

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 727 528**

51 Int. Cl.:

B01F 3/04 (2006.01)

B01F 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.01.2014 PCT/NZ2014/000009**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.08.2014 WO14120023**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.01.2014 E 14745496 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.03.2019 EP 2950914**

54 Título: **Sistema y método para disolución mejorada de gas**

30 Prioridad:
29.01.2013 US 201361757851 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.10.2019

73 Titular/es:
**LANZATECH NEW ZEALAND LIMITED (100.0%)
24 Balfour Road Parnell
Auckland 1052, NZ**

72 Inventor/es:
LI, XUELIANG

74 Agente/Representante:
PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 727 528 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

Sistema y método para disolución mejorada de gas

5 **Campo de la invención**

La invención se refiere a un método para reducir el tamaño de las burbujas de gas en un líquido. Más particularmente, la invención se refiere al aumento de la eficacia de una reacción de fermentación mediante la reducción del tamaño de burbuja y el aumento de la absorción de gas en un caldo de fermentación líquido.

10

Antecedentes

15

Una diversidad de procesos utilizan gas disuelto en un sustrato líquido. Con el fin de maximizar la disolución del gas en el líquido, se debería maximizar el área superficial de las burbujas de gas. Esto se puede conseguir minimizando el tamaño de las burbujas.

20

Existen métodos y aparatos conocidos para producir estas "microburbujas", tales como los que se describen en los documentos de Patente US4938865 y AU677542. El aparato que se describe en estos documentos se conoce como celda de Jameson y facilita la introducción de gas en una corriente de líquido para producir una capa de espuma. La celda de Jameson emplea un chorro a presión individual de líquido para arrastrar aire atmosférico mediante el efecto de Bernoulli que se rompe en burbujas muy pequeñas dentro de una zona de una alta tensión de cizalladura a medida que el chorro entra en el líquido.

25

En la celda de Jameson, el gas se tiene que inyectar en la parte superior de una columna y se arrastra por el líquido a alta velocidad. Para permitir que suceda el arrastre de gas, la celda de Jameson tiene un requisito de velocidad de chorro mínima. Diversas referencias de esta son 8 m/s o 15 m/s. Sería una ventaja poder obtener microburbujas con una velocidad de chorro mínima inferior para aumentar la eficacia de energía del sistema y proporcionar un aumento de flexibilidad permitiendo que la velocidad de chorro varíe basándose en los requisitos de una aplicación específica.

30

El mecanismo de arrastre de gas en la celda de Jameson requiere que el orificio de entrada de gas y el chorro líquido tengan que estar rodeados por una bajante para generar un efecto de succión. La celda de Jameson también requiere un vaso además del tubo para recibir el chorro de líquido y la mezcla. La celda de Jameson se diseña para su uso en la flotación de espuma de minerales, y de forma específica estimula la unión de partículas pequeñas en la zona de alta cizalladura que causa altas tasas de disipación viscosa de calor. Esto requiere alta turbulencia para un mejor contacto entre las partículas de mineral y las burbujas de gas. Debido a esto, la celda de Jameson se caracteriza por su alta turbulencia en la bajante. La alta turbulencia reduce la eficacia del sistema global y puede dañar las células o proteínas cuando se usa para aplicaciones particulares tales como fermentación mediante microorganismos.

35

40

En las reacciones de fermentación que usan microorganismos se alimentan sustratos esenciales en forma gaseosa. Por ejemplo, se pueden bombear corrientes de gas que contienen CO y/o CO₂ y/o O₂ y/o H₂ a un biorreactor de un modo tal que burbujeen a través del caldo de fermentación y/o se pueden proporcionar en cualquier espacio de cabecera en el reactor. Una parte de los gases de las corrientes se disuelve en el caldo de fermentación de un modo tal que a continuación es utilizable por los microbios activos en la reacción particular. La disponibilidad o concentración de los gases en el caldo de fermentación puede tener un impacto significativo en la productividad del proceso de fermentación. Sin embargo, los gases tales como CO y O₂ tienen una baja solubilidad en el caldo acuoso contenido generalmente en los biorreactores, haciendo difícil y/o lento disolver las cantidades deseadas de los gases en el caldo para su uso por parte de los microorganismos en el proceso de fermentación.

