(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 688 598**

(51) Int. CI.:

C12P 7/06 (2006.01)
C12P 7/16 (2006.01)
C12P 7/28 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.06.2012 PCT/EP2012/061141**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **20.12.2012 WO12171929**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.06.2012 E 12728212 (7)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.08.2018 EP 2721162**

(54) Título: **Procedimiento de fermentación ABE que comprende la absorción de productos por isoforona**

(30) Prioridad:

17.06.2011 DE 102011077705

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.11.2018

(73) Titular/es:

EVONIK DEGUSSA GMBH (100.0%)
Rellinghauser Strasse 1-11
45128 Essen, DE

(72) Inventor/es:

NITZ, JÖRG-JOACHIM;
GRUND, GERDA;
BECKER, FRANZ ULRICH y
STIER, PATRICK

(74) Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de fermentación ABE que comprende la absorción de productos por isoforona

Campo de la invención

Un objeto de la invención es un procedimiento novedoso para procesar económicamente los productos de bajo peso molecular (peso molecular < 100 g/mol), acetona, butanol y etanol en un proceso de fermentación. El procesamiento se realiza mediante arrastre con gas combinado con una absorción posterior con isoforona como medio de absorción.

Estado de la técnica

Los disolventes acetona, etanol y butanol son productos químicos de plataforma importantes de la industria química con una demanda en constante aumento. En particular, para la producción de acetona y butanol se utilizan en el momento actual principalmente procedimientos petroquímicos, que en última instancia se basan en el "craqueo" de petróleo y, por lo tanto, carecen de proyección de futuro a largo plazo.

Existe un gran interés de desarrollar procedimientos de producción alternativos basados en fuentes de carbono prometedoras, tales como, por ejemplo, a partir de materias primas renovables o incluso fuentes de carbono gaseosas tales como, por ejemplo, dióxido de carbono (CO_2) o monóxido de carbono (CO). Los procesos de fermentación pueden ofrecer una alternativa a la producción de productos químicos de plataforma, productos químicos especiales y también de carburantes.

El problema principal en la mayor parte de estos procedimientos de producción por fermentación es la separación del producto orgánico del caldo de fermentación, dado que este a menudo es muy complejo y sobre todo presenta un contenido de agua elevado. Desde un punto de vista de tecnología de procesos no son deseables grandes cantidades de agua, dado que estas precisan mucha energía en el procedimiento.

La fermentación acetona-butanol-etanol (ABE) clásica con clostridios (por ejemplo: *Clostridium acetobutylicum*) es, a modo de ejemplo, un procedimiento microbiano para la producción de compuestos orgánicos de bajo peso molecular; se utilizó ya en el año 1916 industrialmente y proporciona los productos acetona-butanol-etanol en una relación 3:6:1 en el caldo de fermentación.

Qureshi y Blaschek en Renewable Energy, 22(4): 557-564 y Ezeji et al. en Appl Microbiol Biotechnol, 63(6):653-8 y el documento US 2009/0162912 A1 describen un procedimiento ABE, en el que se extraen compuestos orgánicos por arrastre con gas del caldo de fermentación y se adsorben en trampas de refrigeración.

Este procedimiento tiene la desventaja de que precisa mucha energía, dado que la refrigeración debe mantenerse continuamente. Otra desventaja es que en las trampas de refrigeración los productos solo se adsorben de forma insuficiente; una fracción considerable, por lo tanto, se extrae de nuevo de la trampa y, dado el caso, se recircula al fermentador, en el que puede producir una inhibición del producto innecesaria.

El documento WO2009/079362 A2 divulga un procedimiento que comprende las etapas del procedimiento siguientes:

A) proporcionar una solución acuosa que comprende microorganismos que producen butanol,

B) introducir por lo menos un gas o una mezcla de gases en la solución acuosa,

C) evacuar la corriente de gas a través de una composición que contiene éter, aldehído, éster, cetona o alcohol y, dado el caso,

D) separar el butanol de la composición que contiene éter, aldehído, éster, cetona o alcohol.

Colombo et al. divulgan en J. Chem. Eng. Data, 1999, 44 (1), páginas 35-39, el uso de isoforona para la extracción líquido-líquido de ácido acético de una solución acuosa.

