

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 550 278**

51 Int. Cl.:

C12P 1/04 (2006.01)

C12P 7/08 (2006.01)

C12M 1/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.10.2008 E 08843491 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.08.2015 EP 2212426**

54 Título: **Captura mejorada de carbono en fermentación**

30 Prioridad:

28.10.2007 NZ 56075707

28.10.2007 US 983199 P

28.10.2007 US 983203 P

13.11.2007 US 987581 P

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

05.11.2015

73 Titular/es:

**LANZATECH NEW ZEALAND LIMITED (100.0%)
24 BALFOUR ROAD PARNELL
AUCKLAND 1052, NZ**

72 Inventor/es:

**SIMPSON, SEAN DENNIS;
COLLET, CHRISTOPHE;
FORSTER, RICHARD LLEWELLYN SYDNEY;
COCKREM, MICHAEL CHARLES MILNER y
OAKLEY, SIMON DAVID**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 550 278 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

Captura mejorada de carbono en fermentación

Campo de la invención

5 La invención se refiere a sistemas y a métodos para mejorar la captura global de carbono y/o mejorar la eficacia global de procedimientos que incluyen fermentación microbiana. En particular, la invención se refiere a mejorar la captura de carbono y/o mejorar la eficacia de procedimientos que incluyen la fermentación microbiana de un sustrato que comprende CO que procede de un origen industrial.

Antecedentes de la invención

10 El etanol está llegando a ser rápidamente un combustible de transporte líquido importante rico en hidrógeno en todo el mundo. El consumo mundial de etanol en 2005 ha sido un estimado de 12,2 billones de galones. Se ha predicho también que el mercado global de la industria del etanol combustible crecerá rápidamente en el futuro, debido a un interés creciente del etanol en Europa, Japón, EE.UU. y diversas naciones en desarrollo.

15 Por ejemplo, en EE.UU. se emplea metanol para producir E10, una mezcla al 10% de etanol en gasolina. En mezclas de E10 el componente de etanol actúa como un agente de oxigenación mejorando la eficacia de la combustión y reduciendo la producción de contaminantes del aire.

20 En Brasil, el etanol satisface aproximadamente el 30% de la demanda de combustible de transporte en tanto como agente de oxigenación mezclado con gasolina y como combustible puro en su propio derecho. Asimismo, en Europa, el medio ambiente se refiere sorprendentemente a las consecuencias de emisiones de Gas Doméstico Crudo (Green House Gas)(GHG) que han sido el estímulo de la Unión Europea (EU) para fijar a las naciones miembro a una diana normalizada del consumo de combustibles de transporte sostenibles como etanol derivado de biomasa.

25 La gran mayoría del etanol combustible se produce mediante procedimientos de fermentación tradicionales basados en levaduras que utilizan hidratos de carbono procedentes de cultivos tales como sacarosa extraída de la caña de azúcar, o de almidón procedente de cultivos de granos, como el origen comercial de carbono. No obstante, el coste de estos grupos de alimentación de hidratos de carbono está influido por su valor como alimento del hombre o alimento animal, mientras que el cultivo del almidón o de fuentes productoras de sacarosa para la producción de etanol no es sostenible económicamente en todas las entidades geográficas. Por tanto, tiene interés desarrollar tecnologías para convertir con coste bajo y/o recursos de carbono más abundantes en etanol combustible.

30 El CO es un subproducto rico en energía, libre, importante, de la combustión incompleta de materiales orgánicos tales como carbón o aceite, y de productos derivados. Por ejemplo, se indica que la industria del acero en Australia produce en la atmósfera más de 500.000 toneladas de CO anualmente.

35 Pueden emplearse procedimientos catalíticos para convertir gases que consisten principalmente en CO y/o CO e hidrógeno (H₂) en una diversidad de combustibles y compuestos químicos. También pueden utilizarse microorganismos para convertir esos gases en combustibles y compuestos químicos. Estos procedimientos biológicos, aunque generalmente más lentos que las reacciones químicas, tienen varias ventajas sobre los procesos catalíticos, que incluyen mayor especificidad, mayores rendimientos, costes menores de energía y mayor resistencia al envenenamiento.

40 La aptitud de microorganismos para el tratamiento de CO como origen único de carbono se descubrió primeramente en 1903. Se determinó más tarde que este descubrimiento era una propiedad de organismos que emplean el camino bioquímico de la acetil coenzima A (acetil CoA) como crecimiento autotrófico (conocidos también como el camino de Woods-Ljungdahl y el camino de monóxido deshidrogenasa /de acetil CoA sintasa (CODH/ACS). Se ha propuesto un gran número de organismos anaerobios que incluyen organismos carboxidotróficos, fotosintéticos, metanogénicos y acetogénicos que metabolizan CO en varios productos finales, especialmente CO₂, H₂, metano, n-butanol, acetato y etanol. Mientras se utilice CO como la única fuente de carbono, todos tales organismos producen al menos dos de esos productos finales.

45 Se ha demostrado que bacterias anaerobias tales como las del género *Clostridium* producen etanol partiendo de CO, CO₂ y H₂ mediante el camino bioquímico de la acetilCoA. Por ejemplo, diversas cepas de *Clostridium ljungdahlii* que producen etanol procedente de gases están descritas en los documentos WO 00/68407, EP 117309, patentes de EE.UU. nos. 5.173.429, 5.593.886 y 6.368.819, WO 98/00558 y WO 02/08438. La bacteria *Clostridium autoethanogenum* sp se sabe que produce asimismo etanol procedente de gases (Abrini et al., Archives of Microbiology 161, pp 345-351 (1994)).

55 Sin embargo, la producción de etanol por microorganismos por fermentación de gases va asociada siempre con la coproducción de acetato y/o ácido acético. Como algo del carbono disponible se convierte en acetato/ácido acético más bien que en etanol, la eficacia de la producción de etanol que utiliza tales procedimientos de fermentación puede ser menor que la deseable. También, a menos que el subproducto de acetato/ácido acético pueda emplearse para alguna otra finalidad, puede representar un problema de desalojo de residuos. El acetato/ácido acético se

convierte en metano por microorganismos y por tanto tiene el potencial de contribuir a emisiones de GHG,

La fermentación microbiana de CO en presencia de H₂ puede conducir a una transferencia completa del carbono en un alcohol. No obstante, en ausencia de H₂ suficiente, algo del CO se convierte en alcohol, al tiempo que una parte importante se convierte en CO₂ como muestran las ecuaciones que siguen:



La producción de CO₂ representa ineficacia en la captura global del carbono y si se desprende tiene asimismo el potencial de contribuir a emisiones del Gas Doméstico Crudo.

10 El documento WO2007/117157 describe un procedimiento que produce alcoholes, en particular etanol, por fermentación anaeróbica de gases que contienen monóxido de carbono. El acetato producido como un subproducto del procedimiento de fermentación se convierte en gas hidrogenado y gas de monóxido de carbono, cualquiera de los dos o ambos de los cuales pueden utilizarse como el procedimiento de fermentación anaeróbica. El documento WO2008/115080 describe un procedimiento de producción de alcohol o alcoholes en etapas de fermentación múltiples. Los subproductos obtenidos como resultado de la fermentación anaeróbica de gas(es) en un primer biorreactor pueden emplearse para obtener productos en un segundo biorreactor. Además, subproductos de la 15 segunda etapa de fermentación pueden reciclarse al primer biorreactor para obtener productos.

Los documentos US 7.078.201 y WO 02/08438 describen asimismo mejoras de procedimientos de fermentación para producir etanol variando las condiciones (p.ej., el pH y el potencial redox) del medio líquido nutriente en el que se lleva a cabo la fermentación. Como se ha descrito en esas publicaciones, pueden utilizarse procedimientos 20 similares para producir otros alcoholes, tales como butanol.

Incluso mejoras menores de un procedimiento de fermentación para producir uno o más ácidos y/o uno o más alcoholes pueden tener un impacto importante en la eficacia, y más particularmente, en la disponibilidad comercial de un procedimiento tal.

25 Por ejemplo, con independencia del origen empleado para llevar a cabo la reacción de fermentación, pueden tener lugar problemas cuando se cargan en el suministro de alimentación. Más particularmente, tales interrupciones pueden ser perjudiciales para la eficacia de la producción por los microorganismos empleados en la reacción, y en algunos casos, pueden ser dañinos para la misma. Por ejemplo, donde el gas de CO en una corriente de gas industrial puede emplearse en reacciones de fermentación para producir ácidos / alcoholes, puede haber veces en que la corriente no se produce. Durante tales veces, los microorganismos utilizados en la reacción pueden conducir 30 a un estado no productivo, inactivo, o una hibernación. Cuando la corriente está disponible de nuevo, puede haber una carencia antes de que los microorganismos sean totalmente productivos para llevar a cabo la reacción deseada. Por consiguiente, habría un beneficio importante si hubiera medios para reducir o eliminar este tiempo de retraso.

35 Como otro ejemplo, en muchos procedimientos industriales, se emplean sistemas de depuradores o aparatos para reducir la concentración de materiales en partículas (tales como polvos) y otros componentes que contaminan los gases de escape. Se conocen sistemas de depuración en seco o en húmedo. En un sistema de depuración en húmedo se emplean agua u otros líquidos para "depurar" los contaminantes que proceden de la corriente de gas. Un sistema típico de depuración en húmedo se observa en fabricas de aceros, en las que se emplea agua para limpiar los gases que fluyen generados en diversas fases de la fabricación del acero; por ejemplo gases generados por los hornos de cocción, el horno alto, el horno oxigenado básico o el horno del arco eléctrico. Aun cuando la depuración 40 tiene el beneficio de la reducción del nivel de contaminante existente dentro de los gases de escape, no hay medio que elimine los contaminantes en su conjunto. Las sustancias sin depurar se retiran sencillamente del gas en forma de sólido o de polvo o en el agua o líquido del depurador. El agua o líquido empleado en el sistema de depurador llega a ser así una corriente residual generada por esta industria. La eliminación de tales residuos representa un peligro medioambiental. La necesidad de limpiar y desechar tales materiales residuales representa un coste 45 importante para la industria.

Si bien los depuradores industriales convencionales (tales como en las fábricas de acero) retiran una parte de los contaminantes de las corrientes industriales de gas residual, se ha aceptado en la técnica que se requiere llevar a cabo fases adicionales de depuración y/o tratamiento sobre los gases antes de que puedan emplearse para cargar una reacción de fermentación debido a los efectos de daño percibidos de tales gases sobre los microorganismos 50 utilizados en la reacción. Véase, por ejemplo, Datar et al., Fermentation of bio-mass-generated producer gas to ethanol, 2004, Biotechnology and Bioengineering Vol. 86, pp 587-594. El uso de fases adicionales de depuración y/o tratamiento requiere un espacio adicional en una instalación industrial, que puede ser particularmente problemática cuando la utilización de procedimientos de fermentación se añaden a una instalación existente. Por consiguiente, existe la necesidad de procedimientos mejorados en los que no se requieran fases adicionales de depuración u 55 otros tratamientos o que sean al menos mantenidas en un mínimo.

Es un objeto de la presente invención proporcionar sistema(s) y/o método(s) que superen o mejoren al menos una de las desventajas conocidas en la técnica y que proporcionen al público nuevos métodos de producción mejorada

y/o incrementada de una diversidad de productos útiles.

Compendio de la invención

En un primer aspecto, se proporciona un método de obtención de uno o más productos que son alcoholes y/o ácidos por fermentación microbiana, comprendiendo el método::

- 5 i. recibir corriente(s) de gas de desecho o residuales que comprenden CO procedente(s) de un procedimiento industrial;
- ii. pasar la(s) corriente(s) de gas a un biorreactor que contiene un cultivo de una o más bacterias carboxidotróficas en un medio nutriente líquido; y
- 10 iii. someter a fermentación el cultivo en el biorreactor para obtener uno o más productos que son alcoholes y/o ácidos

en donde el método comprende amortiguación de la(s) corriente(s) de gas de desecho o residuales. cuya etapa de amortiguación comprende:

- i. recibir una corriente de gas de desecho o residual intermitente o no continua en un medio de almacenamiento; y
- 15 ii. pasar al biorreactor una corriente continua desde el medio de almacenamiento.

En algunas realizaciones el método comprende capturar al menos una parte del contenido de CO₂, empleando un separador de CO₂ de una o ambas de:

- i. una corriente anterior a la corriente que entra en el biorreactor; y
- ii. una corriente después de que la corriente ha salido del biorreactor.

20 En ciertas realizaciones, el método comprende una primera etapa de separación de gas comprendiendo la primera etapa de separación de gas (i) recibir una corriente de gas; (ii) separar sustancialmente al menos una parte de la corriente de gas, en donde la parte comprende uno o más componentes de la corriente de gas, y (iii) pasar al biorreactor al menos parte de la(s) parte(s) separada(s). En una realización, la al menos parte de la(s) parte(s) separada(s) pasadas al biorreactor comprende CO.

25 En reacciones particulares, el método comprende una segunda etapa de separación de gas. comprendiendo la segunda etapa de separación de gas (i) recibir una corriente de gas; (ii) separar sustancialmente al menos una parte de la corriente de gas, en donde la parte comprende uno o más componentes de la corriente de gas; y (iii) pasar al menos parte de la(s) parte(s) separada(s) al separador de CO₂. En una realización, la etapa de separación de gas separa sustancialmente CO₂ de la corriente de gas y pasa el CO₂ retirado al separador de CO₂.

30 En ciertas realizaciones, el método comprende mezclar una o más corrientes de gas con al menos una u otra corriente.

En ciertas realizaciones, el método comprende añadir al biorreactor agua de depurador procedente de un proceso industrial,

35 En un segundo aspecto, se proporciona un sistema para capturar carbono por fermentación microbiana, comprendiendo el sistema una entrada para la recepción de gas de desecho o residual procedente de un proceso industrial, en donde, en uso, el sistema está configurado para pasar el menos una parte del gas a un biorreactor para generar productos que son alcoholes y/o ácidos por fermentación microbiana, cuyo sistema comprende medios de amortiguación, comprendiendo dichos medios de amortiguación un depósito de almacenamiento de un amortiguador adaptado para el uso:

- 40 i. recibir una corriente de gas/sustrato intermitente o no continua, y pasar al biorreactor una corriente continua de gas/sustrato.

En algunas realizaciones, el sistema comprende un separador de CO₂ configurado para, en uso, capturar al menos una parte de un contenido de CO₂ procedente de una o ambas de:

- i. una corriente anterior a la corriente que entra en el biorreactor; y
- 45 ii. una corriente después de que la corriente ha salido del biorreactor.

En realizaciones particulares, el sistema comprende un primer separador de gas configurado para en uso: (i) recibir una corriente de gas; (ii) separar sustancialmente al menos una parte de la corriente de gas, en donde la parte comprende uno o más componentes de la corriente de gas; (iii) pasar al biorreactor al menos parte de la parte separada. En una realización, el primer separador de gas está adaptado para, en uso, separar sustancialmente CO

de la corriente de gas y pasar el CO separado al biorreactor.

- 5 En realizaciones particulares, el sistema comprende un segundo separador de gas configurado para en uso: (i) recibir una corriente de gas; (ii) separar sustancialmente al menos una parte de la corriente de gas, en donde la parte comprende uno o más componentes de la corriente de gas; y (iii) pasar al menos parte de la parte separada al separador de CO₂. En una realización, el segundo separador de gas está adaptado para separar CO₂ de la corriente de gas y pasar el CO₂ separado al separador de CO₂.

En ciertas realizaciones, el sistema comprende un medio de mezcla adaptado para, en uso: combinar una corriente de gas con al menos otra corriente de gas antes de pasar la corriente combinada al biorreactor.

- 10 En realizaciones particulares, el sistema comprende al menos un medio de determinación para verificar la composición de al menos una corriente de gas cargada a y/o de escape del biorreactor. En ciertas realizaciones, el sistema comprende medios de control para detectar al menos una parte de una o más corrientes de gas/ de escape a uno o más de:

- i. el biorreactor;
- ii. el separador de CO₂;
- 15 iii. el primer separador de gas;
- iv. el segundo separador de gas;
- v. el medio de amortiguación;
- vi. el medio de mezcla; y
- vii un medio de escape.

- 20 el uno o unos particular(es) de los apartados i a vii se seleccionan al menos en parte basándose en la determinación realizada por el medio de determinación.

También está descrito un sistema para incrementar la captura global de carbono en un procedimiento de obtención de productos en un biorreactor por fermentación microbiana de un sustrato, incluyendo el sistema un separador de CO₂ configurado para capturar al menos una parte de un contenido de CO₂ procedente de una o ambas de:

- 25 i. una corriente anterior a la corriente que entra en el biorreactor; y
- ii. una corriente después de que la corriente ha salido del biorreactor.

- 30 En un cuarto aspecto se proporciona un sistema para aumentar la eficacia de procedimientos para obtener productos que son alcoholes y/o ácidos por fermentación microbiana de gas(es) en donde el suministro de dicho(s) gas(es) es intermitente, cuyo sistema comprende medios de amortiguación adaptados para recibir y almacenar al menos una parte del gas, y un biorreactor adaptado para recibir al menos una parte del gas que procede del medio de amortiguación, comprendiendo dichos medios de amortiguación un depósito de almacenamiento de un amortiguador o tampón adaptado para en uso:

- i. recibir una corriente de gas/sustrato intermitente o no continua; y
- ii. pasar al biorreactor una corriente continua de gas/sustrato.

- 35 También se describe un sistema para aumentar la eficacia de procedimientos de obtención de productos por fermentación microbiana de gas(es), comprendiendo el sistema un separador de gas configurado para recibir una corriente de gas y pasar al menos una parte de dicha corriente a un biorreactor.

También se describe una fabrica de acero adaptada para producir alcoholes por fermentación microbiana de gas(es) residual(es)..

- 40 Según aspectos particulares, los sistemas y métodos de la invención están adaptados para emplear en un procedimiento de producción de alcoholes, más particularmente etanol y/o butanol, por fermentación anaeróbica de gases que contienen monóxido de carbono. Adicional o alternativamente, pueden producirse ácidos, tales como ácido acético o acetatos. No obstante, la invención no se limita a ello y está destinada a cubrir otras reacciones de fermentación, que incluyen fermentaciones aeróbicas, y las que generan productos diferentes, tales como isopropanol.
- 45

Realizaciones de la invención encuentran aplicación particular en la fermentación de un sustrato gaseoso que comprende CO para producir ácidos y/o alcoholes aun cuando aspectos particulares de la invención no se limitan a sustratos que incluyen CO. El sustrato gaseoso puede comprender un gas obtenido como subproducto de un proceso industrial. En ciertas realizaciones, el proceso industrial se selecciona del grupo que consiste en la

fabricación de productos metálicos ferrosos, fabricación de productos no ferrosos, procedimientos 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. Lo mas preferiblemente, el sustrato gaseoso comprende un gas obtenido de una fabrica de acero.

- 5 En ciertas realizaciones preferidas el sustrato gaseoso comprende de 20% de CO a 100% de CO en volumen, tal como de 50% de CO a 95% de CO en volumen, tal como de 50% a 70% de CO en volumen. Sustratos gaseosos que tienen concentraciones menores de CO, tales como 6%, pueden ser apropiados también, en particular cuando están presentes también H₂ y CO₂.

- 10 En realizaciones preferidas, la reacción de fermentación se lleva a cabo mediante una de mas cepas de bacterias carboxidotróficas.

Preferiblemente, la bacteria carboxidotrófica se selecciona de *Clostridium*, *Moorella* y *Carboxidothermus*. Lo más preferiblemente, la bacteria carboxidotrófica es *Clostridium autoethanogenum*.

Descripción breve de los dibujos

La invención será descrita ahora en detalle con referencia a las Figuras que se acompañan en las que:

- 15 Figura 1: Es una representación esquemática de un sistema que incluye un separador de CO₂ aguas abajo de un biorreactor según ciertas realizaciones.

Figura 2: Es una representación esquemática de un sistema que incluye un separador de CO₂ aguas arriba de un biorreactor según ciertas realizaciones.

- 20 Figura 3: Es una representación esquemática de un sistema que incluye un separador de CO₂ aguas abajo de un biorreactor y medios para devolver al biorreactor una corriente sustrato.

Figura 4: Es una representación esquemática de un sistema que incluye un separador de gas aguas arriba de un biorreactor según ciertas realizaciones.

Figura 5: Es una representación esquemática de un sistema que incluye un separador de gas aguas abajo de un biorreactor según ciertas realizaciones.

- 25 Figura 6: Es una representación esquemática de un sistema que incluye dos separadores de gas: un separador de gas aguas arriba de un biorreactor y un separador de gas aguas abajo de un biorreactor según ciertas realizaciones.

Figura 7: Es una representación esquemática de un sistema que incluye un depósito de almacenamiento de un amortiguador o tampón según ciertas realizaciones de la invención.

- 30 Figura 8: Es una representación esquemática de un sistema que incluye un depósito de almacenamiento de un amortiguador o tampón según ciertas realizaciones de la invención.

Figura 9: Es una representación esquemática de un sistema que incluye un compresor según ciertas realizaciones de la invención.

- 35 Figura 10a: Es una representación esquemática de un sistema que incluye fuentes múltiples de corriente sustrato y un depósito de almacenamiento de un amortiguador o tampón según ciertas realizaciones de la invención.

Figura 10b: Es una representación esquemática de un sistema que incluye fuentes múltiples de corriente sustrato y un depósito de almacenamiento de un amortiguador o tampón según ciertas realizaciones de la invención.

- 40 Figura 11: Es una representación esquemática de un sistema que incluye un depósito de almacenamiento de un amortiguador o tampón, un separador de gas y un separador de CO₂ según ciertas realizaciones de la invención.

Figura 12: Es una representación esquemática de un sistema adaptado para capturar carbono orocedente de una corriente residual según ciertas realizaciones de la invención.

Figura 13: Es una representación esquemática de un sistema que incluye un medio de mezcla, según ciertas realizaciones de la invención.

- 45 Figura 14: Ilustra el crecimiento microbiano con el tiempo cuando se emplean gases de una fabrica de acero como recurso; y

Figura 15: Ilustra síntesis de productos, a saber producción de acetato, con el tiempo cuando se emplean gases de una fabrica de acero como recurso.

