermentación, en particular los procesos de fermentación anaerobia, incluyen típicamente una o más operaciones unitarias configuradas para eliminar gases disueltos, por ejemplo O₂, del medio aportado al biorreactor. 45 50

Durante la fermentación de sustratos gaseosos, típicamente se aporta el sustrato de manera que se transfiere al menos una parte del sustrato a la solución en la cual los microorganismos pueden metabolizar el sustrato. Por ejemplo, se puede hacer borboteo un sustrato gaseoso en un caldo de fermentación a presión atmosférica o presión elevada. Según la invención, al menos una parte del sustrato se transforma, por la fermentación, en uno o más productos. Sin embargo, en realizaciones particulares, una parte de los sustratos gaseosos puede quedar sin consumir en la fermentación y escapa, saliendo del biorreactor en una corriente de salida. Además, o de manera 55

alternativa, también pasarán a través del biorreactor y saldrán en una corriente de salida subproductos gaseosos de la fermentación y/o componentes inertes de la corriente de sustrato.

5 Así, según la invención, se pone en contacto una corriente de sustrato con un caldo de fermentación en un biorreactor, y uno o más componentes gaseosos, seleccionados de sustrato gaseoso sin fermentar, subproducto
 10 gaseoso de fermentación y/o componentes inertes de la corriente de sustrato gaseoso, abandonan el caldo de fermentación y salen del biorreactor a través de un conducto de salida. Cuando los componentes gaseosos abandonan el caldo de fermentación pueden volatilizar uno o más productos disueltos, por ejemplo alcoholes, y arrastrarlos fuera del biorreactor en la corriente de salida. Según la invención, al menos una parte de los uno o más
 15 productos se puede recuperar a partir de una corriente gaseosa de salida poniendo en contacto la corriente de salida con medio en un medio de desoxigenación, antes de hacer pasar el medio al biorreactor.

Definiciones

Salvo que se defina otra cosa, los siguientes términos utilizados a lo largo de esta memoria se definen como sigue:

15 Deberían entenderse la expresión "sustrato que comprende monóxido de carbono" y expresiones similares como inclusivas de cualquier sustrato en el que esté disponible monóxido de carbono para una o más cepas de bacterias para, por ejemplo, crecimiento y/o fermentación.

La expresión "sustrato gaseoso que comprende monóxido de carbono" incluye cualquier gas que contenga monóxido de carbono. El sustrato gaseoso contendrá típicamente una proporción significativa de CO, con preferencia de al menos aproximadamente 5% a aproximadamente 100% de CO en volumen.

20 En el contexto de los productos de fermentación, el término "ácido" utilizado en la presente memoria incluye tanto los ácidos carboxílicos como el anión carboxilato asociado, como ocurre por ejemplo en la mezcla de ácido acético libre y acetato presente en un caldo de fermentación como se describe en la presente memoria. La proporción de ácido molecular con respecto a carboxilato en el caldo de fermentación depende del pH del sistema. El término "acetato" incluye tanto la sal de acetato sola como una mezcla de ácido acético molecular o libre y sal de acetato, por ejemplo la mezcla de sal de acetato y ácido acético libre presente en un caldo de fermentación como se puede describir en la
 25 presente memoria. La proporción de ácido acético molecular con respecto a acetato en el caldo de fermentación depende del pH del sistema.

30 El término "biorreactor" incluye un dispositivo de fermentación que consiste en uno o más recipientes y/o torres o conjuntos de tuberías, incluidos el reactor de tanque agitado continuo (CSTR, por sus siglas en inglés), el reactor de células inmovilizadas (ICR), el reactor de lecho percolado (TBR), el reactor de biopelícula de lecho móvil (MBBR), la columna de burbujas, el fermentador con inyección de gas, un reactor de membrana tal como el biorreactor de membrana de fibra hueca (HFMBR), un mezclador estático u otro recipiente o dispositivo adecuados para el contacto gas-líquido.

35 Salvo que el contexto requiera otra cosa, se pretende que las expresiones "fermentar", "proceso de fermentación" o "reacción de fermentación" y similares, empleadas en la presente memoria, abarquen tanto la fase de crecimiento como la fase de biosíntesis de producto del proceso. Como se describirá adicionalmente en esta memoria, en algunas realizaciones el biorreactor puede comprender un primer reactor de crecimiento y un segundo reactor de fermentación. Así, se debe entender que la adición de metales o composiciones a una reacción de fermentación incluye la adición a uno o ambos de estos reactores.

40 Aunque la descripción que sigue se centra en realizaciones particulares de la invención, en concreto la producción de etanol y/o acetato mediante el uso de CO como sustrato principal, debe apreciarse que la invención puede ser aplicable a la producción de alcoholes y/o ácidos alternativos y al uso de sustratos alternativos, como sabrán las personas con pericia ordinaria en la técnica a la que se refiere la invención. Por ejemplo, se pueden usar sustratos gaseosos que contengan dióxido de carbono e hidrógeno. Además, la invención puede ser aplicable a la fermentación para producir butirato, propionato, caproato, etanol, propanol y butanol. Los métodos también pueden ser útiles para producir hidrógeno. A modo de ejemplo, estos productos se pueden producir por fermentación con
 45 microbios de los géneros *Moorella*, *Clostridia*, *Ruminococcus*, *Acetobacterium*, *Eubacterium*, *Butyribacterium*, *Oxobacter*, *Methanosarcina*, *Methanosarcina* y *Desulfotomaculum*.