El objeto de la invención es proporcionar un procedimiento que sea capaz de posibilitar con agentes auxiliares sencillos y que consuman poca energía un procesamiento de los compuestos orgánicos de bajo peso molecular a partir de un caldo de fermentación acuoso.

Descripción de la invención

Sorprendentemente se ha encontrado que con el procedimiento descrito a continuación que comprende una absorción de los compuestos orgánicos de bajo peso molecular seleccionados del grupo que comprende acetona,

butanol, etanol utilizando isoforona se logra el objetivo establecido por la invención.

La isoforona es un producto de condensación trimérico de la acetona y un disolvente de alto punto de ebullición que, entre otras, se utiliza en la industria de los barnices, la industria de las tintas de imprenta, la industria de los adhesivos y la industria de los agentes de protección de plantas.

Un objeto de la presente invención es, por lo tanto, un procedimiento de procesamiento sencillo y económico para procesos de producción fermentativos en los que los productos se retiran *in situ* del caldo de fermentación. El procesamiento se realiza por medio de arrastre con gas combinado con una absorción posterior con isoforona y dado el caso la separación subsiguiente para obtener los componentes puros.

Una ventaja de la presente invención es que el procedimiento de procesamiento según la invención puede realizarse tanto en fermentaciones anaerobias como también en fermentaciones aerobias. El arrastre con gas también puede llevarse a cabo tanto con gases que contiene oxígeno elemental como gas de arrastre (en particular en procesos en condiciones aerobias) como también con cualesquiera gases carentes de oxígeno elemental (en particular en procesos en condiciones anaerobias).

Otra ventaja de la presente invención es que los compuestos orgánicos de bajo peso molecular extraídos mediante arrastre, acetona, butanol y etanol, en particular acetona, pueden concentrarse de forma (casi) cuantitativa por medio de lavados de gas en isoforona como medio de absorción.

Otra ventaja de la presente invención es que estos compuestos orgánicos de bajo peso molecular pueden separarse muy fácilmente de la isoforona y, por lo tanto, pueden obtenerse con una gran pureza.

Una ventaja más de la presente invención es que los gases utilizados para el abastecimiento a los microorganismos también pueden realizar simultáneamente la función de gas de arrastre; esto se aplica en particular cuando los gases utilizados poseen fracciones de dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrógeno, gas de síntesis o mezclas discrecionales de los gases mencionados anteriormente.

Además, la presente invención tiene la ventaja de que los productos de bajo peso molecular pueden retirarse *in situ* del caldo de fermentación, y, por lo tanto, no pueden formar en el caldo de fermentación concentraciones elevadas de producto, que podrían actuar de forma tóxica sobre los microorganismos presentes.

El procedimiento según la invención para la producción de compuestos orgánicos de bajo peso molecular comprende las etapas siguientes

A) proporcionar una solución acuosa que comprende microorganismos que producen compuestos orgánicos de bajo peso molecular,

B) introducir por lo menos un gas o una mezcla de gases en la solución acuosa,

C) evacuar la corriente de gas a través de una composición que contiene isoforona y dado el caso

D) separar el compuesto orgánico de bajo peso molecular de la composición que contiene isoforona,

caracterizado por que el compuesto orgánico de bajo peso molecular se selecciona del grupo que comprende acetona, butanol, etanol, en particular acetona.

Por la expresión "bajo peso molecular" se entiende la propiedad de que presenta un peso molecular <100 g/mol.

Todos los porcentajes (%) indicados son, cuando no se indique lo contrario, porcentajes en masa. Cuando no se indique lo contrario, con respecto a los parámetros ambientales tales como presión, temperatura, estos se refieren a condiciones estándar.

Los compuestos orgánicos de bajo peso molecular preferidos presentan una presión de vapor superior a 3 hPa, preferentemente superior a 50 hPa, en particular superior a 150 hPa, a 20 ºC.