Figura 16: Ilustra crecimiento bacteriano y síntesis de productos con el tiempo, utilizando medios de laboratorio; y

Figura 17: Ilustra crecimiento bacteriano y síntesis de productos con el tiempo utilizando medios de laboratorio mezclados con agua de depurador procedente de una fabrica de acero, en una razón de 1:1.

5 Descripción detallada de la invención

Según ciertos métodos de la invención, pueden emplearse gases residuales o de desecho procedentes de un procedimiento industrial para suplementar y/o apoyar reacciones de fermentación con etapas mínimas adicionales de procesamiento o tratamiento sobre los gases antes de hacerlos pasar al biorreactor en el que se realiza el proceso de fermentación. Esto es especialmente sorprendente debido a que se opina comúnmente que los gases residuales o de desecho contienen contaminantes que podrían ser perjudiciales para el crecimiento y/o la supervivencia de los microorganismos utilizados en la fermentación. La invención tiene aplicabilidad particular a gases residuales o de desecho producidos durante procedimientos de fabricación de acero, en particular los que contienen CO, que se emplean para producir alcoholes (p. ej., etanol, butanol, isopropanol) y/o ácidos (p.ej., ácido butírico, ácido acético y/o acetato). Si bien existe una diversidad de microorganismos diferentes capaces de llevar a cabo tales procedimientos, la invención tiene una aplicabilidad particular para procedimientos de fermentación que llevan consigo el uso de *Clostridium autoethanogenum*.

El aspecto de la invención tiene un valor importante dado que reduce el número o elimina las etapas de tratamiento preliminar realizadas en gases residuales antes de su empleo en una reacción de fermentación. Por tanto, la invención proporciona para una adecuabilidad y/o aplicabilidad más amplia de tales procedimientos de fermentación, en particular en instalaciones industriales establecidas en que puede estar disponible una cantidad limitada, predeterminada de espacio para la adición de equipo para llevar a cabo las fermentaciones. Asimismo, no debido o limitado a procedimientos limitados de depuración y/o tratamiento preliminar que se realizan sobre los gases residuales, las realizaciones de la invención pueden mejorar también o reducir los restos procedentes de procedimientos industriales debido a que no hay necesidad de tratar el resto o los contaminantes que resultan de los procedimientos de depuración y/o de tratamiento preliminar.

Gases residuales procedentes de procedimientos industriales distintos de los de la fabricación de acero, pueden ser empleados de un modo similar en los métodos de la invención. La invención se aplica con facilidad a reacciones de fermentación que utilizan sustratos gaseosos distintos de monóxido de carbono como origen de carbono y energía, producen alcoholes distintos de etanol, y/o que utilizan microorganismos distintos de *Clostridium autoethanogenum*.

Los sustratos adecuados para uso en procedimientos de fermentación contienen a menudo también CO₂. Además, en muchas reacciones de fermentación, por ejemplo donde se convierte CO en productos que incluyen ácidos y/o alcoholes, pueden producirse volúmenes importantes de CO₂. La presente invención se refiere a métodos, sistemas y procedimientos para mejorar la captura global de carbono de tales reacciones de fermentación

De conformidad con métodos de la invención, la separación de CO₂ (u otros gases) de una corriente sustrato aumentará la concentración de CO (o la presión parcial de CO de un sustrato gaseoso) y por tanto aumenta la eficacia de reacciones de fermentación donde CO es un sustrato. El aumento de la presión parcial de CO de un sustrato gaseoso aumenta la transferencia de la masa de CO a medios de fermentación. Además, la composición de corrientes de gas empleada para alimentar una reacción de fermentación puede tener un impacto importante sobre la eficacia y/o los costes de esa reacción. Por ejemplo, O₂ puede reducir la eficacia de un procedimiento de fermentación anaeróbica. Además, el tratamiento de gases indeseados o innecesarios en fases de un procedimiento de fermentación antes o después de la fermentación, puede incrementar la carga de tales fases (p. ej., cuando la corriente de gas se comprime antes de entrar en un biorreactor, ha de emplearse una energía innecesaria para comprimir los gases que no se necesitan para la fermentación). Adicional o alternativamente, el componente de CO₂ de una corriente sustrato particular puede ser de mayor valor si se emplea en otra reacción, con inclusión de otra reacción de fermentación.

Además, según métodos de la invención, aumentando la concentración de CO₂ de una corriente, por ejemplo, aumentando la presión parcial de CO₂ de una corriente gaseosa, se aumentará la eficacia de procedimientos que utilizan CO₂, tales como la fermentación. Ejemplos de procedimientos que utilizan CO₂ tanto como fermentaciones, son bien conocidos en la técnica. Ejemplos de algunos de tales procedimientos se describen en detalle en el documento WO2006/108532.

Ciertos aspectos de la invención se refieren, en general, a sistemas y métodos para mejorar la captura global de carbono en procedimientos que incluyen fermentación microbiana. En realizaciones particulares, la invención se refiere a la captura de CO₂ de corrientes sustrato proporcionadas a una reacción de fermentación. Alternativamente, o en adición, la invención se refiere a la captura de CO₂ procedente de corrientes de escape después de que la corriente ha salido del biorreactor. En realizaciones particulares de la invención, el sustrato proporcionado a la reacción de fermentación comprende CO.

Además, puede ser deseable separar y/o capturar componentes que contienen carbono tales como CO₂ y/o CH₄ para mejorar la captura global de carbono del procedimiento descrito en la presente memoria. Adicional o

alternativamente, componentes de un gas particular pueden ser de un mayor valor si se emplean en otro lugar distinto de la reacción de fermentación (p. ej., H₂ es de un valor considerable para emplearlo como combustible).

5 Ciertos aspectos de la invención se refieren generalmente a sistemas y métodos para mejorar la eficacia de procedimientos de obtención de productos por fermentación microbiana de gases, en particular mediante el empleo de al menos un procedimiento de separación se gas de la corriente de gas que se emplea para realizar la fermentación y/o la corriente de gas producida como resultado de la fermentación. En una realización, se configura un separador de gases para separar sustancialmente al menos una parte de la corriente de gas, en donde la parte comprende uno o más componentes. Por ejemplo, el separador de gas puede separar CO₂ de una corriente de gas que comprende los componentes siguientes: CO, CO₂, H₂, en donde el CO₂ puede hacerse pasar a un separador de CO₂, y el resto de la corriente de gas que comprende CO y CO₂ puede pasarse a un biorreactor.

10 Las corrientes de gas generadas durante procedimientos industriales, tales como el tratamiento de lotes de aceros procedentes de hierro en una fabrica de acero, puede ser intermitente en naturaleza, que puede no ser deseable cuando tales gases se emplean para bioconversión. Además, la naturaleza de las corrientes puede ser tal que la composición de gases varíe en naturaleza cíclica durante diversas fases de un procedimiento industrial particular. Por ejemplo, en el procedimiento de fabricación de acero, durante períodos en que esencialmente se generan gases sin oxígeno, las concentraciones de CO son las más altas. Recíprocamente, cuando los gases están en gran medida sin CO, pueden estar presentes niveles importantes de O₂. Muchas reacciones de fermentación requieren concentraciones altas de CO que están esencialmente desprovistas de O₂, tales como aquellas que llevan consigo bacterias anaerobias, en particular, bacterias carboxidotróficas.

20 Ciertos aspectos de la invención se refieren, en general, a sistemas y métodos para mejorar la eficacia de procedimientos empleados para obtener productos por fermentación microbiana de gases en que las corrientes de gas (u otros orígenes tales como gases y/o hidratos de carbono disueltos) empleados para alimentar la reacción de fermentación son intermitentes en naturaleza. Realizaciones particulares de la invención se describen en el contexto de la industria de fabricación de acero, con bacterias carboxidotróficas que se emplean para producir ácidos y/o alcoholes, en particular etanol o butanol. Los expertos en la técnica serán conscientes, por consideración de la presente descripción, de que la invención puede aplicarse a diferentes industrias, así como también a varias fases del procedimiento de fabricación de acero. Asimismo, los expertos en la técnica serán conscientes en consideración de la presente descripción, de que la invención puede aplicarse a otras reacciones de fermentación, con inclusión de aquellas que emplean los mismos o diferentes microorganismos.

30 Ciertos aspectos de la invención se refieren, en general, a sistemas y métodos para mejorar la eficacia de procedimientos para obtener productos y/o capturar carbono por fermentación microbiana de corrientes sustrato en donde las corrientes sustrato se mezclan con corrientes adicionales para optimizar la composición para la fermentación microbiana.

35 Sorprendentemente, cuando se mezcla agua de depurador procedente del procedimiento de fabricación de acero oxigenado básico o una corriente de gas de desecho de un horno oxigenado básico procedente de una fabrica de acero, se mezcla con medios de crecimientos microbianos normales en una reacción de fermentación utilizando gas que contiene monóxido de carbono para producir etanol según métodos de la invención, el crecimiento de *Clostridium autoethanogenum*, así como su capacidad para producir etanol, se mejora. Este hecho es particularmente sorprendente, ya que se esperaba que el agua contuviera contaminantes que podrían ser perjudiciales para el crecimiento y la supervivencia de microorganismos.

45 Este descubrimiento tiene un valor importante en la mejora o en la reducción de restos procedentes de procedimientos industriales, aumentando la eficacia de reacciones de fermentación, reduciendo el nivel de medios que se requieren para apoyar reacciones de fermentación, y por consiguiente disminuyendo los costes de operación. La invención puede servir, por tanto, para disminuir el nivel de acetato, subproducto formado durante tales reacciones de fermentación. Este hecho puede ser de beneficio en situaciones en que el acetato no es de uso y pudiera desecharse de otro modo, aumentando los costes a la industria y ocasionando un problema medioambiental

50 Los resultados obtenidos permiten el uso de agua de depurador como carga de alimentación principal para reacciones de fermentación. El agua de depurador procedente de procedimientos industriales distintos de la fabricación de acero pueden emplearse de un modo similar. Además, la invención puede aplicarse con facilidad a reacciones de fermentación que utilizan sustratos gaseosos distintos de monóxido de carbono como fuente de carbono y energía, producen alcoholes distintos de etanol, y/o que utilizan microorganismos diferentes al *Costridium autoethanogenum*.

Una o más características de cada una de cualquiera dos o más de los aspectos anteriormente citados, pueden combinarse y emplearse dentro del mismo sistema con las ventajas que acompañan a los mismos.

55 *Definiciones*

A menos que se defina de otro modo, los siguientes términos y expresiones que se emplean en toda esta memoria descriptiva, se definen como sigue:

La expresión “captura de carbono” como se emplea en esta memoria, se refiere al secuestro de compuestos de carbono que incluyen CO₂ y/o CO procedentes de una corriente que comprende CO₂ y/o CO y o bien:

- convertir el CO₂ y/o el CO en productos como se define en esta memoria; o
- convertir el CO₂ y/o el CO en sustancias adecuadas para el almacenamiento a largo plazo, o captar e

5

CO₂ y/o el CO en sustancias adecuadas para almacenamiento a largo plazo;

o una combinación de estos procedimientos.

La expresión “sustrato que comprende monóxido de carbono” y expresiones similares debe entenderse que incluyen cualquier sustrato en el que monóxido de carbono esté disponible para una o más cepas de bacterias para crecimiento y/o fermentación, por ejemplo.

10 “Sustratos gaseosos que comprenden monóxido de carbono” incluyen cualquier gas que contiene monóxido de carbono, El sustrato gaseoso contendrá típicamente una proporción importante de CO, preferiblemente al menos aproximadamente 5% a aproximadamente 100% de CO en volumen.

15 El término “biorreactor” incluye un dispositivo de fermentación que consiste en uno o más recipientes y/o torres o disposiciones de tuberías que incluye el Reactor de Depósito Agitado Continuo (Continuous Stirred Tank Reactor)(CSTR), Reactor de Células Inmovilizado (ICR), Reactor de Lecho Goteador (TBR), Columna de Burbujeo, Fermentador de Elevación de Gas, Reactor de Membrana tal como el Biorreactor de Membrana de Fibra Hueca (HFMBR), Mezclador Estático, u otro recipiente u otro dispositivo adecuado para el contacto de gas-líquido.

20 El término “co-sustrato” se refiere a una sustancia que, si bien no es necesariamente la energía primaria ni el origen de material para síntesis de producto, puede utilizarse para la síntesis de productos cuando se añade a otro sustrato, tal como el sustrato primario.

25 El término “ácido” como se emplea en esta memoria incluye tanto ácidos carboxílicos como el anión carboxilato asociado, tal como la mezcla de ácido acético y acetato libres presentes en un caldo de fermentación como se describe en la presente memoria. La razón de ácido molecular a carboxilato del caldo de fermentación depende del pH del sistema. En adición, el término “acetato” incluye tanto la sal acetato aislada como una mezcla de ácido acético molecular o libre y de sal acetato, tal como la mezcla de sal acetato y de ácido acético libre presente en un caldo de fermentación como se describe en la presente memoria.

La expresión “concentración limitante” significa una concentración inicial de un componente dado de una reacción de fermentación microbiana que es suficientemente baja para asegurar que se agotará en alguna etapa de la fermentación.

30 La expresión “corriente intermitente” significa no solamente corrientes que no están disponibles continuamente, sino también corrientes que no poseen continuamente una composición deseada.

35 La expresión “agua de depurador” se refiere a agua u otros líquidos que resultan de la limpieza de corrientes de gas generadas durante procedimientos industriales tales como fabricación de productos de metales ferrosos, fabricación de productos no ferrosos, procedimientos de refinado de petróleo, gasificación de carbón, gasificación de biomasa, producción de energía eléctrica, producción de negro de carbono y fabricación de coque.

El término “directamente”, como se emplea en relación con el paso de gases de desecho o residuales industriales a un biorreactor, se emplea para significar que no existen fases de procesamiento o tratamiento mínimos, tales como enfriamiento y separación de partículas, que se realizan en los gases antes de que entren en el biorreactor (nota: puede necesitarse una etapa de separación de oxígeno para la fermentación anaeróbica).

40 La expresión “composición deseada” como se emplea para referirse al nivel y tipos deseados de componentes de una sustancia, tal como, por ejemplo, de una corriente de gas. Más particularmente, se considera que un gas tiene una “composición deseada” si contiene un componente particular (p. ej., CO y/o CO₂) y/o contiene un componente particular en un nivel particular, y/o no contiene un componente particular (p. ej., un contaminante perjudicial para los microorganismos) y no contiene un componente particular en un nivel particular. Más de un componente puede considerarse cuando se determina si una corriente de gas posee una composición deseada.

45 El término “corriente” se emplea para referirse a un flujo de material en, a través de y fuera de una o más fases de un procedimiento, por ejemplo, el material que se carga en un biorreactor y/o un separador adicional de CO₂. La composición de la corriente puede variar a medida que atraviesa fases particulares. Por ejemplo, a medida que una corriente pasa a través del biorreactor, el contenido de CO de la corriente puede disminuir, mientras que el contenido de CO₂ puede aumentar. Similarmente, a medida que la corriente pasa a través de la fase de separador de CO₂ el contenido de CO₂ puede disminuir..

A menos que el contexto lo requiera de otro modo, las frases “fermentación”, “procedimiento de fermentación” o “reacción de fermentación” y similares, como se emplea en esta memoria, están destinadas a incluir tanto la fase de

crecimiento como la fase de biosíntesis de producto del procedimiento.

Las expresiones “aumento de la eficacia”, “eficacia aumentada” y similares, cuando se emplean en relación con un procedimiento de fermentación, incluyen, pero no se limitan a, aumento de uno o más de la velocidad de crecimiento de microorganismos en la fermentación, el volumen masa de 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 comparada con otros subproductos de la fermentación, y puede reflejar además el valor (que puede ser positivo o negativo) de cualesquiera subproductos generados durante el procedimiento.

5 En un aspecto, la invención se refiere a sistemas y métodos como se definen en la presente memoria, para aumentar la captura global de carbono en procedimientos de obtención de productos por fermentación microbiana de sustratos, incluyendo dichos sistemas y métodos al menos un proceso de separación de CO₂ realizado sobre sustratos y/o corrientes antes (es decir, aguas arriba) o después (es decir, aguas abajo) de la reacción de fermentación. En ciertas realizaciones de la invención, el sustrato comprende CO. Típicamente, el sustrato será gaseoso; sin embargo, la invención no se limita a ello.

15 En un aspecto, la invención se refiere a sistemas y métodos como se describe en la presente memoria para aumentar la eficacia de procedimientos de obtención de productos por fermentación microbiana de gases, cuyos sistemas y métodos incluyen al menos un proceso de separación de gas realizado sobre los gases antes (es decir aguas arriba) o después (es decir, aguas abajo) de la reacción de fermentación. Como se ha indicado anteriormente, en realizaciones particulares, el gas sustrato empleado en la fermentación microbiana comprende CO; sin embargo, la invención no se limita a ello.

En otro aspecto particular la invención se refiere a sistemas y métodos como se define en la presente memoria para aumentar la eficacia de procedimientos de obtención de productos por fermentación microbiana de gases, particularmente donde el suministro de los gases es intermitente en naturaleza. En realizaciones particulares, el gas sustrato empleado en la fermentación microbiana comprende CO; sin embargo, la invención no se limita a ello.

25 La invención proporciona además métodos y sistemas como se define en la presente memoria para la producción de alcohol utilizando fermentación microbiana. Estos métodos y sistemas llevan consigo el empleo de gases residuales procedentes de un procedimiento industrial. tal como ña fabricación de acero, en la reacción de fermentación, en donde no se llevan a cabo fases de procesamiento adicional mínima sobre los gases antes de tal empleo. En ciertas realizaciones, gases residuales procedentes de uno o más procedimientos industriales y/o fuentes alternativas se combinan o se mezclan para proporcionar una corriente con una composición deseable u optimizada para la reacción de fermentación.

La invención proporciona también métodos y sistemas como se define en la presente memoria para optimizar la composición de una corriente sustrato que comprende CO procedente, al menos en parte, de un procedimiento industrial tal como la fabricación de acero.

35 La invención proporciona asimismo métodos como se define en la presente memoria para la producción de alcohol utilizando fermentación microbiana y métodos como se define en la presente memoria para aumentar la eficacia de producción de alcohol utilizando fermentación microbiana. En una realización, estos métodos llevan consigo utilizar agua de depredador procedente de un procedimiento industrial de la reacción de fermentación

40 Si bien ciertas realizaciones de la invención, a saber las que incluyen la producción de etanol por fermentación anaeróbica utilizando CO como el sustrato primario, se reconocen fácilmente como ser mejoras valiosas para la tecnología de gran interés hoy, ha de apreciarse que la invención es aplicable a la obtención de productos alternativos tales como otros alcoholes y el empleo de sustratos alternativos, en particular sustratos gaseosos, como será conocido por personas de habilidad ordinaria en la técnica a la que se refiere la invención por consideración de la descripción presente. Por ejemplo, sustratos gaseosos que contienen dióxido de carbono e hidrógeno pueden ser empleados en realizaciones particulares de la invención. además, la invención puede ser aplicable a fermentaciones para producir acetato, butirato, propionato, caproato, etanol, propanol y butanol. A modo de ejemplo, estos productos pueden ser producidos por fermentación utilizando microbios de los géneros *Moorella*, *Clostridia*, *Ruminococcus*, *Acetobacterium*, *Eubacterium*, *Butyribacterium*, *Oxobacter*, *Methanosarcina*, *Methanosarcina* y *Desulfotomaculum*.

50 Ciertas realizaciones de la invención están adaptadas al uso de corrientes de gas producidas por uno o más procedimientos industriales. Tales procesos incluyen procedimientos de fabricación de acero, en particular procedimientos que producen una corriente de gas que posee un alto contenido de CO o un contenido de CO por encima de un nivel predeterminado (es decir, 5%). Por consiguiente con tales realizaciones se emplean preferiblemente bacterias carboxidotróficas para producir ácidos y/o alcoholes, en particular etanol o butanol, dentro de uno o más biorreactores. Los expertos en la técnica serán conscientes de consideración de la presente descripción de que la invención puede aplicarse a diversas industrias o corrientes de gas residual, con inclusión de las de vehículos con un motor de combustión interna. También, los expertos en la técnica serán enterados de consideración de la descripción presente de que la invención puede aplicarse a otras reacciones de fermentación

que incluyen aquellas que utilizan el mismo o diferentes microorganismos. El origen de la corriente de gas no está limitado, a diferencia de que al menos uno de los componentes sea utilizable para alimentar una reacción de fermentación. La invención tiene aplicabilidad particular para mejorar la captura global de carbono y/o la producción de etanol y otros alcoholes procedentes de sustratos gaseosos tales como gases de escape de automóviles y gases de corrientes industriales que contienen CO en alto volumen..

Fermentación

Se conocen procedimientos para la producción de etanol y otros alcoholes a partir de sustratos gaseosos (tales como los descritos en la sección de antecedentes anterior). Como procedimientos ejemplares se incluyen los descritos por ejemplo en los documentos WO 2007/117157 y WO 2008/115.080, así como en las patentes de EE.UU. Nos. 6.340.581, 6.136.577, 5.593.886, 5.807.722 y 5.821.111.

Se conocen algunas bacterias anaerobias capaces de llevar a cabo la fermentación de CO a alcoholes, que incluyen n-butanol y etanol, y ácido acético, y son adecuadas para emplear en el procedimiento de la presente invención. Ejemplos de tales bacterias que son adecuadas para emplear en la invención incluyen las del género *Clostridium*, tales como cepas de *Clostridium ljungdahlii*, con inclusión de las descritas en los documentos WO 00/68407, patente europea EP 117309, Patentes de EE.UU. Nos. 5.173.429, 5.593.886 y 6.368.819, WO 98/00558 y WO 02/08438, *Clostridium carboxydvorans* (Liou et al., International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology 33; pp 2.085-2.091) y *Clostridium autoethanogenum* (Abrini et al., Archives of Microbiology 161 pp 345-351). Otras bacterias adecuadas incluyen las del género *Moorella* que incluyen *Moorella sp* HUC22.1 (Sakai et al., Biotechnology Letters 29: pp 1.607-1.612) y las del género *Carboxydotherrmus* (Svetlichny, V.A. et al., (1991), Systematic and Applied Microbiology 14: 254-260). Además, pueden emplearse otras bacterias anaerobias carboxidotróficas en los procedimientos de la invención por un experto en la técnica. También se apreciaría por consideración de la descripción presente que puede emplearse un cultivo mixto de dos o más bacterias en procedimientos de la presente invención

El cultivo de las bacterias empleadas en un método de la invención puede realizarse utilizando algunos de los procedimientos conocidos en la técnica para cultivar y fermentar sustratos empleando bacterias anaerobias. Técnicas ejemplares se proporcionan en la sección de "Ejemplos" que figura más adelante. A modo de ejemplo adicional, pueden utilizarse los procedimientos descritos en general en los artículos que siguen utilizando 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). Biocoverison of synthesis gas into liquid o 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. Continous Culture. Biotech. Bioeng. 34. 6. 785-793; (vi) 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; (vii) J.L. Vega, et al., (1990). Design of Bioreactors for Coal Synthesis Gas Fermentations. Resources. Conservation and Recycling. 3. 149-160.