Fermentación

50 Ciertas realizaciones de la invención están adaptadas para utilizar corrientes gaseosas producidas por uno o más procesos industriales. Dichos procesos incluyen procesos de fabricación de acero, en particular procesos que producen una corriente de gas con alto contenido de CO o con un contenido de CO por encima de un nivel predeterminado (por ejemplo, 5%). Según dichas realizaciones, se emplean preferiblemente bacterias acetogénicas para producir ácidos y/o alcoholes, en particular etanol o butanol, en uno o más biorreactores. Los expertos en la técnica serán conscientes, al considerar la presente descripción, que se puede aplicar la invención a diversas
 55 industrias o corrientes gaseosas residuales, entre ellas las de vehículos con motor de combustión interna. Además, los expertos en la técnica serán conscientes, al considerar la presente descripción, que se puede aplicar la invención a otras reacciones de fermentación, entre ellas las que emplean los mismos o distintos microorganismos.

Se pretende, por tanto, que el alcance de la invención no esté limitado a las realizaciones y/o solicitudes particulares descritas, sino que debe entenderse en un sentido más amplio; por ejemplo, la fuente de la corriente gaseosa no es limitante, aparte de que al menos un componente de la misma sea útil para alimentar una reacción de fermentación. La invención tiene una aplicabilidad particular para mejorar la captura total de carbono y/o la producción de etanol y otros alcoholes a partir de sustratos gaseosos que comprenden CO. Se conocen procedimientos para producir etanol y otros alcoholes a partir de sustratos gaseosos. Los procedimientos ilustrativos incluyen los descritos, por ejemplo, en los documentos WO2007/117157, WO2008/115080, WO2009/022925, WO2009/064200, US 6,340,581, US 6,136,577, US 5,593,886, US 5,807,722 y US 5,821,111, cada uno de los cuales se incorpora a la presente memoria por referencia.

Se sabe que diversas bacterias anaerobias son capaces de realizar la fermentación de CO a alcoholes, entre ellos *n*-butanol y etanol, y ácido acético, y son adecuadas para el uso en el procedimiento de la presente invención. Los ejemplos de estas bacterias que son adecuadas para el uso en la invención incluyen las del género *Clostridium*, por ejemplo cepas de *Clostridium ljungdahlii*, entre ellas las descritas en los documentos WO 00/68407, EP 117309, las patentes de EE.UU. n.ºs 5,173,429, 5,593,886 y 6,368,819, y los documentos WO 98/00558 y WO 02/08438, *Clostridium carboxydvorans* (Liou *et al.*, International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology 33: págs. 2085-2091), *Clostridium ragsdalei* (WO/2008/028055) y *Clostridium autoethanogenum* (Abrini *et al.*, Archives of Microbiology 161: págs. 345-351). Otras bacterias adecuadas incluyen las del género *Moorella*, entre ellas *Moorella sp* HUC22-1 (Sakal *et al.*, Biotechnology Letters 29: págs. 1607-1612), y las del género *Carboxydotherrmus* (Svetlichny, V.A., Sokolova, T.G. *et al.* (1991), Systematic and Applied Microbiology 14: 254-260). Otros ejemplos incluyen *Moorella thermoacetica*, *Moorella thermoautotrophica*, *Ruminococcus productus*, *Acetobacterium woodii*, *Eubacterium limosum*, *Butyrifacterium methylotrophicum*, *Oxobacter pfennigii*, *Methanosarcina barkeri*, *Methanosarcina acetivorans*, *Desulfotomaculum kuznetsovii* (Simpa *et al.*, Critical Reviews in Biotechnology, 2006, vol. 26, págs. 41-65). Además, se debería entender que pueden ser aplicables a la presente invención otras bacterias anaerobias acetogénicas, como un experto en la técnica entendería. Se apreciará también que se puede aplicar la invención a un cultivo mixto de dos o más bacterias.

Clostridium autoethanogenum es un microorganismo ilustrativo adecuado para el uso en la presente invención. En una realización, el *Clostridium autoethanogenum* es un *Clostridium autoethanogenum* que tiene las características identificantes de la cepa depositada en el Centro alemán de recursos para materiales biológicos (DSMZ), con el número de depósito identificante 19630. En otra realización, el *Clostridium autoethanogenum* es un *Clostridium autoethanogenum* que tiene las características identificantes del depósito en el DSMZ con el número DSMZ 23693.