45

50

Un método potencial para mejorar la eficacia de las fermentaciones de gas mediante el aumento de la transferencia de masa de gas a líquido es rociar con dispersiones de microburbujas. Se ha demostrado tal mejora para una fermentación de gas de síntesis que implica el crecimiento de *Butyribacterium methylotrophicum* en un reactor de tanque agitado continuo usando un filtro tangencial para reciclado celular total (Bredwell y Worden 1998, Biotechnol. Prog. 14, 31-38).

55

60

El documento de Patente US 4.043.771 A desvela que los líquidos, por ejemplo, lodo residual, agua residual o agua natural pobre en oxígeno, se tratan con gas para enriquecimiento (especialmente oxigenación) forzando el líquido hacia abajo a través de una pared perforada en un vaso que contiene el líquido. La partición perforada subdivide el líquido forzado hacia abajo a través de la columna en una pluralidad de corrientes parciales que se abren en un espacio de gas sobre la columna de líquido que se mueve hacia abajo en la masa fundida. Las burbujas de gas, por ejemplo oxígeno, pasan hacia arriba a través de la columna de líquido en el eje.

65

El documento de Patente US 2.657.174 A desvela un método para la fabricación continua de levadura que comprende hacer que la papilla entre en una cámara de fermentación en su parte superior, introduciendo aire en la cámara de fermentación cerca de su parte inferior, y permitiendo que las burbujas de aire asciendan a contracorriente hasta la trayectoria de la papilla dentro de la cámara de fermentación, mediante lo cual la superficie

de difusión de las burbujas de aire se mantiene para garantizar un suministro uniforme de oxígeno.

El documento de Patente US 3.220.706 A desvela un sistema de tratamiento de aguas residuales que comprende en combinación una serie de unidades de tratamiento interconectadas que incluyen una unidad de aireación, incluyendo
5 dicha unidad de aireación un tanque generalmente circular para que se trate la materia, una entrada de aguas residuales dispuesta tangencialmente que causa el movimiento de la materia en una trayectoria generalmente circular, medios de entrada de aire y una unidad de pulverización de líquido para reducir la espuma y las burbujas en el tanque.

10 Un objetivo de la invención es superar una o más de las desventajas de la técnica anterior, o al menos proporcionar al público una alternativa útil.

Sumario de la invención

15 De acuerdo con la presente invención se proporciona el método de generación de microburbujas de la reivindicación 1. Se exponen aspectos adicionales de la invención en las reivindicaciones dependientes.

En una realización particular, se adapta el tanque desespumante para producir un producto espumado para extracción del sistema.

20 En una realización particular, la columna es un biorreactor para la fermentación de un sustrato gaseoso para producir uno o más productos. En una realización alternativa, el biorreactor está conectado a la columna y el biorreactor se adapta para recibir un producto de microburbujas que contiene microburbujas del sustrato gaseoso de la columna. En esta realización alternativa, el biorreactor comprende una entrada de caldo adaptada para recibir
25 caldo de fermentación desde el biorreactor y pasarlo a la columna.

En una realización particular, el sistema de generación de microburbujas se configura para proporcionar transferencia de masa del sustrato gaseoso a uno o más microorganismos en el caldo de fermentación.

30 En una realización particular, el biorreactor contiene un caldo de fermentación que comprende un cultivo de uno o más microorganismos carboxidotróficos capaces de producir uno o más productos por fermentación de un producto de microburbujas que contiene CO.

En una realización particular, el sistema comprende además un separador de gas-líquido primario adaptado para recibir caldo de fermentación desde el biorreactor. En realizaciones particulares, el separador de gas-líquido primario se adapta además para pasar al menos una parte de un componente básicamente gaseoso del caldo a la columna a través de un compresor/soplador y el rociador de gas. En una realización adicional, el separador de gas-líquido primario se adapta para retirar al menos una parte de un componente básicamente gaseoso del caldo desde el sistema.

40 En una realización particular, el separador de gas-líquido primario comprende además una pulverización antiespumante.

45 En una realización particular, el separador de gas-líquido primario se adapta para pasar al menos una parte del caldo a un separador de gas-líquido secundario, y/o para pasar al menos una parte del caldo a una salida de retirada de producto para la extracción de producto.