Un microorganismo ejemplar adecuado para emplear en la presente invención es *Clostridium autoethanogenum*. En una realización el *Clostridium autoethanogenum* es un *Clostridium autoethanogenum* que posee las características de identificación de la cepa depositada en el German Resource Centre for Biological Material (DSMZ) bajo el número de depósito de identificación 19630, En otra realización, el *Clostridium autoethanogenum* es un *Clostridium autoethanogenum* que posee las características de identificación del número de depósito de DSMZ DSMZ 10061.

La fermentación puede llevarse a cabo en cualquier biorreactor adecuado. En algunas realizaciones de la invención, el biorreactor puede comprender un primer reactor de crecimiento en el que los microorganismos se cultivan, y un segundo reactor de fermentación en el que se carga caldo de fermentación procedente del reactor de crecimiento y en el que se produce la mayor parte del producto de fermentación (p. ej., etanol y acetato)-

Según varias realizaciones de la invención, el origen de carbono para la reacción de fermentación es un sustrato gaseoso que contiene CO. El sustrato gaseoso puede ser un gas residual que contiene CO obtenido como un subproducto de un procedimiento industrial, o procedente de algún otro origen tal como de humos de escape de automóviles. En ciertas realizaciones, el procedimientos industrial se selecciona del grupo que consiste en la fabricación de productos de metales ferrosos, tal como se efectúa en una fábrica de acero, fabricación de productos no ferrosos, procedimientos de refinado de petróleo, gasificación de carbón, producción de energía eléctrica, producción de negro de carbono, producción de amoniaco, producción de metanol y fabricación de coque, En estas realizaciones el gas que contiene CO puede capturarse del procedimiento industrial ante de emitirse a la atmósfera, utilizando cualquier método convenientes. Dependiendo de la composición del sustrato gaseoso que contiene CO, también puede ser deseable tratarle para separar cualesquiera impurezas indeseadas, tales como partículas de polvo antes de llevarle a la fermentación. Por ejemplo, el sustrato gaseoso puede filtrarse o depurarse utilizando métodos conocidos.

El sustrato gaseoso que contiene CO puede contener, idealmente, una proporción importante de CO, tal como al menos 5% a aproximadamente 100% de CO en volumen, o de 20% a 95% de CO en volumen, o de 40% a 95% de CO en volumen, o de 60% a 90% de CO en volumen, o de 70% a 90% de CO en volumen. También pueden ser

apropiados sustratos gaseosos que tienen concentraciones más bajas de CO, tal como 6%, en particular cuando están presentes también H₂ y CO₂.

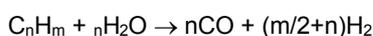
Aun cuando no es necesario que el sustrato gaseoso contenga hidrógeno, la presencia de hidrógeno no será perjudicial generalmente para la formación de producto según métodos de la invención. No obstante, en ciertas realizaciones de la invención, el sustrato gaseoso está sustancialmente desprovisto de hidrógeno (menos de 1%). El sustrato gaseoso puede contener también algo de CO₂ tal como aproximadamente 1% a aproximadamente 30% en volumen, o tal como aproximadamente 5% a aproximadamente 10% de CO₂.

Como se ha indicado previamente, la presencia de hidrógeno en la corriente de sustrato puede conducir a una mejora de la eficacia de la captura global de carbono y/o la productividad de etanol. Por ejemplo, el documento WO 0208438 describe la producción de etanol empleando corrientes de gas de diversas composiciones. En una realización preferida, una corriente sustrato que comprende 63% de H₂, 32% de CO y 5% de CH₄, se proporcionó a un cultivo de *C.ljungdahjii* en un biorreactor para favorecer el crecimiento microbiano y la producción de etanol. Cuando el cultivo alcanzó un estado estacionario y el crecimiento microbiano fue no más el objetivo fundamental, la corriente sustrato se cambió a 15,8% de H₂, 36,5% de CO, 38,4% de N₂ y 9,3% de CO₂, con objeto de proporcionar CO en un exceso ligero y favorecer la producción de etanol. El documento describe asimismo corrientes de gas con mayores y menores concentraciones de CO y H₂.

Por consiguiente, puede ser necesario alterar la composición de la corriente sustrato con objeto de mejorar la producción de alcohol y/o la captura global de carbono. Adicional o alternativamente, la composición puede alterarse (es decir, ajustarse los niveles de CO, CO₂ y/o H₂) para optimizar la eficacia de la reacción de fermentación y mejorar en último lugar la producción de alcohol y/o la captura global de carbono.

En algunas realizaciones, el sustrato gaseoso que contiene CO puede proceder de la gasificación de materia orgánica tal como metano, etano, propano, carbón, gas natural, aceite crudo, restos de valor bajo procedentes de la refinera de aceites (con inclusión de petróleo coque o petcoque), restos municipales sólidos o biomasa. La biomasa incluye subproductos obtenidos durante la extracción y el procesamiento de materias alimenticias tales como azúcar que procede de caña de azúcar, o almidón procedente de maíz o granos, o restos de biomasa no alimentaria generados por la industria de agricultura. Cualquiera de esos materiales carbonosos puede ser gasificado, es decir, sometido a combustión parcialmente con oxígeno, para producir gas de síntesis (singás que comprende cantidades importantes de H₂ y CO). Los procedimientos de gasificación producen típicamente un gas de síntesis con una razón molar de H₂ a CO de aproximadamente 0,4:1 a 1,2:1, junto con cantidades menores de CO₂, H₂S, metano y otras sustancias inertes. La razón del gas producido puede variarse por medios conocidos en la técnica y que están descritos con detalle en el documento WO 200701616. Sin embargo, a modo de ejemplo, las condiciones de gasificación que siguen pueden alterarse para ajustar la razón de producto de CO:H₂: la composición de la carga de alimentación (en particular la razón de C:H), la presión de operación, el perfil de temperatura (con influencia en la bajada de la temperatura de la mezcla de producto) y del oxidante empleado (aire, aire enriquecido en oxígeno, O₂ puro o vapor; en donde el vapor tiende a dar por resultado razones más altas de CO:H₂). Por consiguiente, las condiciones de operación del gasificador pueden ajustarse para proporcionar una corriente sustrato con una composición deseable para la fermentación o mezcla con una o más de otras corrientes para dar lugar a una composición optimizada o deseable para una productividad mejorada de alcohol y/o de captura global de carbono en un procedimiento de fermentación.

En otras realizaciones, el sustrato que comprende CO puede derivarse del reformado con vapor de hidrocarburos. Los hidrocarburos, tales como los hidrocarburos de gas natural, pueden reformarse a temperatura alta obteniendo CO y H₂ según lo siguiente:



A modo de ejemplo, el reformado de metano con vapor lleva consigo hacer reaccionar vapor con metano para producir CO y H₂ a temperatura elevada (700-1.100°C) en presencia de un catalizador de níquel. La corriente que resulta (que comprende 1 mol de CO y 3 moles de H₂ por cada mol de CH₄ convertido) puede pasarse directamente al fermentador o mezclarse con una corriente sustrato procedente de otro origen para aumentar la productividad de etanol y/o la captura global de carbono en un procedimiento de fermentación. Los alcoholes tales como metanol pueden reformarse también para producir CO₂ y H₂ que pueden emplearse de un modo similar.

En otra realización, el sustrato que comprende CO deriva del procedimiento de fabricación de acero. En el procedimiento de fabricación de acero una mena de hierro se fractura y se pulveriza, se somete a tratamientos preliminares tales como sinterización o peletización, y luego se hace pasar a un horno alto (BF) donde se funde. En el proceso de fusión, el coque sirve como fuente de carbono, que actúa como un agente reductor reduciendo la mena de hierro. El coque actúa como la fuente de calor para calentar y fundir los materiales. El metal caliente se descarbura en un horno oxigenado básico (BOF) inyectando una corriente de oxígeno puro a alta velocidad contra la superficie del metal caliente. El oxígeno reacciones directamente con el carbono del metal caliente produciendo monóxido de carbono (CO). Así pues, una corriente de gas con un elevado contenido de CO se escapa del BOF. Según ciertas realizaciones de la invención, esta corriente se emplea para alimentar una o más reacciones de fermentación. No obstante, como podría ser aparente a expertos en la técnica, puede producirse CO en otra parte

dentro del procedimiento de fabricación de acero, y por consiguiente a varias realizaciones de la invención, tales fuentes alternativas pueden emplearse en lugar de o en combinación con gases de escape procedentes del BOF. Dependiendo del origen (es decir, de la fase particular del procedimiento de fabricación de acero), el contenido de CO de los gases escapados con ello puede variar. Asimismo, puede haber periodos en que haya roturas en una o más de tales corrientes, en particular en instalaciones que procesan tandas de materiales.

Típicamente, las corrientes que escapan del proceso de descarburación de la fabrica de acero comprenden una alta concentración de CO y concentraciones bajas de H₂. i bien tales corrientes pueden pasarse directamente al biorreactor con poco o sin tratamiento adicional, puede ser deseable optimizar la composición de la corriente sustrato con objeto de conseguir una mayor eficacia de producción de alcohol y/o de captura global de carbono. Por ejemplo, la concentración de H₂ en la corriente sustrato puede aumentarse antes de hacer pasar la corriente al biorreactor.

Según realizaciones particulares de la invención, pueden combinarse y/o mezclarse corrientes procedentes de dos o más orígenes para producir una corriente sustrato deseable y/o optimizada. Por ejemplo, una corriente que comprende una alta concentración de CO, tal como el escape de un convertidor de una fabrica de acero, puede combinarse con una corriente que comprenda elevadas concentraciones de H₂, tales como la del gas de desecho de un horno de coque de una fabrica de acero.

Una fase anticipada del procedimiento de fabricación de acero lleva consigo, típicamente, la reducción de una mena de hierro empleando coque. El coque es una fuente sólida de combustible de carbono que se emplea para fundir y reducir la mena de hierro, y se produce típicamente in situ en una fabrica de acero. En el proceso de fabricación de coque, se carga carbón bituminoso en una serie de hornos, que se cierran herméticamente y se calienta a temperaturas elevadas en ausencia de oxígeno, típicamente en ciclos que duran 14 a 36 horas. El carbono sólido que permanece en el horno es el coque. Éste se lleva al procesador de temple donde se enfría con una pulverización acuosa o por circulación con un gas inerte (nitrógeno) donde se clasifica y se envía al horno alto.

Los compuestos volátiles producidos durante este proceso se tratan generalmente para separar alquitrán, amoniaco, naftaleno, fenol, aceites ligeros y azufre, antes de emplear el gas como combustible en hornos de calor. El gas que se obtiene como resultado de la producción de coque posee típicamente una composición característica de contenido de H₂: 55% de H₂, 25% de CH₄, 6% de CO, 3% de N₂, y 2% de otros hidrocarburos. Por tanto, al menos una parte del gas del horno de coque puede desviarse al procedimiento de fermentación para mezclarle con una corriente que comprende CO, para mejorar la productividad de alcohol y/o la captura global de carbono. Puede ser necesario tratar el gas del horno de coque antes de hacerle pasar al fermentador para retirar subproductos que pueden ser tóxicos para el cultivo.

Alternativa o adicionalmente, una corriente intermitente que comprende CO, tal como una corriente de escape procedente del convertidor, puede combinarse y mezclarse con una corriente sustancialmente continua que comprende CO y opcionalmente H₂, tal como el singás producido en un proceso de gasificación según se ha descrito previamente. En ciertas realizaciones, esto mantendría la producción al biorreactor de una corriente sustrato sustancialmente continua. En una realización particular, la corriente producida por el gasificador puede aumentarse y/o disminuirse según con la producción intermitente de CO de una instalación industrial con objeto de mantener una corriente sustrato sustancialmente continua con una composición deseable u optimizada. En otra realización, las condiciones del gasificador pueden alterarse como se ha descrito previamente con objeto de aumentar o disminuir la razón CO:H₂ según la producción intermitente de CO procedente de una instalación industrial, con objeto de mantener una corriente sustrato sustancialmente continua con una composición de CO y H₂ deseable u optimizada.

Típicamente, las corrientes sustrato empleadas en la invención serán gaseosas; sin embargo, la invención no se limita a ello. Por ejemplo, el monóxido de carbono puede proporcionarse a un biorreactor en un líquido. Por ejemplo, el líquido puede estar saturado con un gas que contiene monóxido de carbono y luego añadir el líquido a un biorreactor. Esto puede conseguirse utilizando metodología normal. A modo de ejemplo, 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, 2002) podría utilizarse para esta finalidad.

Podrá apreciarse que para el crecimiento de las bacterias y que tenga lugar la fermentación de CO a etanol, además del gas sustrato que contiene CO, se necesitará cargar al biorreactor un medio nutriente líquido adecuado. El medio nutriente contendrá vitaminas y minerales suficientes para permitir el crecimiento del microorganismo utilizado. Medios anaeróbicos adecuados para la fermentación de etanol utilizando CO como la única fuente de carbono, son conocidos en la técnica. Por ejemplo, son medios adecuados los descritos en las patentes de EE.UU. Nos. 5.173.429 y 5.593.886 y en los documentos WO 02/08438, WO2007/115157 y WO2008/115080, a que se ha aludido anteriormente. Los "Ejemplos" de la presente memoria proporcionan otros medios ejemplares.

La fermentación ha de llevarse a cabo en condiciones apropiadas para que tenga lugar la fermentación deseada (p.ej., CO a alcohol). Las condiciones de reacción que han de considerarse incluyen presión, temperatura caudal de gas, caudal de líquido, pH de los medios, potencial redox de los medios, velocidad de agitación (si se emplea un reactor de depósito continuo agitado), nivel del inóculo, concentraciones máximas del sustrato de gas para asegurar que el CO de la fase líquida no llega a ser limitante, y concentraciones máximas de producto para evitar la inhibición

del producto.

La condiciones de reacción óptimas dependerán parcialmente del microorganismo particular utilizado. No obstante, en general, puede ser preferible que la fermentación se lleve a cabo a una presión mayor que la presión ambiente. La operación a presiones aumentadas permite un aumento importante de la velocidad de transferencia de CO desde la fase de gas a la fase líquida donde puede ser por los microorganismos como fuente de carbono para la producción de etanol. Este hecho significa a su vez que el tiempo de retención (definido como el volumen de líquido en el biorreactor dividido por el caudal de gas de entrada) puede reducirse cuando los biorreactores se mantienen a presión elevada en vez de a la presión atmosférica.

Asimismo, debido a que una velocidad dada de conversión de CO a etanol es en parte función del tiempo de retención del sustrato, y que la consecución de un tiempo de retención deseado dicta a su vez el volumen requerido de un biorreactor, el empleo de sistemas puestos bajo presión puede hacer reducir grandemente el volumen requerido del biorreactor, y, por consiguiente, el coste de capital del equipo de fermentación. Según ejemplos dados en la patente de EE.UU. No. 5.593.886 el volumen del reactor puede reducirse en condiciones lineales para aumentar la presión de operación en el reactor, es decir, un biorreactor que opere a 10 atmósferas de presión necesitaría solamente tener una décima parte del volumen de los que se hacen operar a 1 atmósfera de presión.

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

Es deseable también 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 llega a ser limitante. Esto se debe a una consecuencia de las condiciones limitadas del CO que pueden ser tales que el producto de etanol sea consumido por el cultivo.

25 *Recuperación del producto*

Los productos de la reacción de fermentación pueden recuperarse utilizando métodos conocidos. Los métodos ejemplares incluyen los descritos en los documentos WO2007/117157, WO2008/115980 y en las patentes de EE.UU. Nos. 6.340.581, 6.136.577, 5.593.886, 5.807.722 y 5.821.111. No obstante, brevemente y a modo de ejemplo solamente, el etanol puede recuperarse desde el caldo de fermentación por métodos tales como destilación o evaporación fraccionadas y fermentación extractiva.

La destilación de etanol desde un caldo de fermentación produce una mezcla azeotrópica de etanol y agua (es decir, 95% de etanol y 5% de agua). Puede seguidamente obtenerse etanol anhidro mediante el empleo de tecnología de deshidratación de etanol por tamiz molecular, que también se conoce bien en la técnica.

Los procedimientos operatorios de fermentación extractiva llevan consigo el empleo de un disolvente miscible con agua que presenta un riesgo de toxicidad baja para el organismo de fermentación, para recuperar el etanol del caldo de fermentación diluido. Por ejemplo, el alcohol oleílico es un disolvente que puede utilizarse en este tipo de proceso de extracción. En este proceso se introduce continuamente alcohol oleílico en un fermentador, después de lo cual este disolvente se eleva formando una capa en la parte superior del fermentador que se extrae continuamente y se hace llegar a una centrífuga. El agua y las células se separan fácilmente del alcohol oleílico y se devuelven al fermentador mientras que el disolvente que contiene etanol se carga a una unidad de vaporización súbita. La mayor parte del etanol se vaporiza y condensa al tiempo que el alcohol oleílico no volátil se recupera para volver a utilizarlo en la fermentación.

El acetato también puede recuperarse del caldo de fermentación utilizando métodos conocidos en la técnica. Por ejemplo, puede utilizarse un sistema de adsorción que lleva consigo un filtro de carbón activado. En este caso, se retiran al principio típicamente células microbianas del caldo de fermentación utilizando un método de separación adecuado. Numerosos métodos a base de filtración de generación de un caldo de fermentación sin células para recuperación de producto son conocidos en la técnica. El permeado que contiene etanol -y acetato - sin células, se hace pasar después a través de una columna que contiene carbón vegetal activado para adsorber el acetato. El acetato en la forma ácida (ácido acético) en vez de en la forma de sal (acetato) se adsorbe más fácilmente por el carbón vegetal activado. Por consiguiente se prefiere que el pH del caldo de fermentación se reduzca a menos de aproximadamente 3 antes de que atraviese la columna de carbón vegetal activado, convirtiendo la mayoría del acetato en la forma de ácido acético.

El ácido acético adsorbido en el carbón vegetal activado puede recuperarse por elución utilizando métodos conocidos en la técnica. Por ejemplo, puede utilizarse etanol para eluir el acetato unido. En ciertas realizaciones, el etanol producido por el propio procedimiento de fermentación, puede emplearse para eluir el acetato. Debido a que el punto de ebullición del etanol es 78,8°C y que el del ácido acético es 107°C, el etanol y el acetato pueden separarse fácilmente uno de otro utilizando un método basado en la volatilidad tal como la destilación.

Se conocen en la técnica otros métodos de recuperación de acetato desde un caldo de fermentación y pueden utilizarse en procedimientos de la presente invención. Por ejemplo, las patentes de EE.UU. Nos. 6.368.819 y 6.753.170 describen un sistema de disolvente y codisolvente que puede emplearse para la extracción de ácido acético de caldos de fermentación. Como con el sistema a base de alcohol oleílico anteriormente descrito para la fermentación extractiva de etanol, el sistema descrito en las patentes de EE.UU. Nos. 6.368.819 y 6.753.170 describen un disolvente/codisolvente inmiscible con agua que puede mezclarse con el caldo de fermentación o bien en presencia o en ausencia de los microorganismos fermentados para extraer el ácido acético. El disolvente/codisolvente que contiene el ácido acético se separa después del caldo por destilación. Una segunda etapa de destilación puede emplearse después para purificar el ácido acético procedente del sistema de disolvente/codisolvente.

Los productos de la reacción de fermentación (por ejemplo, etanol y acetato) pueden recuperarse del caldo de fermentación retirando continuamente una parte del caldo procedente del biorreactor de fermentación, separando células microbianas del caldo (convenientemente por filtración) y recuperando uno o más productos del caldo simultáneamente o secuencialmente. El etanol puede recuperarse convenientemente por destilación, y el acetato puede recuperarse por adsorción sobre carbón vegetal activado, utilizando los métodos anteriormente descritos. Las células microbianas separadas pueden devolverse al biorreactor de fermentación. El permeado sin células que permanece después de haber sido separados el etanol y el acetato pueden devolverse también al biorreactor de fermentación. Nutrientes adicionales (tales como vitaminas B) pueden añadirse al permeado sin células para rellenar el medio nutriente antes de devolverle al biorreactor. Asimismo, si el pH del caldo se ajustó como se ha descrito anteriormente para intensificar la adsorción de ácido acético en el carbón vegetal activado, el pH ha de reajustarse a un pH similar al del caldo del biorreactor de fermentación, antes de devolverle al biorreactor.

Separación de CO₂

Según ciertas realizaciones de la invención, el sistema empleado para separar CO₂ incluye un medio para separar selectivamente CO₂ de una corriente mixta y un medio para conversión del CO₂ en productos y/o preparación del CO₂ para almacenar o uso posterior. Alternativamente, el procedimiento incluye un medio para convertir el CO₂ en una corriente directamente en productos y/o sustancias adecuadas para almacenar o uso posterior.

En una realización se separa selectivamente CO₂ de una corriente de gas mixta utilizando cualquier medio de separación conocido en la técnica tal como los métodos ejemplares proporcionados más adelante. Otros métodos de separación de CO₂ que pueden emplearse en realizaciones de la invención incluyen extracción con un óxido metálico, tal como CaO y el empleo de carbono poroso o extracción selectiva con un disolvente tal como la extracción de amina.