El cultivo de las bacterias usadas en los métodos de la invención puede realizarse empleando cualesquiera procesos conocidos en la técnica para cultivar y fermentar sustratos mediante el uso de bacterias anaerobias. Se ofrecen técnicas ilustrativas en la sección "Ejemplos" que sigue. A modo de ejemplo adicional, se pueden utilizar los procedimientos descritos de modo general en los siguientes artículos, que utilizan sustratos gaseosos para la fermentación: (i) K. T. Klasson, *et al.* (1991). Bioreactors for synthesis gas fermentations. Resources, Conservation and Recycling, 5; 145-165; (ii) K. T. Klasson, *et al.* (1991). Bioreactor design for synthesis gas fermentations. Fuel. 70. 605-614; (iii) K. T. Klasson, *et al.* (1992). Bioconversion of synthesis gas into liquid or gaseous fuels. Enzyme and Microbial Technology. 14, 602-608; (iv) J. L. Vega, *et al.* (1989). Study of Gaseous Substrate Fermentation: Carbon Monoxide Conversion to Acetate. 2. Continuous Culture. Biotech. Bioeng. 34. 6. 785-793; (v) J. L. Vega, *et al.*, (1989). Study of gaseous substrate fermentations: Carbon monoxide conversion to acetate. 1. Batch culture. Biotechnology and Bioengineering. 34. 6. 774-784; (vi) J. L. Vega, *et al.* (1990). Design of Bioreactors for Coal Synthesis Gas Fermentations. Resources, Conservation and Recycling. 3.149-160.

La fermentación se puede llevar a cabo en cualquier biorreactor adecuado, por ejemplo uno o varios reactores de tanque agitado continuo (CSTR), reactores de células inmovilizadas, reactores de inyección de gas, reactores de columna de burbujas (BCR), reactores de membrana, por ejemplo un biorreactor de membrana de fibra hueca (HFMBR) o uno o varios reactores de lecho percolado (TBR). Además, en algunas realizaciones de la invención, el o los biorreactores pueden comprender un primer reactor de crecimiento, en el cual se cultivan los microorganismos, y un segundo reactor de fermentación, al cual se alimenta caldo de fermentación procedente del reactor de crecimiento y en el cual se produce la mayor parte del producto de fermentación (por ejemplo, etanol y acetato). En realizaciones particulares, el segundo biorreactor es distinto del primer biorreactor.

Según varias realizaciones de la invención, la fuente de carbono para la reacción de fermentación es un sustrato gaseoso que contiene CO. El sustrato puede ser un gas residual que contenga CO, obtenido como subproducto de un proceso industrial o de otra fuente tal como los humos de escape de automóviles. En ciertas realizaciones, el proceso industrial se selecciona del grupo que consiste en la fabricación de productos metálicos férreos, por ejemplo una planta siderúrgica, la fabricación de productos no férreos, procesos de refinado de petróleo, gasificación de carbón, producción de energía eléctrica, producción de negro de carbono, producción de amoníaco, producción de metanol y fabricación de coque. En estas realizaciones, el sustrato que contiene CO puede captarse del proceso industrial antes de ser emitido a la atmósfera, usando cualquier método conveniente. Dependiendo de la composición del sustrato que contiene CO, puede ser deseable tratarlo para eliminar cualquier impureza indeseada, como partículas de polvo, antes de introducirlo a la fermentación. Por ejemplo, se puede filtrar o depurar el sustrato gaseoso por métodos conocidos.

Como alternativa, se puede obtener el sustrato que contiene CO de la gasificación de biomasa. El proceso de gasificación implica la combustión parcial de biomasa con un suministro restringido de aire u oxígeno. Típicamente, el gas resultante comprende principalmente CO y H₂, con volúmenes mínimos de CO₂, metano, etileno y etano. Por ejemplo, para producir un gas que contenga CO adecuado para el uso en la presente invención se pueden gasificar subproductos de biomasa obtenidos durante la extracción y tratamiento de alimentos tales como azúcar a partir de la caña de azúcar, o almidón a partir del maíz u otros cereales, o residuo de biomasa no alimentaria generado en la industria forestal.

El sustrato que contiene CO contendrá típicamente una proporción importante de CO, por ejemplo al menos de aproximadamente 20% a aproximadamente 100% de CO en volumen, de 40% a 95% de CO en volumen, de 60% a 90% de CO en volumen y de 70% a 90% de CO en volumen. En realizaciones particulares, el sustrato comprende 25%, o 30%, o 35%, o 40%, o 45%, o 50% de CO en volumen. También pueden ser adecuados sustratos que tengan concentraciones inferiores de CO, por ejemplo 6%, en particular cuando también están presentes H₂ y CO₂.

Aunque no es necesario que el sustrato contenga nada de hidrógeno, la presencia de H₂ no debería ser perjudicial para la formación de producto según métodos de la invención. En realizaciones particulares, la presencia de hidrógeno da como resultado una eficacia global mejorada de la producción de alcohol. Por ejemplo, en realizaciones particulares el sustrato puede comprender una proporción aproximada de 2:1, o 1:1, o 1:2 de H₂:CO. En otras realizaciones, la corriente de sustrato comprende bajas concentraciones de H₂, por ejemplo, menos de 5%, o menos de 4%, o menos de 3%, o menos de 2%, o menos de 1%, o bien está esencialmente exenta de hidrógeno. El sustrato también puede contener algo de CO₂, por ejemplo de aproximadamente 1% a aproximadamente 80% de CO₂ en volumen, o de 1% a aproximadamente 30% de CO₂ en volumen. En realizaciones particulares, la corriente de sustrato comprende CO₂ y nada, o cantidades mínimas, de CO.

Típicamente se añadirá el monóxido de carbono a la reacción de fermentación en estado gaseoso. Sin embargo, los métodos de la invención no están limitados a la adición del sustrato en ese estado. Por ejemplo, se puede aportar el monóxido de carbono en un líquido. Por ejemplo, se puede saturar con un gas que contenga monóxido de carbono un líquido, y añadir ese líquido al biorreactor. Esto se puede conseguir utilizando metodología convencional. A modo de ejemplo, se podría utilizar para este fin un generador de dispersión de microburbujas (Hensirisak *et. al.*, Scale-up of microbubble dispersion generator for aerobic fermentation; Applied Biochemistry and Biotechnology, volumen 101, número 3 / octubre de 2002).