Los microorganismos utilizados en el procedimiento según la invención son, en particular, levaduras y bacterias. En particular los microorganismos se seleccionan de los géneros del grupo que comprende, preferentemente que está consitituido por, *Clostridium, Zymomonas, Escherichia, Salmonella, Rhodococcus, Pseudomonas, Bacillus, Lactobacillus, Enterococcus, Alcaligenes, Klebsiella, Paenibacillus, Arthrobacter, Corynebacterium, Brevibacterium, Pichia, Candida, Hansenula* y *Saccharomyces.* Especies ejemplares de estos géneros son *Escherichia coli, Alcaligenes eutrophus, Bacillus licheniformis, Paenibacillus macerans, Rhodococcus erythropolis, Pseudomonas putida, Enterococcus faecium, Enterococcus gallinarium, Enterococcus faecalis, Bacillus subtilis* y *Saccharomyces cerevisiae.*

En el procedimiento según la invención, se utiliza preferentemente un microorganismo seleccionado del grupo de *Escherichia coli, Corynebacterium glutamicum, Clostridium spec., Clostridium aceticum, Acetobacterium woodii, Clostridium acetobutylicum, Clostridium beijerinckii, Yarrowia lipolytica, Saccharomyces spec., Saccharomyces cerevisiae* y *Pichia pastoris*.

Se prefiere según la invención que los microorganismos sean microorganismos genéticamente modificados. En particular, en el presente documento se utilizan microorganismos que se han modificado genéticamente de forma que puedan producir más compuestos orgánicos de bajo peso molecular que su forma silvestre.

Dichos microorganismos genéticamente modificados se describen para la producción de acetona como compuesto orgánico de bajo peso molecular, por ejemplo, en el documento EP2181195. Las células divulgadas en dicha solicitud se utilizan según la invención preferentemente en el procedimiento según la invención para la producción de acetona. Dichas células son adecuadas, en particular, para el procedimiento de producción en condiciones aerobias.

Otros microorganismos genéticamente modificados de este tipo para la producción de acetona como compuesto orgánico de bajo peso molecular se describen, por ejemplo, en el documento WO2010121849. Las células divulgadas en dicha solicitud se utilizan según la invención preferentemente en el procedimiento según la invención para la producción de acetona, en particular en el procedimiento de producción en condiciones anaerobias de acetona.

En el documento WO2008124523, el documento WO2008052973 y el documento WO2008052596, por ejemplo, se describen microorganismos genéticamente modificados para la producción de butanol como compuesto orgánico de bajo peso molecular. Las células divulgadas en dichas solicitudes se utilizan según la invención preferentemente en el procedimiento según la invención para la producción de butanol.

En el documento WO2011003893 y el documento WO2010130806, por ejemplo, se describen microorganismos genéticamente modificados para la producción de etanol como compuesto orgánico de bajo peso molecular. Las células divulgadas en dichas solicitudes se utilizan según la invención preferentemente en el procedimiento según la invención para la producción de etanol.

En el procedimiento según la invención puede utilizarse en la etapa del procedimiento B) cualquier gas o mezclas de gases discrecionales que no entren en reacciones secundarias no deseadas con los compuestos orgánicos de bajo peso molecular y que no sean tóxicos para los microorganismos utilizados.

Preferentemente, el gas o la mezcla de gases contiene por lo menos uno seleccionado del grupo que comprende, preferentemente que está constituido por, aire, gas de síntesis, nitrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrógeno, oxígeno y metano.

Se prefiere según la invención utilizar como gas o mezclas de gases en la etapa del procedimiento B) un gas o una mezcla de gases que contiene oxígeno elemental cuando en la etapa del procedimiento A) los microorganismos producen los compuestos orgánicos de bajo peso molecular en condiciones aerobias. Por la expresión "condiciones aerobias" se entiende en el contexto de la presente invención que hay presencia de una presión parcial de oxígeno > 0,01 bar. En este contexto el gas o la mezcla de gases contiene por lo menos uno seleccionado del grupo que comprende, preferentemente que está constituido por, aire u oxígeno elemental.

Se prefiere según la invención utilizar como gas o mezclas de gases en la etapa del procedimiento B) un gas o una mezcla de gases que carezcan de oxígeno elemental cuando en la etapa del procedimiento A) los microorganismos producen los compuestos orgánicos de bajo peso molecular en condiciones anaerobias. Por la expresión "condiciones anaerobias" se entiende en el contexto de la presente invención que hay presencia de una presión parcial de oxígeno ≤ 0,01 bar. En este contexto el gas o la mezcla de gases contiene preferentemente por lo menos uno seleccionado del grupo que comprende, preferentemente que está constituido por, gas de síntesis, nitrógeno, CO_2, CO, H_2 y metano.