Aminas tales como soluciones acuosas de monoetanolamina (MEA), diglicolamina (DGA), dietanolamina (DEA), diisopropilamina (DIPA) y metildietanolamina (MDEA) se emplean ampliamente industrialmente para separar CO₂ y sulfuro de hidrógeno de corrientes de gas natural y de corrientes de procesos de refinerías.

El CO₂ separado en tales procesos puede almacenarse permanentemente. Muchos ejemplos de almacenamiento permanente de CO₂ son conocidos en la técnica, tales como el almacenamiento geológico (geosequestración), el almacenamiento oceánico y el almacenamiento mineral (p.ej. conversión en carbonatos metálicos).

El almacenamiento geológico implica inyección de dióxido de carbono, en general en forma supercrítica, directamente en formaciones geológicas subterráneas. Campos de aceites, campos de gas, formaciones salinas, rebabas de carbón inservibles y formaciones basálticas llenas de soluciones salinas han sido sugeridas como sitios de almacenamiento (por ejemplo, "roca sello" (caprock) altamente impermeable) y mecanismos de captación geoquímica pueden utilizarse para evitar que el CO₂ escape a la superficie. Para sitios de almacenamiento geológico bien seleccionados, diseñados y regulado, el Panel on Climate Change intergubernamental estima que el CO₂ pudiera ser atrapado durante millones de años, y los sitios retendrían probablemente más de 99% del CO₂ inyectado a lo largo de 1.000 años.

Varias opciones para el almacenamiento oceánico han sido propuestas: (i) inyección de "disoluciones" de CO₂ por barco o tubería en el agua en profundidad de 1.000 m o más, y el CO₂ se disuelve sustancialmente; (ii) depósito en "lagos" de CO₂ directamente en el fondo del mar en profundidades mayores que 3.000 m donde el CO₂ es más denso que el agua y se espera que forme un "lago" que retardaría la disolución de CO₂ en el medio ambiente; (iii) conversión del CO₂ en bicarbonatos (utilizando piedra caliza); y (iv) almacenamiento del CO₂ en hidratos de clatrato sólidos ya existentes en el fondo del océano, o uso en el crecimiento de clatrato más sólido.

En almacenamiento mineral el CO₂ se hace reaccionar exotérmicamente con óxidos metálicos de que se dispone abundantemente para producir carbonatos estables. Este procedimiento tiene lugar naturalmente a lo largo de muchos años y es el responsable de mucho de la piedra caliza superficial. La reacción puede hacerse más rápida, por ejemplo haciendo reaccionar a temperaturas y/o presiones más altas, o por tratamiento previo de los minerales, aun cuando este método puede necesitar energía adicional.

Alternativamente, el CO₂ separado puede emplearse para fabricar productos, tales como conversión directa o indirecta a hidrocarburos. Un procedimiento bien conocido para producir un hidrocarburo es el procedimiento de

fabricación de metanol a partir de CO₂ y H₂. La disociación catalítica o electroquímica de agua para producir oxígeno y iones hidrógeno, en donde los iones de hidrógeno pueden utilizarse para convertir CO₂ en hidrocarburos es conocido también en la técnica. Si se calienta CO₂ a 2.400°C se desdobra en monóxido de carbono y oxígeno. El proceso de Fischer-Tropsch puede utilizarse luego para convertir el CO en hidrocarburos. En tales procesos el CO puede devolverse al procedimiento de fermentación. A modo de ejemplo, la temperatura requerida puede conseguirse utilizando una cámara que contiene un espejo para enfocar la luz solar sobre el gas. Alternativamente, el CO₂ separado puede emplearse en una fermentación o en fermentaciones particulares para obtener productos. Los expertos en la técnica podrán apreciar que existen muchos ejemplos de reacciones de fermentación microbiana que convierten CO₂ en productos. Por ejemplo, el CO₂ puede convertirse en metano por fermentación anaeróbica utilizando microbios metanogénicos. Ejemplos de éste y otros procedimientos de fermentación relacionados se describen en el documento WO2006/108532 anteriormente citado. Otros ejemplos de reacciones de fermentación que emplean CO₂ para obtener productos se proporcionan en los documentos WO2007/17157 y WO2008/115080 anteriormente citados.

El CO₂ es asimismo una carga de alimentación deseable en la producción de singás. El CO₂ puede suministrarse al reformador (gasificador) para reducir el consumo de metano y mejorar/aumentar la razón de H₂:CO. Por consiguiente, en una realización, al menos una parte del CO₂ separado puede suministrarse a un gasificador integrado en el procedimiento de fermentación.

En otra realización de la invención, el CO₂ separado puede convertirse en productos tales como cemento de hormigón. En un procedimiento que simula el cemento marino producido por coral cuando se fabrican sus cubiertas y rizos, pueden combinarse magnesio y /o calcio con CO₂ para producir carbonatos.

El CO₂ también se absorbe con facilidad por las algas en un proceso fotosintético, que puede emplearse para capturar carbono de corrientes residuales, Las algas crecen rápidamente en presencia de CO₂ y de la luz solar y pueden cosecharse y convertirse en productos tales como biodiesel y/o alcohol.

Alternativamente, el CO₂ puede capturarse directamente a partir de una corriente sin necesidad de una etapa de separación adicional. Por ejemplo, en una realización particular, puede pasarse una corriente, preferiblemente una corriente gaseosa que comprende CO₂ a través de un segundo procedimiento de fermentación para convertir CO₂ en productos,

Separación de gas

Según ciertas realizaciones de la invención, el procedimiento empleado para la separación de gas comprende una o más etapas de fraccionamiento criogénico, tamizado molecular, adsorción, adsorción o absorción de oscilación de la presión. Con cualquier procedimiento que se emplee, la separación de gases puede llevarse a cabo para aislar al menos una parte de uno o más de los componentes siguientes : H₂, O₂, CO₂ y CO de la corriente de gas. Adicional o alternativamente, la separación de gas según realizaciones de la invención pueden emplearse para separar una o más partes de la corriente de gas (p.ej., N₂, O₂) así que el resto puede emplearse más eficazmente tal como en el biorreactor.

La adsorción es la acumulación de gases, líquidos o solutos sobre la superficie de un sólido o un líquido. La absorción es el proceso por el que una sustancia, tal como un sólido o un líquido, se recoge en otra sustancia tal como un líquido o un gas, a través de poros diminutos o espacios existentes entre sus moléculas.

La adsorción con oscilación de la presión (PSA) es un proceso adiabático que puede emplearse para la purificación de gases para separar impurezas que le acompañan por adsorción mediante adsorbentes adecuados en lechos fijos contenidos en recipientes a presión, a presiones altas...La regeneración de adsorbentes se efectúa por despresurización a contracorriente y purgando a presión baja con gas de calidad cercano de producto recuperado previamente. Para obtener una corriente continua de producto, preferiblemente se proporcionan dos adsorbentes de modo que un adsorbente reciba una corriente de gas (tal como una corriente de gas de residuo/escape/hogar), y actualmente de lugar a un producto de la pureza deseada. Simultáneamente, las etapas subsiguientes de despresurización, purgando y vuelta a despresurización a la presión de adsorción se ejecutan por los otros adsorbentes). Los adsorbentes comunes pueden seleccionarse fácilmente por uno de experiencia en la técnica dependiendo del tipo de impureza que ha de ser adsorbido y retirado. Los adsorbentes adecuados incluyen tamices moleculares zeolíticos, carbono activado, gel de sílice o alúmina activada, Pueden emplearse combinaciones de adsorbentes situados en la parte superior de otro, dividiendo con ello los contenidos de adsorbentes en varias zonas distintas, La adsorción con oscilación de presión implica una oscilación pendular en parámetros tales como la presión, la temperatura. el caudal y la composición de la fase gaseosa y adsorbida.

La purificación o separación de gases utilizando PSA tiene lugar normalmente a temperaturas del gas alimentado cerca del ambiente, con lo que los componentes a separar se adsorben selectivamente. La adsorción debe ser suficientemente reversible para permitir la regeneración de adsorbentes a temperatura similar a la ambiente. Puede emplearse PSA para el tratamiento y/o purificación de la mayor parte de los gases comunes con inclusión de CO, CO₂ y H₂. Ejemplos de técnicas de Adsorción por Oscilación de Presión están descritas en detalle en la publicación de Douglas M. et al., 1993 Pressure Swing Adsorption, John Wiley and Sons.

Un tamiz molecular es un material que contiene poros delgados de un tamaño uniforme y preciso que se utiliza como adsorbente de gases y líquidos. Las moléculas que son suficientemente pequeñas pasan a través de los poros y son adsorbidas mientras que las moléculas mayores no lo son. Un tamiz molecular es similar a un filtro común pero opera a un nivel molecular. Los tamices moleculares consisten frecuentemente en minerales de aluminosilicato, arcillas, vidrios porosos, carbones vegetales microporosos, Zeolitas, carbones activos o compuestos sintéticos que poseen estructuras abiertas a través de las cuales pueden difundir moléculas pequeñas, tales como nitrógeno y agua. Los métodos para la regeneración de tamices moleculares incluyen cambio de presión (p. ej., en concentradores de oxígeno) y calentamiento y purga con un gas portador.

Pueden emplearse membranas, por ejemplo, para separar hidrógeno de gases similares a nitrógeno y metano, para recuperar hidrógeno, para separar metano de biogás, o para retirar vapor de agua, CO₂, H₂S o líquidos orgánicos volátiles. Diferentes membranas, que incluyen membranas porosas y no porosas, pueden seleccionarse para servir la finalidad deseada como sería aparente para un experto en la técnica por consideración de la presente descripción. Por ejemplo, una membrana de Paladio permite transportar solamente H₂. En una realización particular, puede separarse CO₂ de una corriente, utilizando una membrana permeable al CO₂. El CO₂ separado de la corriente puede hacerse pasar a un separador de CO₂ tal como el gasificador que se ha indicado previamente.

El fraccionamiento criogénico implica comprimir la corriente de gas y enfriar a una temperatura suficientemente baja para permitir la separación mediante destilación. Puede emplearse, por ejemplo, para separar CO₂. Ciertos componentes (p. ej., agua) se retiran típicamente de la corriente antes de llevar a cabo el fraccionamiento criogénico.

Las mismas técnicas pueden emplearse también para separar oxígeno de una corriente gaseosa para producir corrientes anaerobias ricas en CO y/o CO₂. Además, puede recuperarse oxígeno biológicamente, por, por ejemplo, haciendo pasar la emisión de combustión procedente de nutrientes para los microorganismos. Los microorganismos aerobios facultativos pueden consumir oxígeno para crear corrientes aerobias ricas en CO y/o CO₂.

Métodos alternativos para separar o retirar O₂ de una corriente gaseosa, son conocidos también en la técnica. No obstante, a título de ejemplo, el oxígeno puede reducirse simplemente y separarse utilizando cobre caliente o un convertidor catalítico,

Ajustando el procedimiento de separación de gas a una fuente particular de gas puede hacerse comercialmente viable un procedimiento de bioconversión no viable comercialmente de otro modo. Por ejemplo, con separación apropiada de CO de una corriente de escape de un vehículo, puede obtenerse una fuente de energía utilizable procedente de la corriente y pueden reducirse las emisiones de gas indeseadas. Por consiguiente con una realización de la invención, el sustrato gaseoso comprende Syngas que contiene CO y H₂, y se lleva a cabo separación de gas para retirar hidrógeno de la corriente de modo que pueda aislarse y emplearse como combustible fuera del proceso de fermentación. El CO puede emplearse para alimentar la reacción de fermentación.

Corrientes de gas intermitentes

Según varios aspectos de la invención, el sustrato de fermentación procede de una instalación industrial. Típicamente, los sustratos que proceden de orígenes industriales son gaseosos y tales gases pueden variar en composición y/o presión y en algunos casos pueden tener naturaleza intermitente. La invención proporciona medios para mejorar o "alisar" el suministro de un sustrato gaseoso a un biorreactor para fermentación que dé lugar a productos, particularmente en casos en que el suministro de sustrato sea intermitente o de naturaleza no continua, La invención se refiere a procedimientos o sistemas que incluyen al menos un medio de amortiguación (tamponamiento) adaptado para recibir una corriente de sustrato intermitente, y liberar a un biorreactor una corriente sustrato sustancialmente continua.

El medio de amortiguación incluye un depósito de almacenamiento para recibir corrientes de gas intermitentes, La corriente intermitente puede comprimirse antes de entrar en el depósito de almacenamiento; alternativamente, el depósito de almacenamiento puede configurarse para expandirse a medida que recibe la corriente sustrato. Por ejemplo, el depósito de almacenamiento amortiguado puede incluir una "cubierta flotante" adaptada para elevarse y caer acomodándose a un sustrato gaseoso, Los depósitos de almacenamiento de tipo cubierta flotante son conocidos en la técnica, tales como los empleados para acomodar suministros y pedir fluctuaciones en el suministro de gas. El depósito de almacenamiento está adaptado para suministrar al biorreactor de fermentación una corriente sustrato sustancialmente continua, y por tal motivo puede incluir medios para regular el caudal de la corriente que sale del depósito.

En ciertas realizaciones, el depósito de almacenamiento sirve como recogedor de sustrato. Sin embargo, según una realización alternativa, el depósito de almacenamiento amortiguado puede sustituirse por una forma alternativa de almacenamiento que realiza la misma función. Por ejemplo, las formas alternativas pueden incluir una o más de absorción, adsorción y presión y/o oscilaciones de temperatura. Adicional o alternativamente, el sustrato puede disolverse en un líquido en el recogedor o mantenerse en una matriz, tal como un material sólido poroso, hasta que se necesite. En realizaciones particulares de la invención, el sustrato puede disolverse en un líquido en el depósito de almacenamiento y liberarse directamente al biorreactor en disolución cuando se requiera,

Alternativamente, el propio biorreactor puede configurarse de tal modo que el espacio de cabeza anterior a un medio nutriente líquido de fermentación actúe como amortiguador para la corriente intermitente. Por ejemplo, el sistema puede incluir medios para comprimir la corriente sustrato gaseosa (cuando esté disponible) y pasarla al biorreactor. La presión existente en el espacio de cabeza del biorreactor aumentará cuando se proporciona sustrato adicional. El sustrato está continuamente disponible para conversión en productos por fermentación microbiana.

En otra realización, el sistema puede adaptarse para recibir corrientes sustrato gaseosas procedentes de fuentes intermitentes múltiples. Un sistema tal puede incluir medios para combinar y/o oscilar entre corrientes proporcionando al biorreactor una corriente sustrato sustancialmente continua.

Los microorganismos utilizados en la reacción de fermentación poseen típicamente un intervalo de temperaturas permisible, por arriba o debajo del cual la velocidad de reacción desciende importantemente. Como tal, el sistema puede incluir medios de enfriamiento, en donde cuando se limita la disponibilidad de la corriente sustrato, los medios del biorreactor pueden enfriarse para hacer descender a la reacción de fermentación y reducir la demanda del sustrato. A la inversa, cuando la disponibilidad de la corriente sustrato aumenta, la temperatura del interior del biorreactor puede aumentarse hacia el término superior del intervalo de temperatura para aumentar la velocidad de reacción.

Alternativa o adicionalmente, los medios de enfriamiento pueden configurarse para igualar la carga de enfriamiento y para reducir la carga de enfriamiento pico de un sistema de fermentación. Por ejemplo, suponiendo que la carga de enfriamiento requerida para ajustar con calor dentro de una corriente alimentada de gas y/o una exoterma de fermentación en un período previamente determinado (mientras se está procesando gas) sea 2MW, Para mantener el contenido del depósito de fermentación en una temperatura constante durante este período debe retirarse calor a una velocidad que mantenga una temperatura constante dentro del depósito. Inversamente, durante períodos en que no se está procesando gas y cesa esencialmente el desprendimiento de calor, la carga de enfriamiento será cero. Por tanto, particularmente para aplicación industrial a gran escala habrá períodos en que la carga de enfriamiento sea muy alta, lo que impone restricciones importantes en el sistema. Nivelando la carga de enfriamiento, se reduce la velocidad de enfriamiento rápida máxima. Por tanto, es posible operar con un sistema de enfriamiento a menor escala, aun cuando sea una base continua (o más continua).

Empleando los parámetros del ejemplo anterior pero suponiendo que los períodos en que es gas, y aquellos en que el gas no se procesa son de igual duración, entonces puede separarse calor del depósito de fermentación continuamente a 1MW, En estas condiciones, la velocidad de retirada de calor cuando se está tratando gas ni se mantendrá con la entrada/regeneración de calor, y la temperatura dentro del depósito de fermentación se elevará. Cuando el gas se detiene, pero se continua calentando, la temperatura dentro del depósito de fermentación descenderá. De este modo, se requiere un sistema de enfriamiento de tamaño determinado para carga continua de 1MW en vez de un sistema de tamaño de carga de 2MW que solamente actúa la mitad del tiempo. No obstante, la elevación de temperatura y el descenso subsiguiente deben limitarse para mantener la temperatura del interior del depósito dentro del intervalo permisible para los microorganismos. Por tanto, según realizaciones particulares, aun cuando no constante, la carga de enfriamiento puede "alisarse" de modo que variaciones en ella pueden ser más graduales y/o más limitadas. ya que hay una diferencia más pequeña entre las cargas de enfriamiento máxima y mínima..

Gas de desecho industrial como recurso de fermentación

Según otros aspectos de la invención, se emplean gases industriales residuales en una reacción de fermentación sin depuración adicional o solamente mínima, o en etapas de tratamiento previo usándose para hacer que los gases sean adecuadas para ello.

Los gases residuales pueden resultar de algunos procedimientos industriales. La invención tiene una aplicabilidad particular para apoyar la producción de etanol de sustratos gaseosos tales como gases de combustible industriales que contienen CO con alto volumen. Como ejemplos se incluyen gases producidos durante la fabricación de productos de metales ferrosos, fabricación de productos no ferrosos, procedimientos de refinado de petróleo, gasificación de carbón, gasificación de biomasa, producción de energía eléctrica, producción de negro de carbono, producción de amoníaco, producción de metanol y fabricación de coque. En una realización particular de la invención, los gases residuales se producen durante un procedimiento de fabricación de acero. Por ejemplo, los expertos en la técnica apreciarán los gases residuales producidos durante varias fases del procedimiento de fabricación de acero con altas concentraciones de CO y/o CO₂. En particular el gas residual producido durante la descarburación de acero en diversos métodos de fabricación del mismo, tal como en un convertidor con oxígeno (p. ej., BPF o KOBM) posee un contenido alto de CO y un contenido bajo de O₂ que le hacen un sustrato adecuado para fermentaciones carboxidotróficas anaerobias.

Los gases residuales producidos durante la carburación de acero se hacen pasar adicionalmente a través de agua para separar materia en partículas antes de pasarle a una pila de restos o combustible para dirigir el gas residual a la atmósfera. Típicamente, los gases se conducen a la pila de restos con uno o más ventiladores.

En realizaciones particulares de la invención, al menos una parte del gas residual producido durante la

descarburación de acero se desvía a un sistema de fermentación por medios de conducción adecuados. A modo de ejemplo, por tubería u otros medios de transferencia pueden conectarse a la pila de gases residuales procedentes de una fabrica de acero para desviar al menos una parte del gas residual a un sistema de fermentación. De nuevo, pueden emplearse uno o más ventiladores para desviar al menos una parte del gas residual a un sistema de fermentación. En realizaciones particulares de la invención, el medio de conducción está adaptado para proporcionar al menos una parte del gas residual producido durante la descarburación de acero de un sistema de fermentación. El control del medio y su regulación para cargar gases a un biorreactor, será evidente con facilidad para los expertos ordinarios en la técnica a la que se refiere la invención.

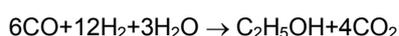
Aun cuando pueden adaptarse fabricas de acero para producir sustancialmente de modo continuo acero y seguidamente gases residuales, aspectos particulares del procedimiento pueden ser intermitentes. Típicamente, la descarburación de acero es un proceso discontinuo que tarda varios minutos hasta varias horas. Por tal causa, los medios de conducto pueden adaptarse para desviar al menos una parte del gas residual, de modo que el gas producido durante la descarburación de acero al sistema de fermentación si se determina el gas residual posee una composición deseable.

El pH de los contenidos del biorreactor utilizado en el procedimiento de fermentación puede adaptarse según sea necesario. El pH apropiado dependerá de las condiciones requeridas para una particular reacción de fermentación que tenga en cuenta el medio nutriente y los microorganismos empleados, así como se apreciará por personas de experiencia ordinaria en la técnica a la que la invención se refiere. En una realización preferente, en la fermentación de un sustrato gaseoso que contiene CO utilizando *Clostridium autoethanogenum*, el pH puede ajustarse a aproximadamente 5,5 a 6,5, lo más preferiblemente a aproximadamente 5,5. Otros ejemplos incluyen un pH de 5,5 a 6,5 empleando *Moorella thermoacetica* para la producción de ácido acético, pH 4,5 a 6,5 empleando *Clostridium acetobutylicum* para la producción de butanol, y pH 7 empleando *Carboxydotherrmus hygrogenaformas* para la producción de hidrógeno. Los expertos en la técnica podrán conocer medios adecuados para mantener el biorreactor en el pH requerido. No obstante, a modo de ejemplo, pueden emplearse bases acuosas tales como NaOH y soluciones acuosas de ácidos tales como H₂SO₄ para elevar y disminuir el pH de la reacción de fermentación y mantener el pH deseado.

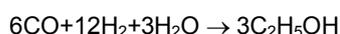
Un beneficio adicional de la invención es que, debido a que no hay o solamente hay una depuración mínima y/u otros procesos de tratamiento realizados sobre los gases residuales antes de su empleo en una reacción de fermentación, los gases contendrán material adicional que resulta del procedimiento industrial, cuyo material adicional puede emplearse, al menos en parte, como carga de alimentación para la reacción de fermentación.