Se apreciará que para que se produzca crecimiento de las bacterias y la fermentación de CO a alcohol, además del gas sustrato que contiene CO se requerirá alimentar al biorreactor un medio nutriente líquido adecuado. Un medio nutriente contendrá vitaminas y minerales suficientes para permitir el crecimiento del microorganismo empleado. En la técnica se conocen medios anaerobios adecuados para la fermentación etanólica que utiliza CO como única fuente de carbono. Por ejemplo, se describen medios adecuados en las patentes de EE.UU. n.^{os} 5,173,429 y 5,593,886, y en los documentos WO 02/08438, WO2007/117157, WO2008/115080, WO2009/022925, WO2009/058028, WO2009/064200, WO2009/064201 y WO2009/113878, mencionados más arriba. La presente invención proporciona un nuevo medio que presenta mayor eficacia en el soporte del crecimiento de los microorganismos y/o la producción de alcohol en el proceso de fermentación. Este medio se describirá con mayor detalle más adelante.

Convenientemente, la fermentación se debe llevar a cabo en condiciones adecuadas para que se produzca la fermentación deseada (por ejemplo, el crecimiento microbiano y/o la producción de etanol). Las condiciones de reacción que deberían considerarse incluyen la presión, temperatura, caudal de gas, caudal de líquido, pH del medio, potencial redox del medio, velocidad de agitación (si se usa un reactor de tanque agitado continuo), nivel de inóculo, concentraciones máximas de sustrato gaseoso para asegurar que no se convierta en limitante el CO en la fase líquida, y concentraciones máximas de producto para evitar la inhibición de producto. Se describen condiciones adecuadas en los documentos WO02/08438, WO07/117157, WO08/115080 y WO2009/022925.

Las condiciones de reacción óptimas dependerán en parte del microorganismo particular utilizado. Sin embargo, en general se prefiere que la fermentación se realice a presión mayor que la presión ambiente. El hecho de trabajar a presiones superiores permite un incremento significativo en la velocidad de transferencia de CO desde la fase gaseosa a la fase líquida en donde puede ser captado por el microorganismo como fuente de carbono para la producción de etanol. A su vez, esto significa que se puede reducir el tiempo de retención (definido como el volumen líquido del biorreactor dividido entre el caudal de gas de entrada) cuando se mantienen los biorreactores a una presión elevada, en lugar de a la presión atmosférica.

Además, puesto que una velocidad determinada de conversión de CO a etanol es, en parte, función del tiempo de retención del sustrato, y la consecución de un tiempo de retención deseado dicta a su vez el volumen necesario de un biorreactor, el uso de sistemas presurizados puede reducir en gran medida el volumen del biorreactor requerido y, por consiguiente, el coste de capital del equipo de fermentación. Según ejemplos ofrecidos en la patente de EE.UU. n.^o 5,593,886, se puede reducir el volumen del reactor en proporción lineal a los incrementos de la presión de trabajo del reactor, es decir, los biorreactores que trabajan a 10 atmósferas de presión necesitan solo una décima parte del volumen de los que trabajan a 1 atmósfera de presión.

Los beneficios de realizar una fermentación de gas a etanol a presiones elevadas también se han descrito en otros lugares. Por ejemplo, el documento WO 02/08438 describe fermentaciones de gas a etanol realizadas a presiones de 207 kPa (30 psig) y 517 kPa (75 psig), originando productividades de etanol de 150 g/l/día y 369 g/l/día, respectivamente. Sin embargo, se ha encontrado que fermentaciones ilustrativas realizadas a presión atmosférica, utilizando medios y composiciones de gas de entrada similares, producen entre 10 y 20 veces menos etanol por litro y día.

También es deseable que la velocidad de introducción del sustrato gaseoso que contiene CO sea tal que asegure que la concentración de CO en la fase líquida no se convierta en limitante. Esto se debe a que una consecuencia de condiciones limitadas por el CO puede ser que el cultivo consuma el producto etanol.

10 Recuperación de producto

Los productos de la reacción de fermentación se pueden recuperar utilizando métodos conocidos. Los métodos ilustrativos incluyen los descritos en los documentos WO07/117157, WO08/115080, US 6,340,581, US 6,136,577, US 5,593,886, US 5,807,722 y US 5,821,111. No obstante, en pocas palabras y solo a modo de ejemplo, se puede recuperar el etanol del caldo de fermentación por métodos tales como la destilación o evaporación fraccionada y la fermentación extractiva.

La destilación de etanol a partir de un caldo de fermentación proporciona una mezcla azeotrópica de etanol y agua (es decir, 95% de etanol y 5% de agua). Se puede obtener posteriormente etanol anhidro mediante el uso de la tecnología de deshidratación de etanol por medio de tamices moleculares, que también es bien conocida en la técnica.