En otra forma de realización del procedimiento según la invención, los microorganismos utilizados en la etapa del procedimiento A) son aquellos que llevan a cabo una fermentación ABE clásica en la etapa de procedimiento A), por lo tanto, en este contexto, los compuestos orgánicos de bajo peso molecular son acetona, etanol y butanol, en particular acetona. Dichos organismos que se pueden utilizar clásicamente en la fermentación ABE son *Clostridium acetobutylicum* y *Clostridium beijerinckii,* que proliferan en condiciones estrictamente anaerobias y transforman mono-, di- o polisacáridos. El gas o la mezcla de gases que se utiliza en esta variante del procedimiento en la etapa del procedimiento B) es preferentemente por lo menos uno seleccionado del grupo que comprende, preferentemente que está constituido por, nitrógeno, aire, gas de síntesis, dióxido de carbono, monóxido de carbono, H_2, metano.

En una forma de realización preferida del procedimiento según la invención el compuesto orgánico de bajo peso molecular es acetona, y como microorganismos se utilizan aquellos que producen acetona partiendo de acetil-coenzima A mediante la reacción enzimática de acetil-CoA para dar acetoacetil-CoA, la reacción enzimática de

acetoacetil-CoA para dar acetoacetato y CoA, no transfiriéndose la coenzima A a una molécula aceptora, y la descarboxilación de acetoacetato para dar acetona y CO_2.

En otra variante preferida del procedimiento según la invención los microorganismos utilizados en la etapa del procedimiento A) son microorganismos acetogénicos, que pueden formar acetona como compuesto orgánico de bajo peso molecular a partir de por lo menos una fuente de carbono seleccionada del grupo que contiene dióxido de carbono y monóxido de carbono, y el gas o la mezcla de gases que se utiliza en la etapa del procedimiento B) es por lo menos uno seleccionado del grupo que comprende, preferentemente que está constituido por, nitrógeno, gas de síntesis, dióxido de carbono, monóxido de carbono, H_2. En esta variante del procedimiento en el documento WO 2010/121849 se describen células que se utilizan con preferencia.

En la etapa del procedimiento C) se conducen los compuestos orgánicos de bajo peso molecular por lo menos parcialmente mediante la evacuación de la corriente gaseosa de la solución acuosa a través de una composición que contiene isoforona. Preferentemente, la composición que contiene isoforona contiene por lo menos el 50 % en peso de isoforona, preferentemente por lo menos el 80 % en peso de isoforona, de forma particularmente preferida por lo menos el 90 % en peso de isoforona con respecto a la totalidad de la composición.

Se prefiere según la invención que la corriente gaseosa evacuada se conduzca a través de varias composiciones que contienen isoforona separadas espacialmente. Con ello puede aumentarse la capacidad de recuperación.

Es ventajoso y se prefiere que la composición que contiene isoforona se encuentre enfriada. Así puede absorberse más compuesto orgánico de bajo peso molecular, con respecto a la composición que contiene isoforona. En este contexto, las temperaturas preferidas, medidas en la composición que contiene isoforona, se encuentran en un intervalo de -5 ºC a 50 ºC, en particular de 0 ºC a 30 ºC.

Es ventajoso y, por lo tanto, se prefiere que el gas o la mezcla de gases que abandona la composición que contiene isoforona se alimente de nuevo a la solución acuosa de la etapa del procedimiento A).

En la etapa del procedimiento D) se realiza la separación de los compuestos orgánicos de bajo peso molecular de la composición que contiene isoforona mediante una modificación de la presión y/o mediante un aumento de la temperatura (> 20 ºC a < 200 ºC).

Así, por ejemplo, los puntos de ebullición a presión normal se encuentran para la acetona a 56 ºC, para el agua a 100 ºC, para la isoforona a 215 ºC.