Mezcla de corrientes

Como se ha indicado previamente, puede ser deseable mezclar una corriente residual industrial con una o más de otras corrientes con objeto de mejorar la eficacia, la producción de alcohol y/o la captura global de carbono de la reacción de fermentación. Sin desear quedar unido por alguna teoría, en algunas realizaciones de la presente invención bacterias carboxidotróficas convierten CO en etanol según las siguientes reacciones::



Sin embargo, en presencia de H₂, la conversión global es como sigue:



Por consiguiente, donde corrientes industriales poseen un alto contenido de CO, pero incluyen mínimo H₂ o no, puede ser deseable mezclar una o más corrientes que comprenden H₂ con la corriente residual que comprende CO, antes de proporcionar la corriente sustrato mezclada al fermentador. La eficacia global, la productividad de alcohol y la captura global de carbono de la fermentación, dependerán de la estequiometría del CO y H₂ de la corriente mezclada. Sin embargo, en realizaciones particulares la corriente mezclada puede comprender sustancialmente CO y H₂ en las razones molares siguientes: 20:1, 10:1, 5:1, 3:1, 2:1, 1:1 -o 1:2.

Además, puede ser deseable proporcionar CO y H₂ en razones particulares en diferentes fases de la fermentación. Por ejemplo, corrientes sustrato con relativamente alto contenido de H₂ (tal como CO:H₂ 1:2) pueden proporcionarse a la etapa de fermentación durante el comienzo y/o fases de rápidos crecimiento microbiano. No obstante, cuando la fase de crecimiento desciende, de modo que el cultivo se mantiene en una densidad microbiana sustancialmente estable, el contenido de CO puede aumentarse (tal como al menos 1:1 ó 2:1 o mayor, en donde la concentración de H₂ puede ser mayor o igual a cero).

La mezcla de corrientes puede tener también ventajas adicionales, en particular en casos en que una corriente residual que comprende CO es intermitente en su naturaleza. Por ejemplo, una corriente residual intermitente que comprende CO puede mezclarse con una corriente sustancialmente continua que comprende CO y, opcionalmente, H₂ y proporcionarse al fermentador. En realizaciones particulares de la invención, la composición y el caudal de la corriente sustancialmente continua puede variarse de conformidad con la corriente intermitente con objeto de mantener la provisión de una corriente sustrato de composición y caudal sustancialmente continuos al fermentador.

La mezcla de dos o más corrientes para conseguir una composición deseable puede implicar que puedan mantenerse caudales variables de todas las corrientes o de una o más de las corrientes al tiempo de que otra(s) corriente(s) se varíen con objeto de "arreglar" u optimizar la corriente sustrato a la composición deseada. Para corrientes que se procesen continuamente poco o ningún tratamiento adicional (tal como amortiguación) puede ser necesario y la corriente puede proporcionarse al fermentador directamente. Sin embargo puede ser necesario proporcionar almacenamiento amortiguado para corrientes en que una o más sea disponible intermitentemente, y/o donde las corrientes estén disponibles continuamente, pero se emplean y o se producen a velocidades variables.

Los expertos en la técnica apreciarán que es necesario verificar la composición y los caudales de las corrientes antes de mezclar. El control de la composición de la corriente mezclada puede conseguirse variando las proporciones de las corrientes constituyentes para conseguir una composición diana o deseable. Por ejemplo, una corriente de gas de carga de base puede ser predominantemente CO y una corriente de gas secundaria que comprende una alta concentración de H₂, puede mezclarse para conseguir una razón de H₂:CO especificada. La composición y el caudal de la corriente mezclada puede verificarse por cualesquiera medios conocidos en la técnica. El caudal de la corriente mezclada puede regularse independientemente de la operación de mezcla: no obstante, las velocidades a las que las corrientes constituyentes individuales pueden ser arrastradas debe regularse dentro de límites. Por ejemplo, una corriente producida intermitentemente, obtenida continuamente del almacenamiento amortiguado (tampón), debe arrastrarse a una velocidad tal que la capacidad de almacenamiento amortiguado ni se agote ni se llene a capacidad.

En el punto de mezcla, los gases individuales constituyentes pueden entrar en una cámara de mezcla, que típicamente será un recipiente pequeño o una sección de tubería. En tales casos, el recipiente o tubería puede proporcionarse con dispositivos de mezcla estáticos, tales como tabiques, dispuestos para favorecer turbulencia y homogeneización rápida de los componentes individuales.

El almacenamiento amortiguador de la corriente mezclada se proporciona también con objeto de mantener la provisión al biorreactor de una corriente sustrato sustancialmente continua.

Un procesador adaptado para verificar la composición y los caudales de las corrientes convertidas y regular la mezcla de las corrientes en proporciones adecuadas para conseguir la mezcla requerida o deseable, puede incorporarse al sistema opcionalmente. Por ejemplo, pueden proporcionarse al sistema componentes particulares o como se requiera o de un modo disponible con objeto de optimizar la eficacia de la productividad de alcohol y de la captura global de carbono.

Puede no ser posible o eficaz para el coste proporcionar CO y H₂ en una razón particular todo el tiempo. Para tal hecho puede adaptarse un sistema adaptado para mezclar dos o más corrientes según se ha descrito anteriormente, para optimizar la razón con los recursos disponibles. Por ejemplo, en casos en que esté disponible un suministro inadecuado de H₂, el sistema puede incluir medios para desviar el CO en exceso desde el sistema con objeto de proporcionar una corriente optimizada y conseguir una eficacia mejorada en la producción de etanol y/o la captura global de carbono. En ciertas realizaciones de la invención, el sistema se adapta a verificar continuamente los caudales y las composiciones de al menos dos corrientes y combinarlas después para producir una corriente sustrato mezclada única de composición óptima, y medio para hacer pasar la corriente sustrato optimizada al fermentador. En realizaciones particulares que emplean microbios carboxidotróficos para producir alcohol, la composición óptima de la corriente sustrato comprende al menos 0% de H₂ y hasta aproximadamente 1:2 de CO:H₂.

A modo de ejemplo no limitativo, realizaciones particulares de la invención llevan consigo la utilización de gas de convertidor procedente de la descarburación de acero como origen de CO. Típicamente, tales corrientes contienen poco o nada de H₂, y por tanto puede ser deseable combinar la corriente que comprende CO con una corriente que comprenda H₂ con objeto de conseguir una razón más estable de CO:H₂. H₂ se produce frecuentemente en cantidades grandes en una fábrica de acero en el horno de coque, Por consiguiente, una corriente residual procedente del horno de coque que comprende H₂ puede mezclarse con una corriente residual del convertidor que comprende CO para conseguir una composición deseable.

Adicional o alternativamente, puede proporcionarse un gasificador para producir CO y H₂ de una variedad de orígenes. La corriente producida por el gasificador puede mezclarse con una corriente que comprenda CO para conseguir una composición deseable. Los expertos en la técnica podrán apreciar que las condiciones del gasificador pueden ser reguladas para conseguir una razón particular de CO:H₂. Además, el gasificador puede ser desnivelado hacia arriba o hacia abajo para aumentar y disminuir el caudal de la corriente que comprende CO y H₂ producida por el gasificador. Por consiguiente, la corriente procedente del gasificador puede mezclarse con una corriente sustrato que comprende CO para optimizar la razón de CO:H₂ con objeto de aumentar la productividad de alcohol y/o la captura global de carbono. Además, el gasificador puede desnivelarse hacia arriba y descender para proporcionar una corriente de flujo y/o composición variable que pudiera mezclarse con una corriente intermitente que comprende CO, y conseguir una corriente sustancialmente continua de composición deseable.

Otros orígenes de CO y/o H₂ que pueden mezclarse con una corriente sustrato que comprende CO incluyen la reformación de hidrocarburos, tales como gas natural y/o metano, y reformación de metanol.

Adición de agua del depurador.

Según la invención, puede utilizarse agua del depurador en la reacción de fermentación para aumentar la eficacia de crecimiento y de la obtención de producto.

5 El agua del depurador puede proceder de cualquier fuente industrial apropiada según se ha descrito anteriormente en esta memoria. En una realización particular de la invención, el agua del depurador se obtiene del proceso de limpieza de uno o más gases de escape generados durante la fabricación de acero. A modo de ejemplo, el agua del depurador se obtiene de la limpieza de gases de desecho procedentes de hornos de coquización, el horno alto, el horno oxigenado básico y/o el horno del arco eléctrico.

10 En ciertas realizaciones, el agua del depurador procede del mismo proceso industrial del que el sustrato de fermentación (gaseoso) se origina; por ejemplo, tanto el agua del depurador como el sustrato (gases de escape que contienen CO) derivan de la misma fabrica de acero..

15 El agua del depurador puede emplearse en forma cruda, directa, desde el sistema de depuración o aparato del procedimiento industrial. Sin embargo, el agua del depurador puede tratarse para separar o al menos reducir, el nivel de materia en partículas residual que existe. Métodos para tratar el agua del depurador pueden ser apreciados por los expertos en la técnica a que se refiere la invención. No obstante, a modo de ejemplo, el agua del depurador puede filtrarse, centrifugarse o dejarla sedimentar antes de introducción en el fermentador.

20 Como se ha descrito anteriormente en esta memoria, el pH del agua del depurador puede adaptarse antes de su uso. El pH apropiado dependerá de las condiciones necesarias para una reacción de fermentación particular que haya tenido en cuenta los medios nutrientes y los microorganismos utilizados, como podrán apreciar expertos ordinarios en la técnica a que se refiere la invención. En una realización preferida, en la fermentación de un sustrato gaseoso que contiene CO utilizando *Clostridium autoethanogenum*, el pH puede ajustarse a aproximadamente 5,5 a 6,5, lo más preferiblemente, aproximadamente, 5,5. Otros ejemplos incluyen pH de 5,5 a 6,5 empleando *Moorella thermoacetica* para la producción de ácido acético, pH 4,5 a 6,5 utilizando *Clostridium acetobutylicum* para la producción de butanol, y pH 7 utilizando *Carboxydotherrmus hydrogenaformans* para la producción de hidrógeno.

25 El agua del depurador puede añadirse a la reacción de fermentación empleando cualquier medio adecuado. A modo de ejemplo, puede cargarse directamente de un aparato de depuración llevándola a un biorreactor en el que la fermentación está teniendo lugar o va a ocurrir. Alternativamente, puede recogerse de un aparato de depuración y guardarse en una cámara apropiada que carga el biorreactor, o puede recogerse desde un aparato de depuración y cargarse manualmente en el biorreactor. La adición de agua del depurador al biorreactor puede ser continua, o el agua del depurador puede añadirse en ciertos puntos de tiempo de la reacción de fermentación, o en solicitud, según requieran las circunstancias.

35 En una realización de la invención, el agua del depurador se mezcla con medios nutrientes para utilizar en la reacción de fermentación y añadirla luego al biorreactor mediante uno cualquiera de los medios anteriores. Por consiguiente, la invención proporciona, asimismo, una composición que comprende una mezcla de un medio nutriente y agua del depurador adecuados. Las personas de experiencia ordinaria en la técnica a que se refiere la invención apreciarán medios nutrientes para empleo en fermentación microbiana. Sin embargo, a modo de ejemplo, tales medios pueden contener fuentes de oxígeno, fosfato, potasio, sodio, azufre, una gama de iones metálicos y vitaminas B, y similares. Medios ejemplares se proporcionan en esta memoria más adelante en la sección titulada "Ejemplo".

40 El agua del depurador puede utilizarse en una cantidad de hasta aproximadamente 1:9 medios nutrientes a agua del depurador. En una realización preferida de la invención, el agua del depurador se emplea en una razón de aproximadamente 1:1 de medio nutriente a agua del depurador.

45 Como puede apreciarse, el agua del depurador que resulta de procesos particulares puede contener componentes que sean tóxicos o perjudiciales para microorganismos particulares. Por tanto, la invención no excluye todos los procedimientos de tratamiento previo, si no que evita tales procedimientos adicionales, si es posible. Alternativamente o en adición, la razón del contenido de agua del depurador a un biorreactor puede regularse de tal modo que los componentes potencialmente tóxicos o perjudiciales se mantengan por debajo de concentraciones aceptables.

Agua del depurador como provisión de alimentación primaria:

50 También se describe en una reacción de fermentación realizada empleando agua como la provisión de alimentación. En otras palabras, el agua del depurador es el origen primario de carbono para la reacción de fermentación. En esta realización, la reacción de fermentación puede llevarse a cabo sustancialmente como se ha descrito anteriormente en esta memoria.

55 El agua del depurador puede cargarse a un biorreactor en el que tendrá lugar la fermentación según se ha descrito anteriormente en la presente memoria. En una realización se carga directa y continuamente a un biorreactor desde un sistema de depuración en un nivel apropiado para mantener condiciones óptimas para la reacción de

fermentación. En una realización indicada el agua del depurador se almacena y luego se carga al biorreactor en momentos en que está indisponible una provisión de alimentación o un sustrato alternativos. Por ejemplo, gases de escape generados en ciertos procedimientos de fabricación de acero, no son constantes sino intermitentes. Cuando estos gases son indisponibles para alimentar la reacción de fermentación, el agua del depurador se carga al biorreactor para mantener la producción de alcohol y aumentar la eficacia global de la reacción. Tal procedimiento, en el que agua del depurador se suplementa con medios de fermentación y se carga a un biorreactor, puede conducirse utilizando un sistema de retención celular (p. ej., filtración por membrana en flujo cruzado, centrifugación continua o un sistema celular inmovilizado). En esta realización, la mezcla de agua del depurador y medios de fermentación pueden fluir a través del reactor, proporcionando nutrición a las bacterias. Una ventaja de este sistema es que el agua del depurador contiene altos niveles de monóxido de carbono disuelto. Debido a un procedimiento de importante el coste asociado con el empleo de sustratos gaseosos para la fermentación, es la adquisición y operación del equipo para permitir que la transferencia de la masa de gas de CO desde la fase gaseosa a la fase líquida, el empleo de corrientes líquidas que ya contienen CO reducirá significativamente el coste.

General:

Realizaciones de la invención se describen a modo de ejemplo. No obstante, ha de apreciarse que etapas particulares o fases necesarias en una realización, pueden no ser necesarias en otras. Inversamente, etapas o fases incluidas en la descripción de una realización particular puede ser opcionalmente ventajosamente utilizada en realizaciones en que no se mencionan específicamente,

Si bien la invención se describe ampliamente con referencia a cualquier tipo de corriente que pueda moverse a través o en torno al sistema (o sistemas), por cualquier medio de transferencia conocido, en ciertas realizaciones, el sustrato y/o las corrientes de escape son gaseosos. Los expertos en la técnica apreciarán que pueden acoplarse etapas particulares por medio de conducción adecuados o similares, configurables para recibir o pasar corrientes a través de un sistema. Una bomba o un compresor pueden proporcionarse para facilitar la liberación de las corrientes a fases particulares. Además, puede emplearse un compresor para aumentar la presión de gas proporcionado a una o más etapas, por ejemplo, el biorreactor. Como se ha expuesto anteriormente en la presente memoria, la presión de gases dentro de un biorreactor puede afectar a la eficacia de la reacción de fermentación llevada a cabo en él. Por tanto, la presión puede ajustarse para mejorar la eficacia de la fermentación. Presiones adecuadas para reacciones comunes son conocidas en la técnica.

Además de esto, los sistemas o procedimientos de la invención pueden incluir opcionalmente medios para regular y/o controlar otros parámetros para mejorar la eficacia global del procedimiento. Uno o más procesadores pueden incorporarse al sistema para regular y/o controlar parámetros particulares del procedimiento. Por ejemplo, reacciones particulares pueden incluir medios determinantes para verificar la composición del sustrato y/o de gas(es) de escape. Además, reacciones particulares pueden incluir un medio para controlar la distribución de corriente(s) sustrato(s) a etapas o elementos particulares dentro de un sistema particular si el medio de determinación determina que la corriente tiene una composición adecuada para una etapa particular. Por ejemplo, en casos en que una corriente sustrato gaseosa contiene niveles bajos de CO o valores altos de O₂ que pueden ser perjudiciales para una reacción de fermentación, la corriente sustrato puede desviarse fuera del biorreactor. En realizaciones particulares de la invención, el sistema incluye un medio para verificar y controlar el destino de una corriente sustrato y/o el caudal, de modo que una corriente con una composición deseada o adecuada puede distribuirse a una etapa particular.

En adición, puede ser necesario calentar o enfriar componentes de un sistema particular o corriente(s) sustrato(s) antes o durante una o más etapas del procedimiento. En tales casos, pueden utilizarse medios de calentamiento o enfriamiento conocidos. Por ejemplo, pueden emplearse intercambiadores de calor para calentar o enfriar las corrientes sustrato.

Aun más, el sistema puede incluir uno o más etapas de tratamiento previo o posterior para mejorar la operación o eficacia de una fase particular. Por ejemplo, una etapa de tratamiento previo puede incluir medios para separar material en partículas y/o hidrocarburos de cadena larga o alquitranes procedentes de una corriente sustrato gaseosa. Otras operaciones previas o posteriores pueden llevarse a cabo con inclusión de separación de producto(s) deseado(s) procedentes de fases particulares, tales como, por ejemplo, la etapa de producción del biorreactor (p. ej., la retirada de etanol por destilación).

Diversas realizaciones de sistemas de la invención se describen en las Figuras que se acompañan. Las realizaciones alternativas descritas en las Figuras 1-13 comprenden características en común una con otra y los mismos números de referencia han sido utilizados para indicar la misma o características similares de las diversas figuras. Solamente las nuevas características (relativas a la Figura 1) de las Figuras 2 a 13 se describen y así estas Figuras han de ser consideradas en conjunción con la descripción de la Figura 1.

La Figura 1 es una representación esquemática de un sistema 101 según una realización. La corriente 1 sustrato entra en el sistema 101 a través de un conducto adecuado. La corriente sustrato de entrada 1 comprende CO y opcionalmente CO₂ y, en ciertas realizaciones, la corriente sustrato es una corriente de gas residual procedente de un procedimiento industrial, tal como la liberada durante la carburación de acero en un horno oxigenado básico. Los

niveles de componentes dentro de la corriente de gas 1 pueden fluctuar. La válvula opcional 2 puede incluirse para desviar corriente 1 a otra parte (indicado por la corriente 3) si se determina que la corriente 1 no posee la composición deseada. Por ejemplo, donde es deseable obtener CO de la corriente 1, puede fijarse un contenido mínimo de CO para la corriente 1, con lo que la corriente se desvía fuera del tratamiento posterior del sistema 101 si el contenido mínimo de CO no se cumple. Tal comienzo puede fijarse para evitar un tratamiento no económico o no viable de una corriente. Cualquier medio conocido puede emplearse para determinar si un gas posee una composición deseable. Asimismo, "composición deseable" se refiere no solamente a sustancias deseadas para ser incluidas en la corriente 1, sino también a componentes indeseados. Por ejemplo, la corriente 1 puede desviarse si un contaminante particular está presente en la corriente 1.

Como podrá apreciarse por un experto en la técnica, la válvula 2 puede situarse en otra parte dentro del sistema 101. Por ejemplo, puede colocarse después de tratamiento por el biorreactor 5.

Si se realiza una determinación en que la corriente 1 posee una composición deseada, ésta se hace pasar al trato previo 4 opcional. El trato previo 4 opcional puede emplearse para controlar diversos aspectos de la corriente, que incluyen temperatura y niveles de contaminantes u otros componentes o constituyentes indeseados. También puede utilizarse para añadir componentes a la corriente. Esto dependerá del origen particular de la corriente de gas 1 y/o de la reacción de fermentación particular y/o de los microorganismos seleccionados para ella.

El trato previo 4 puede situarse en otra parte dentro del sistema 101 o puede omitirse, o pueden proporcionarse varios tratos previo 4 en diversos puntos del sistema 101. Esto dependerá del origen particular de la corriente de gas 1 y/o de la particular reacción de fermentación y/o de los microorganismos seleccionados para ella. Por ejemplo, trato(s) previos adicionales pueden proporcionarse aguas arriba del separador 8 de CO₂ para controlar aspectos de la corriente que entra en el separador 8 de CO₂.

Siguiendo el tratamiento previo opcional la corriente puede hacerse pasar al biorreactor 5 por cualquier medio de transferencia conocido. Por ejemplo, la corriente puede desviarse a través del sistema con uno o más ventiladores y/o bombas. El biorreactor 5 está configurado para realizar la reacción de fermentación deseada para obtener productos. Según ciertas realizaciones, el biorreactor 5 está configurado para tratar un sustrato que contiene CO para producir así uno o más ácidos. En una realización particular, el biorreactor 5 se utiliza para producir etanol y/o butanol. El biorreactor 5 puede comprender más de un depósito, estando configurado cada uno de los depósitos para llevar a cabo la misma reacción y/o diferentes fases dentro de un procedimiento particular de fermentación y/o de reacciones diferentes, que incluyen reacciones diferentes para procedimientos de fermentación diferentes que pueden incluir una o más etapas comunes.

El biorreactor 5 puede proporcionarse con medios de enfriamiento para controlar la temperatura del mismo dentro de límites aceptables para los microorganismos utilizados en la reacción de fermentación particular que ha de efectuarse.

Los productos producidos en el biorreactor 5 pueden recuperarse mediante cualquier procedimiento de recuperación conocido en la técnica. Sin embargo, en algunas realizaciones de la invención, al menos una parte del producto puede salir del biorreactor 5 en una corriente 7, que comprende componentes tales como CO₂ y, opcionalmente, CO sin convertir. Tales corrientes pueden tratarse opcionalmente en el separador de producto 6 para retirar cualquier producto antes de que la corriente 7 libre sustancialmente de producto se haga pasar al separador 8 de CO₂.

El separador 8 de CO₂ está configurado para recibir la corriente 7, en donde al menos una parte de CO₂ presente en la corriente 7 se retira de la misma, quedando una corriente residual 9. En ciertas realizaciones, el separador 8 de CO₂ está configurado para separar al menos una parte del componente de CO₂ de la corriente 7 y está adaptado para capturar el CO₂ separado y/o convertirlo en productos adecuados para su uso posterior o su almacenamiento. Alternativamente, el separador 8 de CO₂ puede configurarse para capturar CO₂ directamente y/o convertirlo en productos, desde la corriente 7.

Donde el biorreactor 5 comprende una pluralidad de fases o depósitos separados, corrientes procedentes de al menos un subconjunto de las fases puede recibirse por el separador 8 de CO₂. Asimismo, puede proporcionarse más de un separador 8 de CO₂ aguas abajo de modo que la misma corriente sea sometida a una pluralidad de etapas de separación de CO₂, o la misma o diferente etapa de separación puede realizarse en corrientes procedentes de diferentes etapas de fermentación o diferentes depósitos.