Los procedimientos de fermentación extractiva implican el uso de un disolvente miscible con agua que presente un bajo riesgo de toxicidad para el organismo de fermentación, a fin de recuperar el etanol del caldo de fermentación diluido. Por ejemplo, el alcohol oleílico es un disolvente que se puede utilizar en este tipo de proceso de extracción. Se introduce de forma continua alcohol oleílico en un fermentador, con lo cual este disolvente asciende formando una capa en la parte superior del fermentador, que se extrae de forma continua y se alimenta a una centrífuga. Así se separan fácilmente el agua y las células del alcohol oleílico y se devuelven al fermentador, mientras se envía el disolvente cargado de etanol a una unidad de vaporización ultrarrápida. Se vaporiza la mayoría del etanol y se condensa, mientras que el alcohol oleílico no es volátil y se recupera para reutilizarlo en la fermentación.

También se puede recuperar del caldo de fermentación acetato, que se produce como subproducto en la reacción de fermentación, utilizando métodos conocidos en la técnica.

Por ejemplo, se puede emplear un sistema de adsorción que implique un filtro de carbón activo. En este caso, se prefiere eliminar primeramente del caldo de fermentación las células microbianas utilizando una unidad de separación adecuada. Se conocen en la técnica numerosos métodos basados en filtración, para generar un caldo de fermentación exento de células, con el fin de recuperar producto. Después se hace pasar el permeado que contiene etanol exento de células -y acetato- a través de una columna que contiene carbón activo, para adsorber el acetato. El carbón activo adsorbe más fácilmente acetato en la forma ácida (ácido acético) que en la forma salina (acetato). Por lo tanto, se prefiere disminuir el pH del caldo de fermentación a menos de aproximadamente 3 antes de hacerlo pasar a través de la columna de carbón activo, con el fin de convertir la mayoría del acetato a la forma de ácido acético.

El ácido acético adsorbido al carbón activo se puede recuperar por elución utilizando métodos conocidos en la técnica. Por ejemplo, se puede emplear etanol para eluir el acetato fijado. En ciertas realizaciones, se puede emplear para eluir el acetato el etanol producido por el propio proceso de fermentación. Al ser el punto de ebullición del etanol 78,8°C y el del ácido acético 107°C, si se utiliza un método basado en la volatilidad, por ejemplo la destilación, se pueden separar fácilmente el etanol y el acetato entre sí.

También se conocen en la técnica otros métodos para recuperar acetato a partir de un caldo de fermentación, y se pueden utilizar en los procedimientos de la presente invención. Por ejemplo, las patentes de EE.UU. n.ºs 6,368,819 y 6,753,170 describen un sistema de disolvente y codisolvente que se puede utilizar para extraer ácido acético a partir de caldos de fermentación. Al igual que en el ejemplo del sistema basado en alcohol oleílico que se ha descrito en el caso de la fermentación extractiva de etanol, los sistemas descritos en las patentes de EE.UU. n.ºs 6,368,819 y 6,753,170 describen un disolvente/codisolvente inmiscible con agua que se puede mezclar con el caldo de fermentación, tanto en presencia como en ausencia de los microorganismos fermentados, para extraer el producto de ácido acético. Se separa entonces del caldo, por destilación, el disolvente/codisolvente que contiene el producto de ácido acético. Se puede utilizar luego un segundo paso de destilación para purificar el ácido acético del sistema de disolvente/codisolvente.

Los productos de la reacción de fermentación (por ejemplo etanol y acetato) se pueden recuperar a partir del caldo de fermentación eliminando de forma continua una parte del caldo del biorreactor de fermentación, separando células microbianas del caldo (convenientemente por filtración), y recuperando uno o más productos del caldo de forma simultánea o secuencial. En el caso del etanol, se puede recuperar convenientemente por destilación, y el acetato se puede recuperar por adsorción en carbón activo, empleando los métodos descritos más arriba.

Preferiblemente, se devuelven al biorreactor de fermentación las células microbianas separadas. También se puede devolver a un biorreactor de fermentación el permeado exento de células que queda después de eliminar el etanol y el acetato. Se pueden añadir nutrientes adicionales (por ejemplo, vitaminas B) al permeado exento de células antes de devolverlo al biorreactor, para recargar el medio nutriente. Además, si se había ajustado el pH del caldo tal como se ha descrito más arriba para mejorar la adsorción de ácido acético al carbón activo, antes de devolverlo al biorreactor debería reajustarse el pH a un pH similar al del caldo del biorreactor de fermentación.

Proceso de desoxigenación

Según la invención, se proporciona un método para capturar uno o más componentes arrastrados de un caldo de fermentación anaerobia en una corriente gaseosa de salida durante la fermentación de sustratos gaseosos tal como se define en las reivindicaciones. En realizaciones particulares, el método incluye hacer pasar la corriente gaseosa de salida a través de medios de desoxigenación, en donde se transfieren a un medio líquido uno o más componentes de la corriente gaseosa de salida. En realizaciones particulares, se desoxigena el medio líquido mediante la corriente gaseosa de salida antes de hacer pasar el medio líquido al biorreactor.