Por lo tanto, en este contexto para un sistema que contiene acetona y una composición que contiene isoforona las temperaturas preferidas se encuentran en un intervalo de 20 ºC a 75 ºC, en particular de 30 ºC a 60 ºC, para separar la acetona de la composición que contiene isoforona, midiéndose la temperatura en la composición que contiene isoforona.

En este contexto las presiones preferidas se encuentran en un intervalo de 0 a 1,7 bar, de forma particularmente preferida de 0,9 a 1,1 bar.

Se prefiere particularmente en este contexto una combinación de presión normal (es decir, presión ambiental) y una temperatura en el intervalo de 30 a 60 ºC

Se prefiere según la invención que por lo menos las etapas del procedimiento B) y C) se lleven a cabo simultáneamente con la producción del compuesto orgánico de bajo peso molecular en la etapa del procedimiento A), de forma que sea un proceso *in situ* en continuo, en el que el producto se extraiga de la solución acuosa durante o inmediatamente después de su producción.

En los ejemplos expuestos a continuación se describe la presente invención a modo de ejemplo. Otro objeto de la presente invención es la utilización de isoforona para la absorción de los compuestos orgánicos de bajo peso molecular, acetona, butanol, etanol, en particular acetona, de un gas o una mezcla gaseosa que contiene el compuesto orgánico de bajo peso molecular, acetona, butanol, etanol, en particular acetona.

Ejemplos:

Se investigó el aislamiento de componentes orgánicos (acetona / etanol / butanol) a partir de una solución de fermentador acuosa. En todos los ejemplos se utilizó una solución de fermentador esencialmente acuosa con una proporción orgánica (por ejemplo: acetona / etanol / butanol) de como máximo el 15 % en peso, para extraer por arrastre del fermentador los componentes orgánicos por medio de una corriente de gas. La purificación final y el aislamiento del producto se realizaron mediante separación por destilación.

Ejemplo comparativo 1, no según la invención:

Se cargó 1 litro de una solución acuosa con una proporción orgánica del 2,0 % en peso de acetona en un fermentador de 2 l. El fermentador se agitó a 200 rpm y se gasificó con 0,6 volúmenes de gas de arrastre por volumen del reactor por minuto (vvm). Como gas de arrastre se utilizó nitrógeno y la temperatura de la solución de fermentador se ajustó a 34 ºC. Al fermentador se postconectaron dos depósitos de refrigeración y la acetona gaseosa condensó y, por lo tanto, se aisló. Los recipientes colectores de los depósitos de refrigeración se almacenaron para ello en hielo seco a -78 ºC y los refrigeradores se enfriaron a 5 ºC.

Mediante estos experimentos pudo demostrarse que la acetona puede extraerse del fermentador por arrastre con un gas. Después de 5,5 h había solo ~1,0 % en peso de acetona (~50 % de la cantidad de acetona de partida), después de 23 h solo ~0,1 % en peso de acetona (~5 % de la cantidad de acetona de partida) en la solución de fermentador acuosa. La tasa de recuperación de la acetona arrastrada en los recipientes colectores enfriados de los depósitos de refrigeración es solo, no obstante, < 40 % después de 23 h, es decir, más del 60 % de la acetona arrastrada no pudo recogerse ni aislarse de esta forma.

Ejemplo comparativo 2, no según la invención:

Se cargaron 1,4 litros de una solución acuosa con una proporción orgánica del 0,5 % en peso de acetona en un fermentador de 2 l. El fermentador se agitó a 500 rpm y se gasificó con 0,2 volúmenes de gas de arrastre por volumen del reactor por minuto (vvm). Como gas de arrastre se utilizó nitrógeno y la temperatura de la solución de fermentador se ajustó a 30 ºC. En lugar de los depósitos de refrigeración postconectados, la corriente gaseosa se condujo a frascos de lavado conectados en serie rellenos con el disolvente dimetilsulfóxido (DMSO), que estaban postconectados al fermentador, para absorber la acetona gaseosa en DMSO. Los primeros 5 frascos de lavado estaban rellenos con 200 g de DMSO, el sexto frasco de lavado con 500 g de DMSO. Debido a la reducida tasa de gasificación y a la reducida cantidad de acetona de partida se realizó la extracción por arrastre de la acetona de forma más lenta, como se esperaba; después de 23 h solo había ~0,28 % en peso de acetona (~55 % de la cantidad de acetona de partida), después de 48 h solo ~0,13 % en peso de acetona (~27 % de la cantidad de acetona de partida) en la solución de fermentador acuosa. Utilizando las soluciones de DMSO conectadas en serie se mejoró la tasa de recuperación de acetona, pero esta era aún claramente demasiado reducida. Después de 23 h la tasa de recuperación de la acetona arrastrada era inferior al 90 %, después de 48 h era aún del 74 %