Según una realización alternativa representada en la Figura 2, el separador 8 de CO₂ está situado aguas arriba del biorreactor 5 (es decir, aguas abajo en la Figura 1). Por tanto, según la realización de la Figura 2, puede emplearse el separador 8 de CO₂ para capturar CO₂ procedente de la corriente sustrato antes de hacerla pasar al biorreactor 5. La válvula 2 opcional puede configurarse de modo que si se determina que el contenido de CO₂ es demasiado bajo para una captura eficiente y/o eficaz de captura de CO₂, la corriente puede pasarse directamente al biorreactor 5. Alternativamente, la corriente 3 puede dirigirse fuera del sistema en conjunto, por ejemplo, en circunstancias en las que una corriente sea inadecuada para la retirada de CO₂ o la fermentación.

Según la realización de la Figura 3, el separador 8 de CO₂ está provisto aguas abajo del biorreactor 5 y la válvula 10 está configurada para dirigir la corriente 9 de nuevo al biorreactor 5 si se determina que suficiente CO permanece

en la corriente 9 para fermentación posterior a productos. No obstante, si se determina que el contenido de CO de la corriente es inferior a un nivel deseado, la corriente puede dirigirse a otra parte (como está indicado por la corriente 11). La realización de la Figura 3 incluye también las ventajas imperantes de ambas realizaciones, la de la Figura 1 y la de la Figura 2.

5 La Figura 4 es una representación esquemática de un sistema 104 según otra realización adicional. La corriente 1 de gas de entrada entra en el sistema 104 mediante un conducto adecuado. La corriente 1 de gas de entrada puede ser una corriente de gas residual procedente de un procedimiento industrial tal como la obtenida durante la carburación de acero en un horno oxigenado básico. La corriente 1 de gas de entrada comprende preferiblemente al menos un gas de base de carbono. En realizaciones particulares, la corriente 1 comprende CO y/o CO₂. Los niveles de componentes dentro de la corriente 1 de gas 1 pueden fluctuar. Una válvula 2 opcional puede incluirse para desviar la corriente 1 a otra parte si se determina que la corriente 1 no posee la composición deseada (como está indicado por la corriente 3). Por ejemplo, donde es deseable obtener CO de la corriente 1, puede establecerse un contenido mínimo de CO para la corriente 1, con lo que la corriente es desviada fuera del tratamiento adicional del sistema 104 si el contenido mínimo no está fijado. Tal comienzo puede establecerse para evitar el tratamiento no económico o no viable de una corriente. Puede emplearse cualquier medio conocido para determinar si un gas tiene una composición deseable. Como se ha indicado anteriormente, "composición deseable" puede referirse no solo a sustancias deseadas que estén incluidas en la corriente 1, sino también en componentes indeseados. Por ejemplo, la corriente 1 puede desviarse si se encuentra presente en la corriente 1 un contaminante particular.

20 Como será apreciado por un experto en la técnica por consideración de la descripción presente, la válvula 2 puede situarse en otra parte dentro del sistema 104. Por ejemplo, puede colocarse en el sistema después de tratamiento por el generador 13 de gas.

25 Si se realiza la determinación de que la corriente 1 posee una composición deseada, se pasa al separador 13 de gas. Al menos un primer componente de la corriente 1 de gas se separa, quedando un componente restante. Si el al menos un primer componente o el componente restante pueden desviarse como corriente 12, haciéndose pasar el otro componente al trato previo 4 opcional y al biorreactor 5. Por tanto, donde se requiere CO en una corriente de gas para alimentar una reacción de fermentación, el CO puede separarse del resto de la corriente, con solamente el CO (o una corriente enriquecida en CO) hecha pasar al biorreactor 5. Alternativamente, uno o más componentes de la corriente (p. ej., O₂ y/o H₂) pueden separarse de modo que al menos en parte sean retirados parcialmente, haciéndose pasar el resto de la corriente al biorreactor 5.

30 Como sería aparente para uno de experiencia en la técnica por consideración de la presente descripción, el separador 13 de gas puede comprender una o una pluralidad de fases o de unidades separadas, separándose uno o más gases en cada una de las fases. Una descripción adicional de procedimientos y disposiciones de separación de gas se proporcionan más adelante en esta memoria..

35 Como se ha indicado anteriormente, el trato previo 4 puede situarse en otra parte dentro del sistema 104 o puede omitirse, o pueden proporcionarse tratos previos 4 en diversos puntos del sistema 104. El uso de trato previo 4 puede depender del origen particular de la corriente 1 de gas y/o de la reacción particular de fermentación y/o de los microorganismos seleccionados para ella.

40 El biorreactor 5 está configurado para realizar la reacción de fermentación deseada. Según ciertas realizaciones, el biorreactor 5 está configurado para tratar un sustrato que contiene CO y producir así uno o más ácido y/o uno o más alcoholes. En realizaciones particulares se emplea el biorreactor 5 para producir etanol y/o butanol. El biorreactor 5 puede comprender más de un depósito, estando configurado cada uno de los depósitos para realizar la misma reacción y/o diferentes etapas dentro de un procedimiento de fermentación particular y/o de reacciones diferentes, que incluyen reacciones diferentes para procedimientos de fermentación diferentes que pueden incluir una o más etapas comunes.

45 El biorreactor 5 puede proporcionarse con medios de enfriamiento para controlar la temperatura en el mismo dentro de límites aceptables para los microorganismos utilizados en la reacción de fermentación particular que ha de realizarse.

50 Según la realización alternativa de la Figura 5, el separador 13 de gas está situado aguas abajo del biorreactor 5 (o sea, aguas arriba en la Figura 4). Por tanto, según la realización de la Figura 5, puede emplearse el separador de gas 13 para separar uno o más componentes de gases producidos por la reacción de fermentación en el biorreactor 5, y/o separar gases que han sido cargados pero no utilizados en el biorreactor 5. Donde el biorreactor 5 comprende una pluralidad de fases o de depósitos separados, los gases que proceden de al menos un subconjunto de las fases pueden recibirse por el separador 13 de gas. También, puede proporcionarse más de un separador 13 de gas aguas abajo, de modo que la misma corriente de gas soporte una pluralidad de separaciones, o pueda realizarse la misma o una separación diferente sobre las corrientes de gas procedentes de diferentes fases o depósitos de fermentación.

Según la realización de la Figura 6 se proporcionan separadores de gas 13 aguas arriba y aguas abajo del biorreactor 5 con las ventajas acompañantes de ambas, la realización de la Figura 4 y de la Figura 5.

Una bomba o un compresor (no expuestos) pueden proporcionarse aguas arriba del biorreactor 5 para que la

presión de gas dentro del biorreactor 5 aumente. Como se ha indicado en esta memoria, la presión de gases dentro de un biorreactor puede afectar a la eficacia de la reacción de fermentación llevada a cabo en el mismo. Por tanto, la presión puede ajustarse para mejorar la eficacia de la fermentación. Presiones adecuadas para reacciones comunes se conocen en la técnica.

5 La corriente 1 de gas puede comprender una pluralidad de corrientes diferentes. Elementos de tratamiento separados pueden proporcionarse para diferentes corrientes, siendo comunes solamente un subconjunto de los elementos. Por ejemplo, puede recibirse una primera corriente por un primer separador de gas y una segunda corriente puede recibirse por un segundo separador. Las salidas de ambos, el primero y el segundo separadores pueden pasarse luego a un biorreactor común. Otros niveles de comunidad o diferencia están incluidos dentro del alcance de la invención.

10 La Figura 7 es una representación esquemática de un sistema 107 según una realización de la invención. Una corriente 14 de gas residual entra en el sistema 107 por un conducto adecuado procediendo de un procedimiento industrial (p. ej., carburación de acero en un BOF). La corriente 14 es intermitente en su naturaleza como está indicado por la línea discontinua. La corriente 14 puede ser una corriente constante en el sentido de que se suministra constantemente, pero el contenido de gases particulares dentro de la corriente puede variar con el tiempo. Por ejemplo, el CO dentro de la corriente 14 puede variar entre niveles alto y bajo a lo largo del tiempo. Independientemente de si la corriente 14 se produce en efecto constantemente o intermitentemente, durante los momentos en que los niveles de un gas deseado son demasiado bajos para apoyar una reacción de fermentación (o niveles de un gas indeseado (p. ej., O₂) son demasiado elevados), puede emplearse la válvula 2 para desviar la corriente 14 a otra parte, incluyendo a la atmósfera (como está indicado por la corriente 3). Todas las veces en que la corriente 14 comprende un gas deseado en una concentración deseada, la válvula 2 pasa la corriente resultante 15 al depósito de almacenamiento amortiguado (tampón) 16. La corriente 15 se expone también en la línea discontinua debido a su posiblemente naturaleza intermitente.

25 El depósito 16 de almacenamiento amortiguado actúa como un surtidero que alimenta gas al reactor 5 después de algún tratamiento previo del gas en el trato previo 4. El trato previo 4 puede estar localizado en otra parte dentro del sistema 1 o incluso omitirse, dependiendo del origen particular de la corriente 14 de gas y/o de la reacción de fermentación particular y/o de los microorganismos seleccionados para ella.

30 El depósito 16 de almacenamiento amortiguado libera preferiblemente una corriente 17 estacionaria de gas, que se hace pasar al trato previo 4 y después al biorreactor 5 como corriente 18 estable. Las corrientes 17 y 18 se exponen como una línea continua reflejando su naturaleza sustancialmente continua. El gas puede comprimirse dentro del depósito 16 de almacenamiento amortiguado para reducir el espacio requerido por ello. Pueden emplearse una válvula (no expuesta) u otros medios para establecer la velocidad de flujo de gas desde el depósito 16 de almacenamiento amortiguado. La velocidad es, preferiblemente, constante y se selecciona de modo que el depósito 16 de almacenamiento amortiguado tenga siempre un suministro de gas y no se quede agotado. Según una realización, medios de control (no expuestos) pueden controlar la válvula para variar la velocidad de caudal de gas 15, dependiendo de la cantidad de gas contenido en ella. Más particularmente, cuando el gas almacenado en el depósito 16 de almacenamiento amortiguado cae por debajo de un nivel previamente determinado, la velocidad del caudal procedente del depósito 16 de almacenamiento amortiguado puede disminuirse para que, si bien niveles óptimos de gas no se pasan al biorreactor 5, se proporcionan niveles reducidos que al menos pueden mitigar los efectos sobre la productividad del biorreactor 5 proporcionando condiciones mejoradas para los microorganismos del interior del biorreactor 5.

Así pues, la naturaleza intermitente de la corriente 14 se mitiga en la realización que se expone en la Figura 7 debido a la amortiguación (tamponamiento) de gas en el depósito 16 de almacenamiento.

45 Como sería evidente para un experto en la técnica por consideración de la descripción presente, el depósito 16 de almacenamiento amortiguado incluye una puerta de escape para separar gases residuales del procedimiento de fermentación. El biorreactor 5 también puede proporcionarse con medios de enfriamiento para controlar la temperatura del mismo dentro de límites aceptables para los microorganismos.

50 Según una realización alternativa del sistema 107, el depósito 16 de almacenamiento amortiguado se sustituye por una forma alternativa de almacenamiento que realiza la misma función o una función similar. Estas funciones pueden incluir una o más de absorción, adsorción, y variaciones de presión y temperatura. Según una realización, el gas se almacena en solución cargándose luego la solución al biorreactor 5. Tal disposición puede reducir el tiempo de procesamiento dentro del biorreactor 5, debido a que los gases requeridos están ya disueltos antes de alcanzar el biorreactor 5.

55 En la disposición indicada en la Figura 8, está incluido el depósito 16 de almacenamiento amortiguado y una parte de la corriente 15 se desvía a éste para que cuando esté disponible la corriente 15, pasa gas tanto al biorreactor 5 como al depósito 16 de almacenamiento amortiguado. El gas que pasa al depósito 16 de almacenamiento amortiguado puede almacenarse hasta las veces en que la corriente 15 no se encuentre disponible. Al menos una corriente de nivel bajo de gas puede pasarse luego desde el depósito 16 de almacenamiento amortiguado al biorreactor 5.

Como sería evidente para un experto en la técnica, la corriente 14 de gas residual que procede de un procedimiento industrial puede estar a una temperatura alta. Los intervalos de temperatura que se permiten para los microorganismos varían, pero son del orden de 30°C a 50°C para las bacterias anaerobias utilizadas para producir alcoholes tal como etanol. La corriente 14 de gas puede hacer que la temperatura dentro del biorreactor 5 se eleve, lo que es exacerbado por la naturaleza exotérmica de los procedimientos de fermentación, que dan por resultado la necesidad de medidas de enfriamiento a incluir dentro del sistema. Según una realización, la naturaleza intermitente de la corriente 14 se toma en cuenta cuando se configura el medio de enfriamiento para el biorreactor 5. Más particularmente, durante los momentos en que la corriente 14 no se encuentra disponible o no tiene la composición deseada, la temperatura en el interior del biorreactor 5 puede reducirse para que sea la del extremo inferior del intervalo de temperatura que se permite para los microorganismos utilizados (p. ej., hacia 30°C). Después, cuando esté disponible la corriente de gas 14 con la composición deseada, se permite una elevación de temperatura del interior del biorreactor 5, disminuyendo con ello los requisitos del medio de enfriamiento que se han proporcionado cuando se carga gas al biorreactor 5. Por tanto, para las bacterias anaerobias utilizadas típicamente para producir alcoholes tal como etanol, la temperatura interior del biorreactor 5 puede permitirse que se acerque a 50°C. Según una realización, en el caso de que el biorreactor 5 se aproxime a una temperatura permisible máxima, puede inhibirse que corriente de gas 14 entre en el biorreactor 5 incluso si es disponible en la composición deseada, para permitir que la temperatura dentro del biorreactor 5 se controle con mayor facilidad. En tales casos el gas puede almacenarse para usos posteriores o desviarse a otra parte, donde puede soportar fases de procesamiento adicional como sería evidente para un experto en la técnica al considerar la descripción presente. Realizaciones particulares de la invención proporcionan nivelación de la carga de enfriamiento.

La Figura 9 es una representación esquemática de un sistema 109 según otra realización de la invención. El compresor 22 sirve para comprimir la corriente intermitente 21, cuando está disponible, liberando la corriente 23 comprimido al biorreactor 5. Por tanto, según la realización de la Figura 9, el biorreactor 5 actúa eficazmente tanto como un depósito de fermentación y un depósito de almacenamiento alojando gas en el mismo a una presión elevada cuando la corriente 14 está disponible y tiene la composición deseada. Durante la falta de la corriente 14 o cuando la corriente 14 no tiene la composición deseada, los gases residuales pueden dejarse escapar lentamente del biorreactor 5 de modo que la presión del gas dentro del biorreactor 5 descienda, pero de tal modo que niveles suficientes de cualesquiera gases deseados se mantengan continuamente o se mantengan suficientemente bien para evitar períodos importantes de tiempo durante los que los microorganismos estén desprovistos de los gases.

La Figura 10a y 10b son representaciones esquemáticas de los sistemas 110a y 110b según otra realización de la invención en la que se emplean corrientes de gas 14a y 14b múltiples, intermitentes, para alimentar la reacción de fermentación dentro del biorreactor 5. Por tanto, cuando la corriente 14a está indisponible o no posee la composición deseada, el biorreactor 5 puede cargarse alternativamente con la corriente 14b. Como será evidente para un experto en la técnica, más de dos orígenes de corrientes de gas pueden estar disponibles. Asimismo, la cantidad de fases de tratamiento comunes de las corrientes puede variar dependiendo de las composiciones particulares de cada una de las corrientes. La disposición expuesta en la Figura 10a y 10b pueden llevarse a cabo en una fábrica de acero con corrientes diferentes que se originan de etapas diferentes en el procedimiento de fabricación de acero. Adicional o alternativamente, pueden emplearse otros orígenes de gas. Por ejemplo, en fermentaciones que utilizan bacterias anaerobias para producir alcoholes tal como etanol, pueden utilizarse orígenes convencionales para proporcionar la corriente (p. ej., biomasa).

La Figura 11 es una representación esquemática de un sistema 111 según otra realización de la invención, que incorpora varias de las etapas previamente descritas en la presente memoria. La corriente intermitente 14 se convierte en una corriente 17 sustancialmente continua como se ha descrito previamente con referencia a la Figura 7. La corriente 17 sustancialmente continua se pasa al separador de gas 13, que está adaptado para separar CO₂ de otros componentes de la corriente sustrato, tal como CO. La corriente 12 separada, que comprende CO₂, se hace pasar al separador 8 de CO₂ donde puede convertirse en productos adecuados para uso posterior o almacenarse. El resto de la corriente que comprende CO se hace pasar al trato previo 4, opcional, y después al biorreactor 5. Puede proporcionarse un conducto 24 opcional para pasar una corriente que comprende CO₂ que sales del biorreactor 5 en devolución al separador 8 de CO₂ donde puede convertirse en productos adecuados para su uso posterior o almacenarse..

La Figura 12 es una representación esquemática de un sistema 112 según otra realización de la invención. El horno 25 de oxígeno soplado puede ser parte de un procedimiento industrial tal como la descarbonización de acero y produce la corriente residual 1. En realizaciones particulares, la corriente residual 1 comprende CO y/o CO₂. La corriente residual 1 se pasa a través del trato previo 4a opcional. Típicamente el trato previo 4a será un depurador o un baño de agua adaptado para retirar materia en partículas de la corriente 1. La válvula 2a está adaptada para desviar al menos una parte de la corriente 1 a la cuba 26 de restos cuando se ha determinado que la corriente no posee la composición deseada. La corriente desviada está representada por la flecha 3a. Típicamente, la corriente desviada a la cuba 26 de restos puede salir a la atmósfera como está representado por la flecha 27. Típicamente, la corriente es gaseosa y puede llevarse a la cuba de restos y, opcionalmente, a través del sistema 113 mediante uno o más ventiladores y/o bombas.

Si se determina que la corriente 1 posee una composición deseada, puede desviarse al intercambiador de calor 28a opcional. como la corriente 14. Típicamente, la corriente 14 tendrá naturaleza intermitente y puede necesitar

enfriamiento. El intercambiador de calor 28a puede ser cualquier medio de intercambio de calor conocido en la técnica. Sin embargo, a modo de ejemplo, es un intercambiador de calor tubular de carcasa. El trato previo 4b opcional puede utilizarse para separar materia en partículas residual de la corriente, si es necesario. A modo de ejemplo, puede emplearse un filtro para separar de la corriente la materia en partículas residual. El trato previo 4b puede incluir también medios para retirar agua condensada de la corriente enfriada opcionalmente, tal como un dispositivo interruptor u otro medio adecuado de recogida de humedad conocido en la técnica.

La corriente puede ser puesta bajo presión por cualquier medio adecuado, tal como el compresor de gas 22, antes de pasar a la fase 29 de separación de oxígeno. Puede emplearse cualquier medio adecuado para la retirada de oxígeno, sin embargo, a modo de ejemplo, la fase 29 de retirada de oxígeno incluye un catalizador caliente de cobre o un convertidor catalítico. La corriente puede enfriarse utilizando el intercambiador de calor 28b opcional antes de pasar al tubo de alojamiento 30. El tubo de alojamiento 30 tiene una longitud suficiente para que la composición de la corriente pueda determinarse mediante cualquier medio de determinación apropiado (no expuesto) antes de que la corriente llegue a la válvula 2b. Si se determina que la corriente tiene una composición deseable puede desviarse al medio 16 de almacenamiento amortiguado por la válvula 2b. Si la composición no es adecuada para la fermentación, por ejemplo el contenido de oxígeno es demasiado elevado, la válvula 2b puede desviar la corriente a la cuba de restos 26 (como está representado por la flecha 3b). Un medio amortiguador 16 pasa corriente sustrato 17 sustancialmente continua al biorreactor 5, mediante el trato previo 4c opcional. El trato previo 4c opcional puede emplearse para retirar contaminantes indeseados tales como microbios de la corriente 17. A modo de ejemplo, un filtro o una membrana de esterilización pueden emplearse para separar de la corriente bacterias indeseadas. La corriente residual 3c que sale del biorreactor 5 puede pasarse también a la cuba de restos 26.

Un medio para determinar la composición de la corriente puede incluirse opcionalmente en cualquier etapa del sistema. A modo de ejemplo, pueden incluirse medios para determinar la composición de O₂, CO y/o CO₂, aguas arriba de la válvula 2a, aguas arriba del tubo de alojamiento 30 o de la válvula 2b y/o aguas arriba del biorreactor 5. Además, debido a la naturaleza potencialmente inflamable de las corrientes, puede incluirse asimismo un equipo de seguridad tal como un detenedor de llamas en cualquier fase del sistema.

La Figura 13 es una representación esquemática de un sistema 113 según otra realización de la invención. La corriente residual 1 y la corriente 31, o bien alguna o ambas de las cuales puede tener naturaleza intermitente, se dirigen al mezclador 32. El mezclador 32 está adaptado para controlar el flujo de al menos dos corrientes (tal como la corriente 1 y la 31) y mezcla las corrientes para conseguir una corriente con una composición deseada (corriente 33). Las corrientes indeseadas, tales como corrientes con una composición indeseable, puede desviarse fuera del sistema 113 como indica la flecha 3, mientras que las corrientes 33 con composición deseable puede dirigirse al amortiguador 16, trato previo 4 opcional, y luego al biorreactor 5 para conversión en productos. La composición y los caudales de las corrientes 1, 3, 31 y 33, pueden verificarse continuamente o de otro modo por cualquier medio conocido en la técnica.

La corriente 1 y/o la corriente 33 pueden adicional o alternativamente desviarse fuera del mezclador 32 antes de entrar en éste basándose en sus composiciones individuales. Una disposición tal permite que una de las corrientes 1, 31 se utilice donde solamente una posee la composición deseable.

En realizaciones particulares, el mezclador 32 incluye una cámara de mezcla que comprende típicamente un recipiente pequeño o una sección de tubería. En tales casos, puede proporcionarse el recipiente o tubería medios de mezcla, tales como desviadores, adaptados para favorecer la turbulencia y la homogeneización rápida de los componentes industriales.