Tras considerar la presente descripción, los expertos en la técnica apreciarán métodos conocidos para introducir una corriente gaseosa de sustrato en un caldo de fermentación, de manera que se pueda convertir en productos al menos una parte de la corriente de sustrato. Por ejemplo, se puede hacer borbotear un sustrato gaseoso dentro de un caldo de fermentación en un biorreactor, a presión atmosférica o a presión elevada. Debido a la baja solubilidad de la mayoría de los sustratos gaseosos, por ejemplo los sustratos que comprenden CO, una parte del sustrato puede pasar a través del biorreactor sin ser metabolizado por los microorganismos. Típicamente, el sustrato sin reaccionar sale del biorreactor en una corriente de salida. En realizaciones particulares, opcionalmente se puede devolver al biorreactor, a través de un bucle de reciclado, sustrato sin fermentar. Sin embargo, se reconoce que, incluso en realizaciones que incluyan un medio de reciclaje de sustrato, al menos una parte del sustrato saldrá del biorreactor en una corriente de salida.

Por otra parte, algunas reacciones de fermentación producen productos gaseosos como subproducto de desecho, que pueden salir del biorreactor en la corriente de salida. Además, los componentes inertes de una corriente de sustrato, por ejemplo los componentes que no son fermentados para dar productos, normalmente pasan a través del biorreactor y salen en la corriente de salida.

Por ejemplo, durante la fermentación de un sustrato que comprende CO para producir productos tales como alcoholes, al menos una parte del CO puede pasar a través del biorreactor sin ser fermentado para dar productos. Este sustrato no transformado sale del biorreactor a través de una abertura de salida y típicamente se envía a la ventilación. Otros componentes gaseosos inertes de una corriente de sustrato pueden incluir, sin limitación, N₂, CH₄, He, Ar, CO₂. Además, la fermentación de sustratos que comprenden CO produce típicamente CO₂ como subproducto de fermentación.

Además del sustrato gaseoso, se pueden aportar al caldo de fermentación otros componentes gaseosos como parte de la corriente de sustrato o además de la corriente de sustrato. Por ejemplo, se puede utilizar H₂ como cosustrato en una fermentación, por ejemplo la fermentación de sustratos que comprenden CO. Además, o como alternativa, se pueden proporcionar en forma gaseosa uno o más nutrientes esenciales necesarios para el crecimiento y/o el metabolismo microbiano, tales como el H₂S.

En la fermentación de sustratos gaseosos, se pone en contacto una corriente de sustrato con un caldo de fermentación en un biorreactor, y abandonan el caldo de fermentación y salen del biorreactor a través de un conducto de salida uno o más componentes gaseosos, seleccionados de sustrato gaseoso sin fermentar, subproducto gaseoso de la fermentación y/o componentes inertes de la corriente gaseosa de sustrato. Cuando los componentes gaseosos abandonan el caldo de fermentación, pueden volatilizar uno o más productos disueltos, tales como alcoholes, y arrastrarlos fuera del biorreactor en la corriente de salida.

Según la invención, se puede recuperar al menos una parte de los uno o más productos arrastrados en la corriente gaseosa de salida poniendo en contacto la corriente gaseosa de salida con medio, en uno o más medios de desoxigenación. En fermentaciones anaerobias conocidas, se utilizan medios de desoxigenación para eliminar del medio componentes gaseosos disueltos, en particular O₂, antes de hacer pasar el medio a un biorreactor para fermentación. Típicamente, el medio es acuoso y puede contener uno o más nutrientes necesarios para la fermentación. Como alternativa, se pueden añadir uno o más nutrientes al medio después de la desoxigenación.

En realizaciones particulares de la invención, se hace funcionar la fermentación en un modo continuo o semicontinuo, en el cual se aporta al biorreactor de manera sustancialmente continua medio desoxigenado. Típicamente, se eliminará del biorreactor un volumen sustancialmente igual de caldo de fermentación, de manera que el volumen del caldo de fermentación en el biorreactor permanezca sustancialmente constante. El caldo de fermentación que sale del biorreactor contendrá típicamente uno o más microorganismos, que opcionalmente se pueden devolver al biorreactor después de un paso de separación; y uno o más productos que se pueden separar en uno o más pasos de recuperación de producto.

La desoxigenación se consigue típicamente mediante arrastre a vacío, arrastre por membrana, arrastre por vapor o mediante el uso de captadores químicos de oxígeno. Además, o de manera alternativa, se puede conseguir la desoxigenación poniendo en contacto un gas exento de oxígeno, por ejemplo N₂, con el medio en un recipiente de desoxigenación. Sin embargo, según la invención, se pone en contacto con el medio en un recipiente de desoxigenación la corriente gaseosa de salida, sustancialmente libre de O₂, que sale del biorreactor. En realizaciones particulares, el poner en contacto la corriente gaseosa de salida con el medio en el recipiente de desoxigenación da lugar a:

(a) la eliminación eficaz de gases disueltos, por ejemplo O₂, del medio; y

(b) la captura de al menos una parte del producto, por ejemplo alcohol, de la corriente de salida hacia el medio.

Se reconoce también que, según realizaciones particulares de la invención, también se puede capturar en el medio al menos una parte de componentes adicionales de la corriente de salida, por ejemplo H₂S, proporcionando así beneficiosamente un caldo de fermentación con dicho componente, que puede ser necesario para el crecimiento y/o el metabolismo microbiano.