=> El arrastre con gas de la acetona a partir de una solución de fermentador acuosa fue exitosa, pero la absorción de la acetona gaseosa en el disolvente DMSO y, por lo tanto, el aislamiento de acetona no fue suficiente.

Ejemplo 1, según la invención:

Se cargaron 0,3 litros de una solución acuosa con una proporción orgánica del 5 % en peso de acetona, el 5 % en peso de etano y el 5 % en peso de 1-butanol en un fermentador de 1 l. El fermentador se agitó a 200 rpm y se gasificó con 0,1 volúmenes de gas de arrastre por volumen del reactor por minuto (vvm). Como gas de arrastre se utilizó nitrógeno y la temperatura de la solución de fermentador se ajustó a 30 ºC. En lugar de los depósitos de refrigeración postconectados la corriente gaseosa se condujo a través de cuatro frascos de lavado conectados en serie rellenos con el disolvente isoforona, que estaban postconectados al fermentador, para absorber la acetona, el etanol y el butanol en isoforona. Los frascos de lavado estaban rellenos con, en cada caso, 300 g de isoforona. Después de 28 h había aún ~2,50 % en peso de acetona (~50 % de la cantidad de acetona de partida), aún el 4,50 % en peso de etanol (~90 % de la cantidad de etanol de partida) y aún el 4,60 % en peso de 1-butanol (~92 % de la cantidad de butanol de partida) en la solución de fermentador acuosa. Después de 68 h había aún ~0,76 % en peso de acetona (~15 % de la cantidad de acetona de partida), aún el 4,03 % en peso de etanol (~80 % de la cantidad de etanol de partida) y aún el 3,83 % en peso de 1-butanol (~76 % de la cantidad de butanol de partida) en la solución de fermentador acuosa. Utilizando las soluciones de isoforona conectadas en serie se mejoró claramente la tasa de recuperación de acetona, y también las tasas de recuperación para el etanol y el 1-butanol eran claramente > 90 %. Después de 28 h la tasa de recuperación de la acetona arrastrada era > 93 %, del etanol arrastrado > 95 %, del 1-butanol arrastrado > 96 %. Después de 68 h la tasa de recuperación de la acetona arrastrada era > 92 %, del etanol arrastrado > 93 %, del 1-butanol arrastrado > 94 %.

=> El arrastre por gas de acetona, etanol y butanol a partir de la solución de fermentador acuosa fue exitoso. El aislamiento de los componentes orgánicos (acetona, etanol, 1-butanol) mediante absorción en el disolvente isoforona fue exitoso; pudo lograrse, por lo tanto, una tasa de recuperación casi cuantitativa.

Ejemplo 2, según la invención:

Para obtener la acetona, el etanol y el butanol disueltos en la isoforona como sustancias puras se separó por destilación dicha mezcla. Para ello se dispusieron 5 litros de una mezcla de acetona-etanol-butanol (en cada caso el 5 % en peso) disuelta en isoforona y se separó por destilación a presión normal, siendo a este respecto la relación de reflujo de 8:1. Los puntos de ebullición a presión normal se encuentran para la acetona a 56 ºC, para el etanol a 78 ºC, para el 1-butanol a 118 ºC y para la isoforona a 215 ºC. A este respecto se obtuvieron fases tanto de acetona casi pura, como también fases de etanol y de butanol puras. El contenido de pureza de las fases aisladas

individuales fue, a este respecto, de hasta el > 99 % de pureza.