En ciertas realizaciones de la invención, el mezclador 23 incluye medios para controlar la mezcla de dos o más corrientes y conseguir una corriente sustrato 33 optimizada. Por ejemplo, el mezclador 32 puede incluir medios para controlar los caudales de cada una de las corrientes 1 y 31 que entran en el mezclador 32 de modo que se consiga una composición deseable de la corriente 33 (p. ej., una razón deseable de CO:H₂). El mezclador incluye también preferiblemente medios de verificación (continuos o de otro modo) aguas abajo de la cámara de mezcla. En realizaciones particulares, el mezclador incluye un procesador adaptado para controlar los caudales y/o las composiciones de las diversas corrientes como resultado de la indicación obtenida de los medios de verificación.

Ejemplos

La inversión será descrita adicionalmente ahora con más detalle con referencia a los ejemplos siguientes no limitativos.

Los medios y disoluciones que se utilizan en las fermentaciones descritas en estos ejemplos contienen los componentes que siguen, a menos que se indique de otro modo.

ES 2 550 278 T3

Medios:

Tabla 1: Composición de los medios LM23 y LM33

Componente de los medios	Concentración por 1,0 l de medios (LM 23)	Concentración por 1,0 l de medios (LM33)
MgCl ₂ .6H ₂ O	0, 5 g	0,5 g
NaCl	0,2 g	0,2 g
CaCl ₂	0,2 g	0,2 g
Amortiguador de fosfato sódico 100 mM (pH 6,0)*	160 ml	-
NaH ₂ PO ₄	-	2,04 g
NH ₄ Cl	0,6 g	2,5 g
H ₃ PO ₄ de 85%	0,05 ml	-
KCl	0,15 g	0,15 g
Solución de indicios de metales de los compuestos (LS06)	10 ml	10 ml
Solución de vitaminas B de los compuestos (LS03)	10 ml	10 ml
Resazurina (reserva de 1000 mg/l)	1 ml	2 ml
FeCl ₃	0,0025 g	0,01 g
Cisteína HCl, monohidrato	0,75 g	0,5 g
Agarosa (opcional)	15 g	15 g
Agua destilada	Hasta 1 litro	Hasta 1 litro

* Se combina NaH₂PO₄ (13,2 g) y Na₂HPO₄.7H₂O (1,1 g) en H₂O (1 litro)

Tabla 2: Composición de solución de vitaminas (LS03) y solución de indicios metálicos (LS06)

Solución de vitaminas B de los compuestos (LS03)	Por litro de reserva	Solución de indicios metálicos de los compuestos (LS06)	Por litro de reserva
Biotina	20,0 mg	Ácido nitrilotriacético	1,5 g
Ácido fólico	20,0 mg	MgSO ₄ .7H ₂ O	3,0 g
Hidrocloruro de piridoxina	10,0 mg	MnSO ₄ H ₂ O	0,5 g
Tiamina. HCl	50,0 mg	NaCl	1,0 g
Riboflavina	50,0 mg	FeSO ₄ .7H ₂ O	0,1 g
Ácido nicotínico	50,0 mg	Fe(SO ₄) ₂ (NH ₄) ₂ .6H ₂ O	0,8 g
D-(*)-Pantotenato cálcico	50,0 mg	CoCl ₂ .6H ₂ O	0,2 g
Vitamina B12	50,0 mg	ZnSO ₄ .7H ₂ O	0,2 g
Ácido p-aminobenzoico	50,0 mg	CuCl ₂ . 2H ₂ O	0,02 g
Ácido tióctico	50,0 mg	AlK(SO ₄) ₂ .12H ₂ O	0,02 g
Agua destilada	Hasta 1 litro	H ₃ BO ₃	0,30 g
		NaMoO ₄ .2H ₂ O	0,03 g
		Na ₂ SeO ₃	0,02 g
		NiCl ₂ .6H ₂ O	0,02 g
		Na ₂ WO ₄ .6H ₂ O	0,02 g
		Agua destilada	Hasta 1 litro

Metodología

Medios:

Se prepararon soluciones de los medios LM23 y LM33 a pH 5,5 como sigue. Todos los ingredientes con la excepción de cisteína.HCl se mezclaron en 400 ml de H₂O. Esta solución se hizo anaeróbica por calentamiento a ebullición y se dejó enfriar a temperatura ambiente bajo un flujo constante de gas de 95% de CO y 5% de CO₂. Una vez frío se añadió la cisteína HCl y el pH de la solución se ajustó a 5,5 antes de aforar el volumen hasta 1000 ml (para el ejemplo 1) o 500 ml (para el ejemplo 2). La aerobicidad se mantuvo a lo largo de los experimentos.

Gas de desecho de fábrica de acero:

Se obtuvo gas de desecho de una fábrica de acero de la instalación New Zealand Steel Glenbrook, de Glenbrook, Nueva Zelanda. Más particularmente, se capturó y se almacenó en recipientes impermeables a gas o puestos bajo presión en cilindros para gases de acero a 100-130 bares. Se tuvo acceso a los gases de desecho de la fábrica de acero almacenados dentro de los recipientes mediante un tapón de caucho butílico impermeable a gases. La composición del gas de desecho de la fábrica de acero varía a lo largo del tiempo dependiendo del estado de la producción de acero. Sin embargo, el gas se recogió durante el proceso de descarbonización y tales gases contenían típicamente CO: 43-50%; CO₂: 17-20%; H₂: 2-3%; N₂: 27-34%.

Agua del depurador de fábrica de acero:

El agua, empleada para depurar (limpiar) la corriente de gases de desecho de KOBM de la instalación de New Zealand Steel Glenbrook de Glenbrook, Nueva Zelanda, se filtró una vez utilizando un embudo Buchner e instalación de vacío a través de papel de filtro S95. El pH del agua filtrada se ajustó a 5,5 y gas de 95% de CO y 5% de CO₂ se hizo burbujear a su través durante 45 minutos antes de uso posterior.

Bacterias:

El *Clostridium autoethanogenum* se obtuvo del German Resource Centre for Biological Material (DSMZ). El número de acceso dado a la bacteria es DSMZ 10061. Alternativamente, el *Clostridium autoethanogenum* utilizado es el depositado en el German Resource Centre for Biological Material (DSMZ) y tiene asignado el número de acceso 19630.

Toma de muestras y procedimientos operatorios analíticos:

Se tomaron muestras de los medios a intervalos a lo largo de un período de 5 días. Cada tiempo se tomó muestra de los medios con cuidado para asegurar que no se dejaba entrar gas o escapar de los frascos de reactores/suero.

Todas las muestras se emplearon para establecer la absorbancia a 600 nm (espectrofotómetro) para determinar la densidad celular, y el nivel de sustratos y de los productos se determinaron por HPLC y GC. El HPLC se utilizó rutinariamente para cuantificar el nivel de acetato y etanol. Se empleó GC para cuantificar el tanto por ciento de gas (v/v) de monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrógeno y nitrógeno.

HPLC

HPLC System Agilent 1100 Series. Fase móvil: Ácido sulfúrico 0,0025N. Caudal y presión: 0,800 ml/min. Columna: Alltech IOA; Catálogo No. 9648, 150 x 6,5 mm, tamaño de partícula 5 µm. Temperatura de la columna: 60°C. Detector: Índice de Refracción. Temperatura del detector: 45°C

Método de preparación de muestras: 400 µl de muestra + 50 µl de ZnSO₄ 0,15M + 50 µl de Ba(OH)₂ 0,15M en un tubo eppendorf. Centrifuga, 10 min a 12.000 rpm, 4°C. Transferencia 200 µl de sobrenadante en un vial de HPLC e inyección en el instrumento de HPLC 5 µl.

40 Cromatografía de gases

Se empleó un cromatógrafo de gas CP-4900 Micro-GC de doble canal: Tamiz Molecular de 5A PLOT del canal de CP-4900, 10 m, 0,25 mm ID, 4,2 segundos flujo de limpieza, temperatura del inyector y de la columna 70C, gas portador Argon 200 kPa, inyección de 40 milisegundos. PoraPLOT Q del canal CP-4900. 10m, 0,25 mm, ID, temperatura del inyector 70C y temperatura de la columna 90C. Gas portador helio 150 kPa, inyección de 40 milisegundos, tiempo de toma de muestra 20 segundos. método de tiempo de proceso 2 minutos. La línea de la muestra se calentó a 70C y se enlazó con un secador Nafion.

Ejemplo 1: Fermentación empleando gas de desecho de fábrica de acero:

Ejemplo 1a (frasco de suero)

La incubación se llevó a cabo en frascos de suero herméticos de 250 ml cada uno de los cuales contenía 50 ml de los medios. El espacio de cabeza de cada frasco de suero se inundó primeramente tres veces con CO₂ antes de ser

evacuado y se llenó con el gas de desecho de la fábrica de acero hasta una presión final de 172 kPa. Cada frasco se inoculó con 1 ml de un cultivo de *Clostridium autoethanogenum*. Se empleo un incubador con agitación y la temperatura de la reacción se mantuvo en 37°C.

5 Se tomaron muestras de los medios en intervalos a lo largo de un período de 15 días. Cada vez se tomó muestra de los medios. Se tuvo cuidado de asegurar que no se dejaba entrar gas ni escaparse del frasco de suero.

Todas las muestras se utilizaron para establecer la densidad celular y el nivel de acetato.

10 Como puede apreciarse de las Figuras 14 y 15, el crecimiento celular y la producción de acetato se elevaron durante los primeros 10 días antes de disminuir lentamente. Por tanto, el crecimiento celular y la producción de acetato se apoyaron rápidamente utilizando el gas de desecho de la fábrica de acero incluso sin haber llevado a cabo fases de tratamiento adicional sobre el gas antes de su empleo en la reacción de fermentación

Ejemplo 1b (frasco de suero)

15 La incubación se llevó a cabo en frascos de suero herméticos de 234 ml cada uno de los cuales contenía 50 ml del medio LM33. El espacio de cabeza de 184 ml de cada frasco de suero se inundó primeramente tres veces con gas de desecho de fábrica de acero antes de ser evacuado y llenado con una sobrepresión manométrica de 207 kPa. Cada uno de los frascos se inoculó con 2 ml de un cultivo de *Clostridium autoethanogenum*. Se empleo un incubador con agitación y la temperatura de reacción se mantuvo en 37°C. Los resultados de los experimentos se proporcionan en la Tabla 3.

Tabla 3: Frasco de suero (207 kPa; 50% de CO; 18% de CO₂; 3% de H₂; 29% de N₂)

Día	0	1	2
Biomasa (g/l)	0,08	0,22	0,19
Acetato (g/l)	0,4	1,4	3,2
Etanol (g/l)	0	0	0,3
Sobrepresión (kPa)	207	193	124

20 *Ejemplo 1c (Reactor de depósito agitado continuo de 10 litros)*

25 Un biorreactor Bioflo 3000 se llenó con 5 litros del medio LM33 sin solución de Cisteína ni vitaminas (LS03) y se calentó en autoclave durante 30 minutos a 121°C. Mientras se enfriaba, el medio se roció con N₂ y se añadió la solución de LS03 así como también Cisteína. El gas se desvió a gas de desecho de fábrica de acero antes de inoculación con 150 ml de un cultivo de *Clostridium autoethanogenum*. El biorreactor se mantuvo en 37°C y se agitó a 200 rpm al comienzo del cultivo con un flujo de gas de 60 ml/min. Durante la fase de crecimiento se aumentó la agitación a 400 rpm y el flujo de gas se fijó en 100 ml/min. El pH se fijó en 5,5 y se mantuvo mediante la adición automática de NaOH 5 M. Los resultados de este experimento, incluyendo el consumo de gas, se proporcionan en la Tabla 4-

Tabla 4: Fermentación de CSTR suministrada con gas de fábrica de acero

Día	1	2	3	4	5
Biomasa (g/l)	0,05	0,08	0,30	0,28	0,20
Acetato (g/l)	0,40	0,78	2,76	3,10	4,03
Etanol (g/l)	0,00	0,00	0,00	0,48	0,71
Flujo de gas de entrada(ml/min)	60	60	100	100	100
Gas de entrada, CO [%]	49,5	49,5	49,5	49,5	49,5
Gas de entrada, CO ₂ [%]	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
Gas de entrada, H ₂ [%]	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
Gas de entrada, N ₂ [%]	27,7	27,7	27,7	27,7	27,7
Flujo de gas de salida (ml/min)	55	55	73	94	92
Gas que sale, CO [%]	49,2	35,8	16,4	46,1	45,5

30

(continuación)

Día	1	2	3	4	5
Gas que sale, CO ₂ [%]	16,9	30,6	44,6	21,1	21,1
Gas que sale, H ₂ [%]	3,2	3,2	1,1	3,2	3,2
Gas que sale, N ₂ [%]	30,4	30,4	37,8	29,5	30,2

Ejemplo 1d (Reactor de elevación de gas de 50 litros)

5 Un reactor de elevación de gas de 50 litros (2.900 mm de altura x 150 mm de diámetro y tubo de colado de 2.000 mm de altura x 95 mm de diámetro) se llenó con 37 litros del medio LM33 filtrado esterilizado a través de un filtro de 0,2 micrómetros de poro (filtro Pall KA2 DFL P2). El medio se roció durante 18 horas con nitrógeno antes de desviar a gas de desecho de fábrica de acero antes de inoculación con 5 litros de un cultivo de *Clostridium autoethanogenum*. El reactor de elevación de gas se mantuvo en 37°C y se consiguió la mezcla recirculando el gas del espacio de cabeza a 15 litros/min. El flujo de Gas en el reactor fue 500 ml/min al comienzo. La sobrepresión del espacio de cabeza se mantuvo en 55 kPa. Durante la fase de crecimiento, el flujo de gas en el reactor se incrementó a 1.000 ml/min. El pH se fijó en 5,5 y se mantuvo mediante la adición automática de NaOH 5 M. Los resultados de este experimento, que incluyen el consumo de gas, se proporcionan en la Tabla 5.

Tabla 5: Fermentación en el reactor de elevación de gas suministrado con gas de fábrica de acero.

Día	1	2	3	4	5
Biomasa (g/l)	0,15	-	-	0,36	0,36
Acetato (g/l)	0,87	3,93	7,90	9,44	10,86
Etanol (g/l)	0,00	0,00	0,21	0,38	0,48
Flujo de gas de entrada (ml/min)	500	500	1000	1000	1000
Gas de entrada, CO [%]	43,6	43,6	43,6	44,3	44,3
Gas de entrada, CO ₂ [%]	19,7	19,7	19,7	20,0	20,0
Gas de entrada, H ₂ [%]	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
Gas de entrada, N ₂ [%]	33,9	33,9	33,9	32,8	32,8
Flujo de gas de salida (ml/min)	341	-	-	690	716
Gas de salida, CO [%]	29,1	-	-	33,1	41,3
Gas de salida, CO ₂ [%]	29,5	-	-	28,5	22,7
Gas de salida, H ₂ [%]	2,9	-	-	3,0	2,6
Gas de salida, N ₂ [%]	38,4	-	-	34,8	33,5

15 Realizaciones particulares de la invención aumentan la aplicabilidad de reacciones de fermentación microbiana que emplean gases de desecho industriales, en particular para la producción de etanol por *Clostridium autoethanogenum*. Los gases residuales que comprenden CO obtenidos directamente de procedimientos industriales pueden emplearse como sustrato en reacciones de fermentación para obtener productos tales como acetato y/o etanol. Esto puede dar por resultado la captura de carbono de gases residuales mejorando así o reduciendo el resto producido por procedimientos industriales, en particular la fabricación de acero, y la disminución de los costes asociados con la operación de reacciones de fermentación.

Ejemplo 2: Fermentación empleando agua de depurador:

Bajo un flujo continuo de gas de 95% de CO y 5% de CO₂, 25 ml de medio LM23 se dispensó a frascos de suero de 250 ml y se mezcló o bien con 25 ml de dH₂O (frascos testigo) o bien con 25 ml de agua de depurador anaeróbica

ajustada en el pH (frascos experimentales). Todos los frascos se taparon con tapones de caucho butílico impermeable al gas y rizos hermetizantes antes de calentar en autoclave a 121°C durante 20 minutos.

5 Una vez fríos todos los frascos de suero se inocularon con 1 ml de un cultivo de *Clostridium autoethanogenum* que crecía activamente en 95% de CO y 5% de CO₂. El gas del espacio de cabeza se puso bajo presión manométrica de 241 kPa con 95% de CO y 5% de CO₂. Una muestra del medio inicial se tomó asépticamente desde cada uno de los frascos. Los frascos se colocaron en un incubador con agitación a 37°C.

Se tomaron muestras de los medios a intervalos regulares a lo largo de un período de 15 días. Cada vez que se tomaba muestra de los medios el espacio de cabeza de cada frasco se inundó tres veces con gas de 95% de CO y 5% de CO₂, antes de ponerle a presión con este gas a 241 kPa.

10 Todas las muestras se emplearon para establecer la concentración celular más el nivel de etanol y acetato de cada uno de los cultivos.

Resultados

Como puede apreciarse de las Figuras 16 y 17, el impacto de la adición de agua de depurador 50% v/v a los medios incluyó:

- 15
1. Niveles inferiores de producción de acetato;
 2. Aumento de 45% de la densidad bacteriana final; y
 3. Aumento de 45% del nivel de producción de etanol.

20 Por tanto, realizaciones particulares de la invención aumentan la eficacia de crecimiento y la producción de alcohol en reacciones de fermentación, en particular la producción de etanol por *Clostridium autoethanogenum*. El material residual que procede de procedimientos industriales puede utilizarse para suplementar los medios nutrientes empleados en reacciones de fermentación. En particular, puede emplearse agua de depurador como reserva de carga o sustrato principal para reacciones de fermentación microbianas. Esto dará por resultado la mejora o la reducción de restos producidos por procedimientos industriales, particularmente la fabricación de acero, reducción del nivel de medios necesarios para apoyar reacciones de fermentación, y reducción del nivel de subproductos de acetato en la producción de etanol por fermentación, mejorando así la eficacia global de reacciones de fermentación y disminuyendo los costes asociados con la operación de tales reacciones.

25

La referencia a cualquier técnica anterior en esta memoria descriptiva ni es ni debe tomarse como un reconocimiento o cualquier forma de sugestión de la que forme parte la técnica anterior del conocimiento general común en el campo de tentativas en algún país.

30 En toda esta memoria descriptiva y en algunas reivindicaciones que siguen, a menos que el contexto lo requiera de otro modo, las palabras "comprenden", "comprensión" y similares, han de interpretarse en un sentido inclusivo en oposición a un sentido exclusivo, es decir, en el sentido de "incluir, pero sin limitar a".

REIVINDICACIONES

- 1.- Un método de producción de uno o más productos que son alcoholes y/o ácidos por fermentación microbiana, método que comprende:
- 5 i. recibir corriente(s) de gas de desecho o residuales que comprenden CO procedentes de procesos industriales;
- ii. pasar la(s) corriente(s) de gas a un biorreactor que contiene un cultivo de una o más bacterias carboxidotróficas en un medio nutriente líquido; y
- iii. someter a fermentación el cultivo en el biorreactor para obtener uno o más productos que son alcoholes y/o ácidos,
- 10 en donde el método comprende la amortiguación de la(s) corriente(s) de gas de desecho o residuales, etapa de amortiguación que comprende
- i. recibir una corriente intermitente o no continua de gas de desecho o residual en un medio de almacenamiento; y
- ii. pasar una corriente continua al biorreactor desde el medio de almacenamiento.
- 15 2.- Un método según la reivindicación 1, que comprende capturar al menos una parte de un contenido de CO₂, empleando un receptor de CO₂, procedente de uno o ambos de:
- i. una corriente anterior a la corriente que entra en el biorreactor; y
- ii. una corriente después de que la corriente ha salido del biorreactor.
- 20 3. Un método según la reivindicación 1 ó 2, que comprende una primera etapa de separación de gas, primera etapa de separación de gas que comprende:::
- i. recibir una corriente de gas:
- ii. separar al menos una parte de la corriente de gas, en donde la parte comprende uno o más componentes de la corriente de gas que incluye CO; y
- iii. pasar al menos parte de la parte o partes separada(s) que incluyen CO al biorreactor..
- 25 4. Un método según la reivindicación 2, o la reivindicación 3 cuando depende de la reivindicación 2, que comprende una segunda etapa de separación de gas, segunda etapa de separación de gas que comprende:::
- i. recibir una corriente de gas;
- ii. separar al menos una parte de la corriente de gas, en donde la parte comprende uno o más componentes de la corriente de gas que incluye CO₂; y
- 30 iii. pasar al menos parte de la(s) parte(s) separada(s) que incluyen CO₂ al receptor de CO₂.
- 5.- Un método según la reivindicación 1, en donde la bacteria carboxidotrófica es *Clostridium autoethanogenum* y el producto de fermentación es etanol y/o acetato.
- 6.- Un sistema para capturar carbono por fermentación microbiana, sistema que comprende una entrada para recibir gas de desecho o residual procedente de un proceso industrial, en donde, en uso, el sistema está configurado para pasar al menos una parte del gas a un biorreactor para generar productos que son alcoholes y/o ácidos por fermentación microbiana,
- 35 cuyo sistema comprende medios amortiguadores que comprenden un depósito de almacenamiento amortiguador adaptado para, en uso:
- i. recibir una corriente de gas/sustrato intermitente o no continua; y
- 40 ii. pasar una corriente continua de gas/sustrato al biorreactor.
7. Un sistema según la reivindicación 6, que comprende un receptor de CO₂ configurado para, en uso, capturar al menos una parte de un contenido de CO₂ procedente de uno o ambos de:
- i. una corriente anterior a la corriente que entra en el biorreactor; y
- ii. una corriente después de que la corriente ha salido del biorreactor.