Tras considerar la presente descripción, los expertos en la técnica serán conscientes de los medios de desoxigenación adecuados para su uso con la invención. Sin embargo, a modo de ejemplo no limitante, en realizaciones particulares un medio de desoxigenación comprende un recipiente configurado para el contacto gas/líquido. Durante el uso se hace pasar a través del recipiente un líquido, por ejemplo un medio acuoso, y también se hace pasar a través del recipiente una corriente de desoxigenación que comprende típicamente un gas exento de O₂, por ejemplo N₂. Se pueden hacer pasar la corriente líquida y la de desoxigenación a través del recipiente en la misma dirección; pero típicamente se configura el recipiente de manera que la corriente de líquido y la de desoxigenación fluyan en contracorriente.

Típicamente, estos recipientes contienen relleno para incrementar la superficie de contacto gas/líquido. El relleno de tales recipientes es bien conocido para los expertos en la técnica. No obstante, a modo de ejemplo no limitante, el material de relleno puede ser aleatorio o estructurado, y puede comprender una o más placas o bandejas apiladas, placas de tamiz, anillos de Raschig o similares, o una combinación de ello. La naturaleza y la densidad del relleno se pueden seleccionar en función del tamaño del recipiente con el fin de minimizar la caída de presión a través del recipiente y lograr el nivel deseado de desoxigenación.

Por tanto, según la invención, la corriente de desoxigenación comprende la corriente de salida del biorreactor; en donde, al entrar en contacto la corriente de salida con el medio, en el medio de desoxigenación, al menos una parte de uno o más productos, por ejemplo alcohol, arrastrados en la corriente de salida, es capturada en el medio. Después se puede hacer pasar al biorreactor para fermentación el medio desoxigenado, que contiene al menos una parte del producto o productos.

También se ha reconocido, sorprendentemente, que el uso de la corriente de salida como corriente desoxigenada dará lugar a una transferencia de calor beneficiosa. Por ejemplo, el medio que entra al medio de desoxigenación estará típicamente a la temperatura ambiente, mientras que la corriente gaseosa de salida estará a la temperatura óptima de fermentación o cercana a la misma. Según la invención, el hecho de poner en contacto la corriente gaseosa de salida con el medio dará lugar a una transferencia de calor tal que la temperatura del medio aumentará o disminuirá hacia la temperatura óptima de fermentación.

En realizaciones particulares, la temperatura óptima de fermentación se sitúa en 37°C, mientras que la temperatura del medio será mucho menor (por debajo de 25°C). Así, según realizaciones particulares, al menos una parte de la energía térmica de la corriente gaseosa de salida se utiliza para calentar el medio hasta 37°C. Además, la captura de productos, por ejemplo alcoholes, en el medio acuoso (condensación) tendrá también un efecto calefactor.

Según aspectos particulares, se proporciona un sistema que incluye un biorreactor y medio de desoxigenación, en donde el medio de desoxigenación está configurado para recibir al menos una parte de una corriente de salida del biorreactor y poner en contacto la corriente de salida con medio, de manera que durante el uso:

(a) se desoxigena sustancialmente el medio; y

(b) se captura en el medio al menos una parte de uno o más productos de la corriente de salida.

La Figura 1 es una representación esquemática de un sistema 101 según una realización de la invención. Se hace pasar al biorreactor 2, a través del conducto 3 de entrada, la corriente 1 de sustrato, que comprende uno o más componentes gaseosos, por ejemplo CO. Después de entrar en contacto con un caldo de fermentación en el mismo, sale del biorreactor 2, a través de la salida 5, caldo de fermentación que contiene al menos una parte de los productos 4 de fermentación, pudiéndose hacer pasar el caldo de fermentación a medios de recuperación de producto (no mostrados). Además, una corriente 6 gaseosa de salida separada, que comprende uno o más componentes de sustrato sin reaccionar, componentes de subproducto gaseoso y/o componentes gaseosos inertes, sale del biorreactor 2 a través del conducto 7 de salida. La válvula 8 está configurada para dirigir al menos una parte de la corriente 6 de salida al medio 9 de desoxigenación a través del conducto 10. Los expertos en la técnica

apreciarán que se puede dirigir al medio 9 de desoxigenación cualquier proporción (desde una pequeña proporción hasta sustancialmente la totalidad) de la corriente 6 de salida, dependiendo de los tamaños relativos de la corriente 6 y del medio 9 de desoxigenación.

- 5 Se dirige medio 11 al medio 9 de desoxigenación, en donde se desoxigena el medio 11 y se captura en el medio 11 al menos una parte de uno o más productos, procedentes de la corriente 6 de salida. El medio desoxigenado 12 puede pasar por un pretratamiento 13 opcional antes de ser enviado al biorreactor 2. Se puede emplear el pretratamiento 13 para controlar diversos aspectos del medio, tales como la temperatura, la concentración de nutrientes y similares. Análogamente, se puede situar el pretratamiento en otro lugar del sistema, y puede controlar otros aspectos, en caso necesario.
- 10 En realizaciones particulares, el medio 11 que se envía al medio 9 de desoxigenación puede ser caldo 4 de fermentación recuperado, recuperándose uno o más productos y eliminándose opcionalmente microorganismos antes de enviar al menos una parte del medio 11 al medio 9 de desoxigenación. Se pueden añadir nutrientes adicionales al medio recuperado, antes o después del medio 9 de desoxigenación.
- 15 La Figura 2 es una representación esquemática del medio 9 de desoxigenación, que comprende un recipiente cerrado 14, en donde entra medio al medio 11 de desoxigenación a través de una primera abertura de entrada y entra corriente gaseosa 6 de salida al medio 11 de desoxigenación a través de una segunda abertura de entrada. El recipiente contiene material de relleno 15, configurado para favorecer un contacto gas/líquido y una desoxigenación eficaces. El medio desoxigenado 12, que contiene al menos parte de uno o más productos capturados desde el gas 6 de salida, sale del medio 9 de desoxigenación a través de una primera abertura de salida, y el gas residual 16 sale del medio 9 de desoxigenación a través de una segunda abertura de salida, de donde puede enviarse a la ventilación.
- 20