=> También es posible extraer la acetona/el etanol/el butanol producida en el fermentador *in-situ* del fermentador mediante arrastre con gas, disolver la acetona/el etanol/ el butanol (absorbato) en isoforona líquida (medio de absorción) y finalmente obtener la acetona/el etanol/el butanol, mediante separación por destilación.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento que comprende las etapas del procedimiento siguientes

A) proporcionar una solución acuosa que comprende microorganismos que producen compuestos orgánicos de bajo peso molecular,

B) introducir por lo menos un gas o una mezcla de gases en la solución acuosa,

C) evacuar la corriente de gas a través de una composición que contiene isoforona y dado el caso

D) separar el compuesto orgánico de bajo peso molecular de la composición que contiene isoforona,

caracterizado por que el compuesto orgánico de bajo peso molecular se selecciona del grupo que comprende acetona, butanol, etanol, en particular acetona.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que los microorganismos se seleccionan de los géneros del grupo que comprende *Clostridium, Zymomonas, Escherichia, Salmonella, Rhodococcus, Pseudomonas, Bacillus, Lactobacillus, Enterococcus, Alcaligenes, Klebsiella, Paenibacillus, Arthrobacter, Corynebacterium, Brevibacterium, Pichia, Candida, Hansenula* y *Saccharomyces.*

3. Procedimiento según por lo menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el gas o la mezcla de gases contiene por lo menos uno seleccionado del grupo que comprende aire, gas de síntesis, nitrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrógeno, oxígeno y metano.

4. Procedimiento según por lo menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que los compuestos orgánicos de bajo peso molecular son acetona, etanol y butanol y se utilizan *Clostridium acetobutylicum* y *Clostridium beijerinckii* como microorganismos y un gas o mezclas de gases seleccionados del grupo que comprende nitrógeno, aire, gas de síntesis, dióxido de carbono, monóxido de carbono, H_2, metano.

5. Procedimiento según por lo menos una de las reivindicación 1 a 4, caracterizado por que el compuesto orgánico de bajo peso molecular es acetona, y como microorganismos se utilizan aquellos que producen acetona partiendo de acetil-coenzima A mediante

la reacción enzimática de acetil-CoA para dar acetoacetil-CoA,

la reacción enzimática de acetoacetil-CoA para dar acetoacetato y CoA, en la que

la coenzima A no se transfiere a una molécula aceptora, y

la descarboxilación de acetoacetato para dar acetona y CO_2.

6. Procedimiento según por lo menos una de las reivindicación 1 a 4, caracterizado por que el compuesto orgánico de bajo peso molecular es acetona, se utilizan microorganismos acetogénicos, que son capaces de formar acetona a partir de por lo menos una fuente de carbono seleccionada del grupo que contiene dióxido de carbono y monóxido de carbono, y el gas o la mezcla de gases utilizados en la etapa del procedimiento B) es por lo menos uno seleccionado del grupo que comprende nitrógeno, gas de síntesis, dióxido de carbono, monóxido de carbono, H_2.

7. Procedimiento según por lo menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la corriente de gas evacuada en la etapa del procedimiento C) se conduce a través de varias composiciones que contienen isoforona espacialmente separadas.

8. Procedimiento según por lo menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el gas o la mezcla de gases que abandona la composición que contiene isoforona se alimenta de nuevo a la solución acuosa de la etapa del procedimiento A).

9. Procedimiento según por lo menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que en la etapa del procedimiento A) se utilizan los microorganismos que producen compuestos orgánicos de bajo peso molecular en condiciones aerobias y como gas o mezclas de gases en la etapa del procedimiento B) se utiliza un gas o una mezcla de gases que contiene oxígeno elemental.

10. Procedimiento según por lo menos una de las reivindicación 1 a 9, caracterizado por que en la etapa del procedimiento A) se utilizan los microorganismos que producen compuestos orgánicos de bajo peso molecular en condiciones anaerobias y en la etapa del procedimiento B) se utiliza un gas o una mezcla de gases que carece de oxígeno elemental.

11. Utilización de isoforona para la absorción de compuestos orgánicos de bajo peso molecular seleccionados del grupo que comprende acetona, butanol, etanol, en particular acetona, a partir de un gas o una mezcla de gases que contiene el compuesto orgánico de bajo peso molecular.