- 8.- Una corriente según la reivindicación 6 o 7, que comprende un primer separador de gas configurado para en uso:
- i. recibir una corriente de gas;
 - ii. separar al menos una parte de la corriente de gas, en donde la parte comprende uno o más componentes de la corriente de gas que incluye CO₂;
- 5 iii. pasar al menos parte de la parte separada que incluye CO₂ al biorreactor.
9. Un sistema según la reivindicación 7, o la reivindicación 8 cuando depende de la reivindicación 7, que comprende un segundo separador de gas configurado para en uso:
- i. recibir una corriente de gas;
 - ii. separar al menos una parte de la corriente de gas, en donde la parte comprende uno o más componentes de la corriente de gas que incluye CO₂; y
- 10 iii. pasar al menos parte de la parte separada que incluye CO₂ al receptor de CO₂.
- 10.- Un sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, que comprende medios de mezcla adaptados para, en uso, combinar una corriente de gas con al menos otra corriente antes de pasar la corriente combinada al biorreactor..
- 15 11.- Un sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 10, que comprende al menos un medio de determinación para verificar la composición de al menos una corriente de gas alimentada y o que escapa del biorreactor.
- 12.- Un sistema según la reivindicación 11, que comprende medios de control para dirigir al menos una parte de una o más corrientes de gas/de escape a uno o más de:
- i. el biorreactor
 - ii. un receptor de CO₂ cuando la reivindicación 12 es dependiente de la reivindicación 7;
 - iii. un primer separador de gas cuando la reivindicación 12 es dependiente de la reivindicación 8;
 - iv. un segundo separador de gas cuando la reivindicación 12 es dependiente de la reivindicación 9;
 - v. un medio amortiguador cuando la reivindicación 12 es dependiente de la reivindicación 6;
- 20 vi un medio de mezcla cuando la reivindicación 12 es dependiente de la reivindicación 11; y
- vii. un medio de escape,
- 25 seleccionándose al menos en parte, uno o unos de los destinos particulares i a vii, basándose en la determinación hecha por los medios de determinación.
- 13.- Un sistema para aumentar la eficacia de procedimientos para producir productos que son alcoholes y/o ácidos por fermentación microbiana de gas(es) en donde el suministro de dicho(s) gas(es) es intermitente, cuyo sistema comprende medios amortiguadores adaptados para recibir y almacenar al menos una parte del gas, y un biorreactor adaptado para recibir al menos una parte del gas que procede de los medios amortiguadores, cuyos medios amortiguadores comprenden un depósito de almacenamiento amortiguador adaptado para, en uso:
- i. recibir una corriente de gas/sustrato intermitente o no continua; y
- 30 ii. pasar una corriente continua de gas/sustrato al biorreactor.
- 35

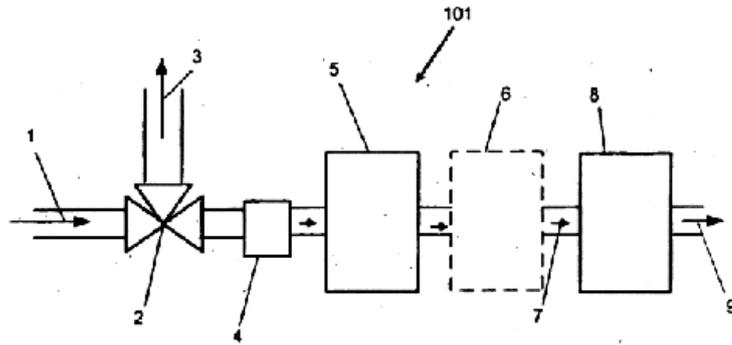


Figura 1

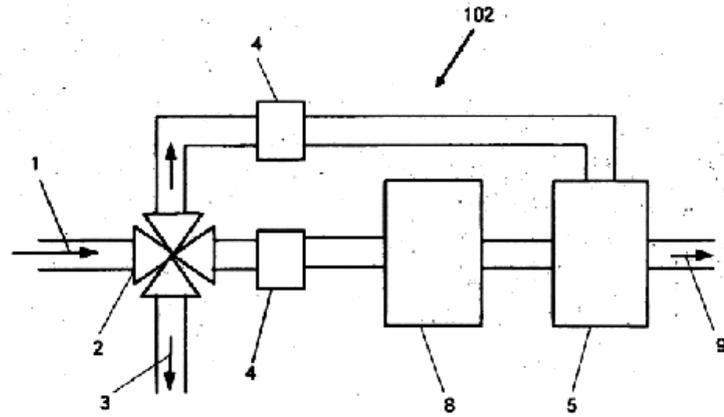


Figura 2

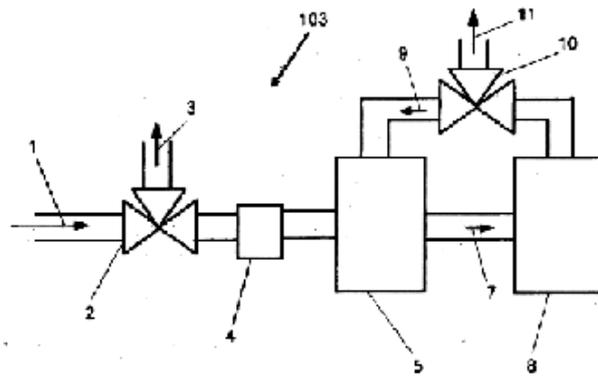


Figura 3

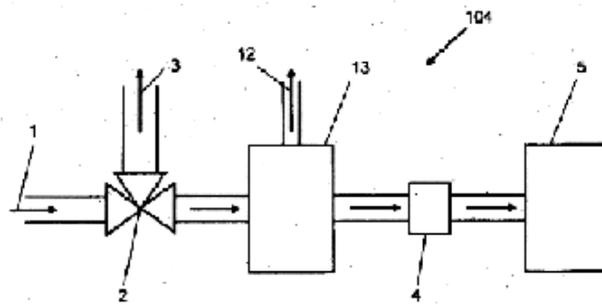
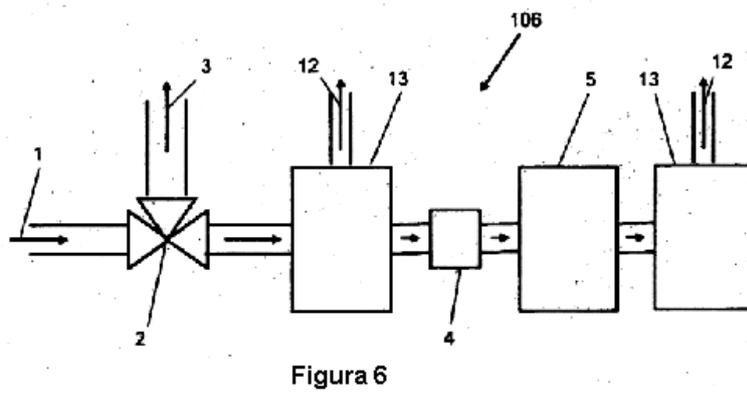
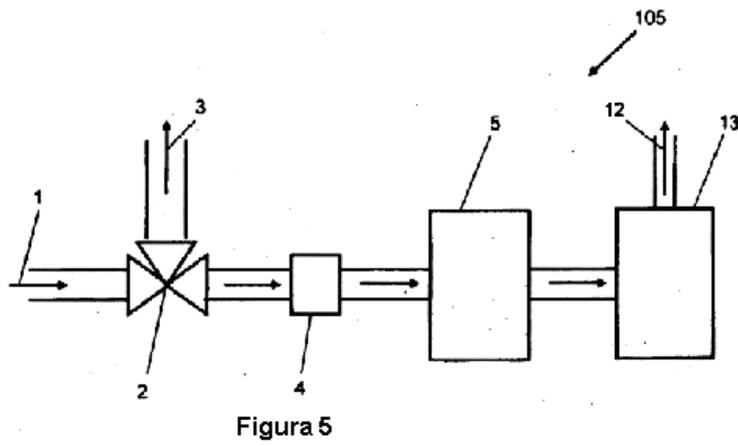


Figura 4



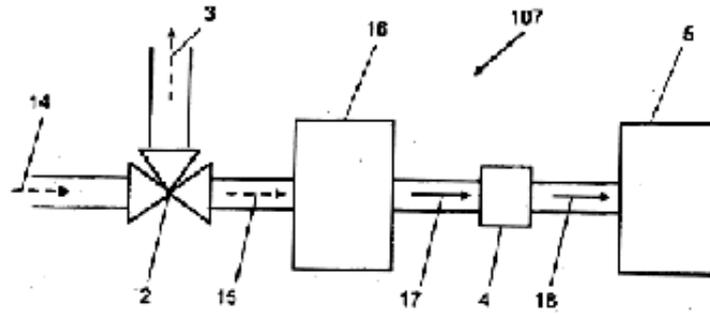


Figura 7

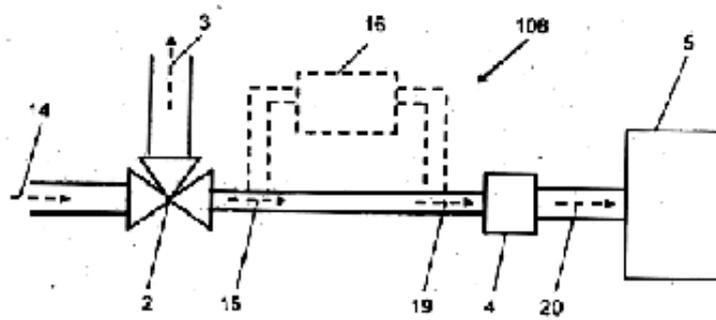


Figura 8

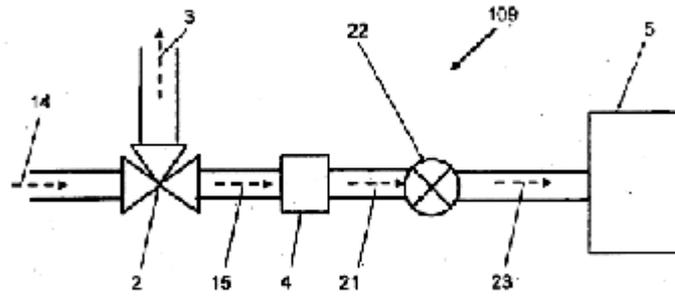


Figura 9

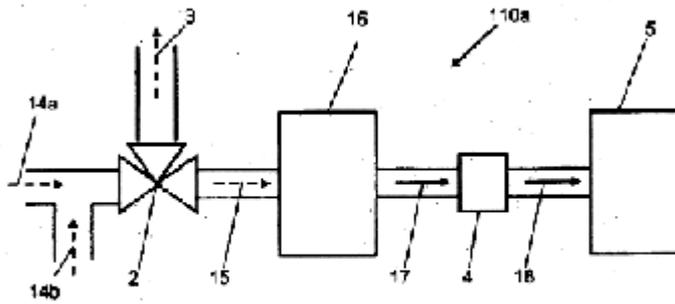


Figura 10a

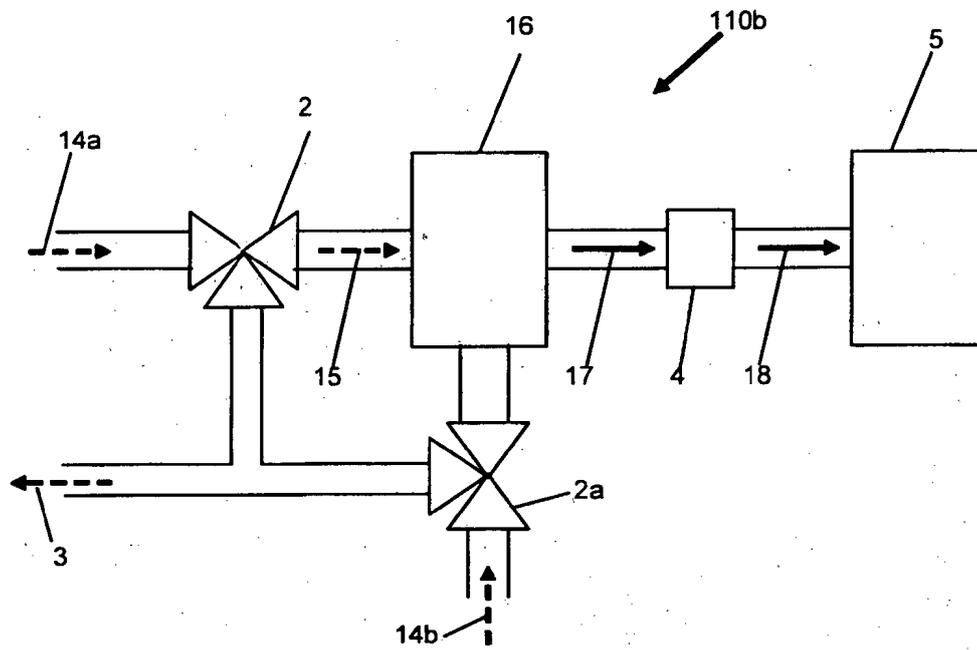


FIGURA 10b

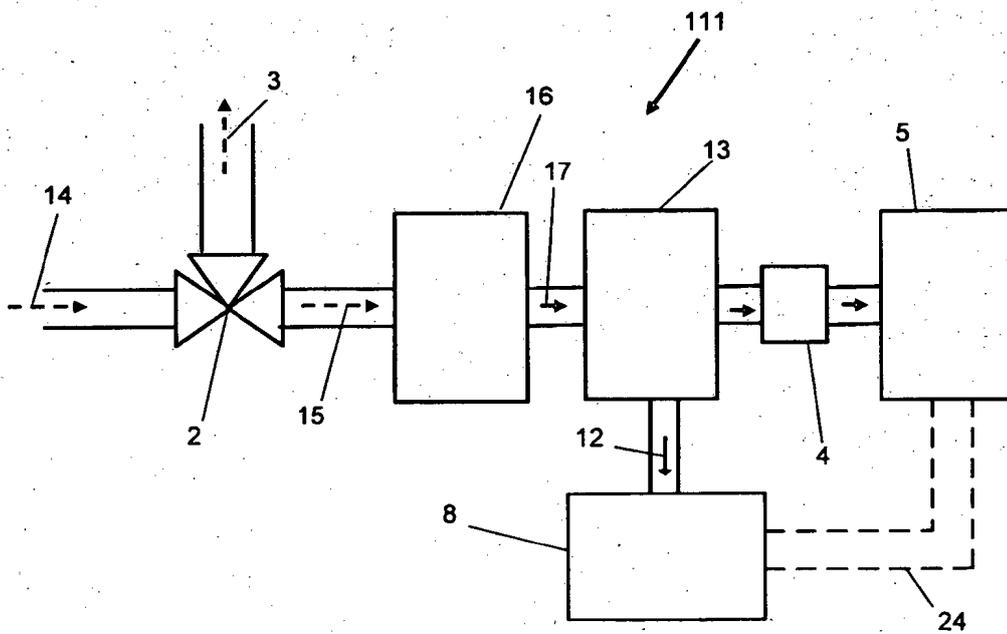


FIGURA 11

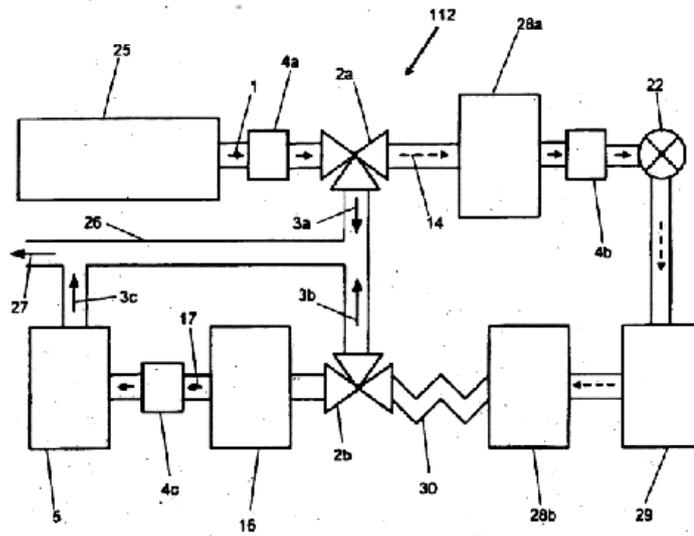


Figura 12

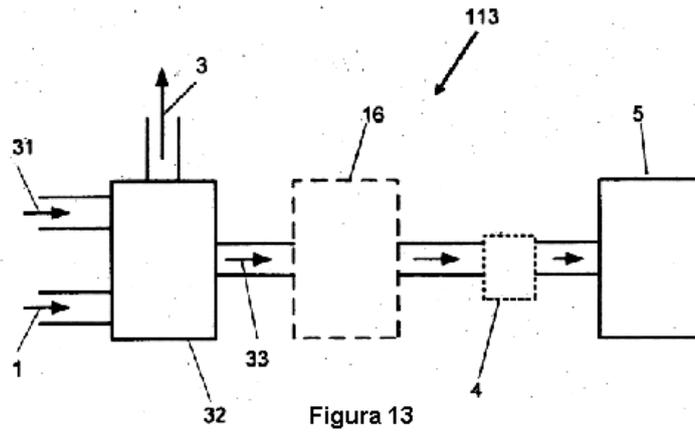


Figura 13

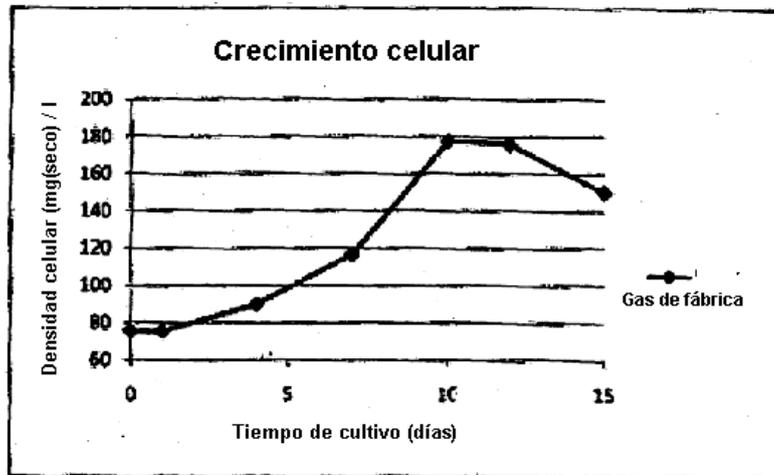


Figura 14

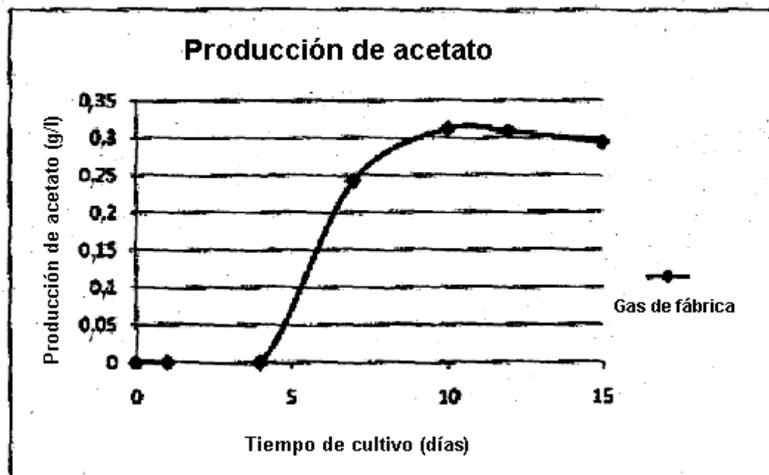


Figura 15

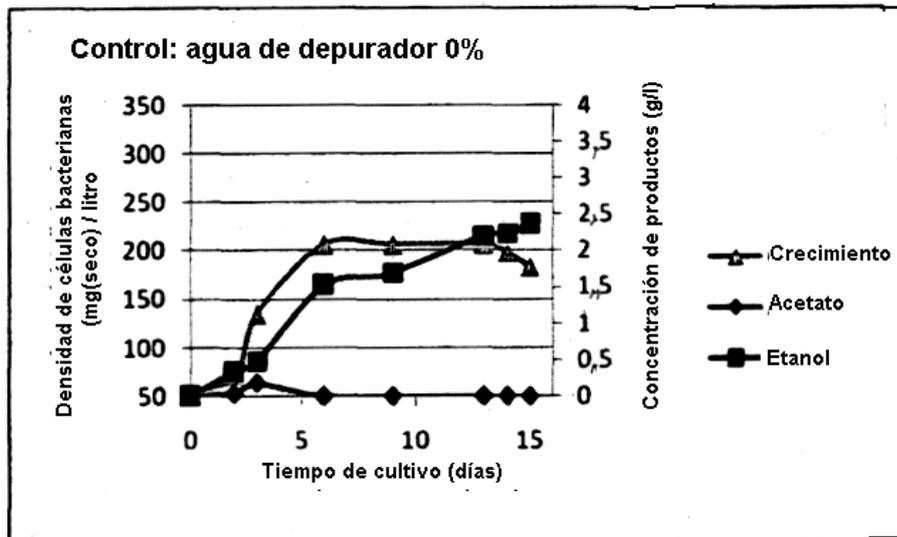


Figura 16

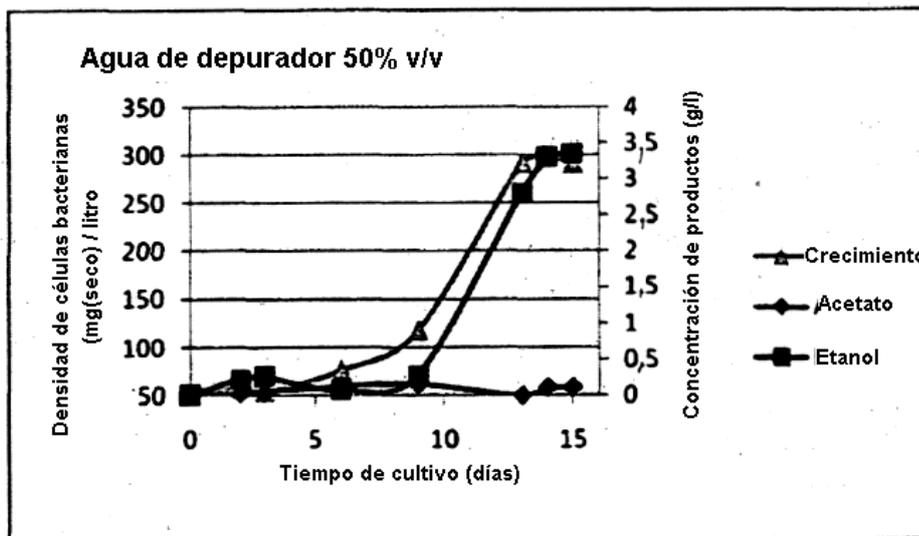


Figura 17