REIVINDICACIONES

1. Un método para mejorar la eficacia de una fermentación anaerobia, en donde el método incluye;
 - a. en un biorreactor que contiene uno o más microorganismos, hacer fermentar uno o más sustratos gaseosos para producir uno o más productos y una corriente gaseosa de salida;
 - 5 b. conducir un caldo de medio líquido a un medio de desoxigenación;
 - c. hacer pasar la corriente gaseosa de salida desde el biorreactor al medio de desoxigenación;
 - d. poner en contacto el caldo de medio líquido con una corriente gaseosa de salida sin fermentar, de manera que en el caldo de medio líquido son capturados uno o más componentes de la corriente gaseosa de salida, para proporcionar un caldo de medio líquido sustancialmente desoxigenado; y
 - 10 e. hacer pasar caldo de medio líquido sustancialmente desoxigenado al biorreactor.
2. El método según la reivindicación 1, en donde el medio de desoxigenación comprende un material de relleno para mejorar el contacto gas/líquido.
3. El método según la reivindicación 1 o 2, en donde el sustrato comprende CO.
4. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde uno de los componentes de la corriente gaseosa de salida es etanol y en donde al menos una parte del etanol de la corriente gaseosa de salida es capturado en el caldo de medio líquido desoxigenado.
- 15 5. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde uno de los componentes de la corriente gaseosa de salida es H₂S, y en donde al menos una parte del H₂S es capturada en el caldo de medio líquido desoxigenado.
6. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde los uno o más productos incluyen acetato y etanol.
7. Un método para mejorar la eficacia de una fermentación, en donde el método comprende;
 - a. en un biorreactor que comprende uno o más microorganismos, hacer fermentar un sustrato gaseoso que comprende CO para producir uno o más productos líquidos y una corriente gaseosa de salida que comprende al menos etanol;
 - 25 b. hacer pasar la corriente gaseosa de salida que comprende al menos etanol a un medio de desoxigenación que contiene un caldo de nutriente líquido;
 - c. poner en contacto la corriente gaseosa de salida que comprende al menos etanol con el caldo de medio líquido para proporcionar un caldo de medio líquido desoxigenado;
 - 30 d. capturar al menos una parte del componente de etanol de la corriente gaseosa de salida en el caldo de medio líquido desoxigenado; y
 - e. hacer pasar el medio nutriente líquido desoxigenado al biorreactor para fermentación.
8. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde el sustrato gaseoso se deriva de un gas residual industrial.

35

FIGURA 1

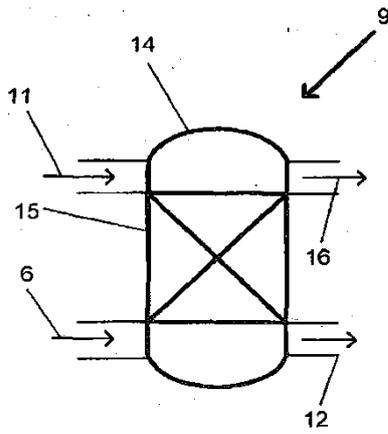
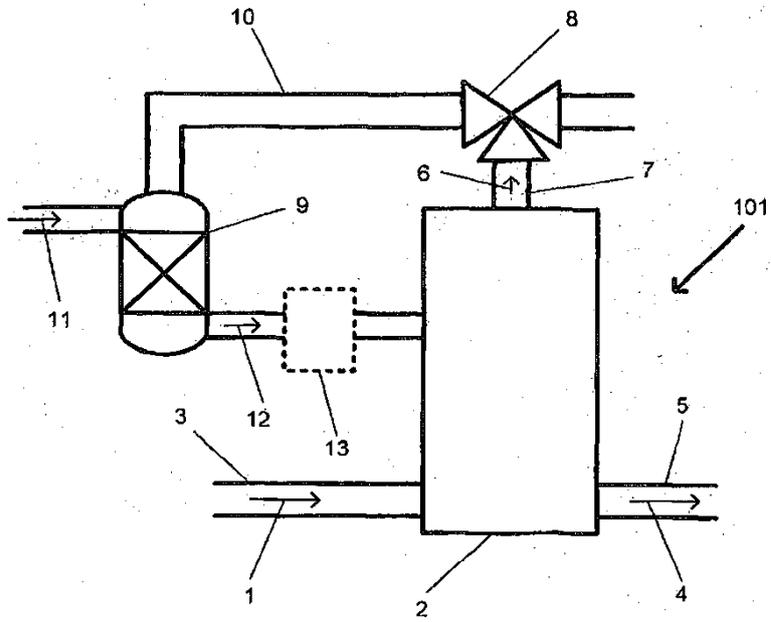


FIGURA 2