50 En una realización particular, el separador de gas-líquido secundario se adapta para recibir medio reciente y/o para pasar al menos una parte del caldo a la entrada de líquido en la columna, preferentemente a través de una bomba de líquido. El separador de gas-líquido secundario comprende opcionalmente una salida de gas para retirar al menos una parte del gas separado del caldo.

55 En una realización particular, el sistema de generación de microburbujas es parte de un sistema de absorción de gas de microburbujas.

En una realización particular, el sistema comprende además un separador de gas-líquido adaptado para recibir un producto de microburbujas desde la columna.

60 En una realización particular, el separador de gas-líquido se adapta para retirar al menos una parte de un componente básicamente gaseoso del producto de microburbujas desde el sistema.

En una realización particular, el separador de gas-líquido se adapta para pasar al menos una parte de una parte básicamente líquida del producto de microburbujas a la columna, preferentemente a través de una bomba de líquido.

65 En una realización particular, se apilan dos o más sistemas de generación de microburbujas uno en la parte superior del otro para formar un apilamiento de reactores. En una realización particular, una corriente de gas individual se

divide y se proporciona a cada uno de los dos o más sistemas de generación de microburbujas que forman el apilamiento de reactores. En una realización particular, los dos o más sistemas de generación de microburbujas que forman el apilamiento de reactores están conectados entre sí a través de una estructura de soporte mecánica.

5 De acuerdo con la invención se proporciona un método de generación de microburbujas de acuerdo con las características de la reivindicación 1. El líquido introducido puede ser el mismo líquido que ya está presente en la columna, o puede ser un líquido diferente. El chorro de líquido rompe las burbujas formadas desde el rociado de gas en el líquido contenido dentro de la columna.

10 El chorro de líquido entra en contacto con una capa de espuma formada a partir de una masa de burbujas sobre la superficie del líquido contenido dentro de la columna.

En una realización particular, el diámetro de los poros en la placa perforada es tal que para un flujo de líquido volumétrico total determinado, se puede mantener una velocidad de chorro de líquido deseada. Preferentemente, los
15 poros son de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 0,5 mm. Preferentemente aproximadamente 0,2 mm de diámetro.

En una realización particular, el líquido contenido en la columna y/o la corriente de líquido que se introduce en la columna contiene una o más especies tensioactivas. En realizaciones particulares, estas especies tensioactivas
20 comprenden proteínas, péptidos, tensioactivos iónicos o no iónicos, biotensioactivos, partículas hidrófobas o anfífilas que incluyen, pero no se limitan a, células de ciertos microorganismos.

En una realización particular, la burbuja generada a partir de un rociador con un tamaño de poro de 0,5 mm tiene un diámetro de aproximadamente 3 mm.

25 En una realización particular, el diámetro de microburbuja generado siguiendo el contacto del chorro de líquido con las una o más burbujas es de aproximadamente 200 a aproximadamente 10 μm .

En una realización particular, el líquido se introduce a la columna a un caudal de entrada de líquido particular, el gas se rocía a un caudal de rociado particular y dichos caudales se controlan de un modo tal que la tasa de formación de burbujas es igual a la tasa a la que las burbujas se rompen en microburbujas mediante los chorros de líquido.

En una realización particular, el método comprende además la extracción de un producto de microburbujas a partir de la columna a través de una salida de líquido. Preferentemente, la salida de líquido está situada a un nivel superior
35 al nivel del rociador para permitir que las burbujas se formen en una capa de líquido exenta de microburbujas.

En una realización particular, la proporción en volumen de líquido con respecto a gas del producto de microburbujas extraído de la columna se controla mediante el ajuste de la tasa a la que se rocía el gas y la tasa a la que se introduce el líquido en la columna.

40 En una realización particular, la velocidad de las burbujas en el producto de microburbujas se controla mediante el ajuste del tamaño inicial de burbuja y la velocidad de chorro. La velocidad de chorro se controla mediante el caudal volumétrico de líquido a través del plato poroso, el número de poros y el diámetro de poro. El tamaño inicial de burbuja se controla mediante el ajuste del diámetro del poro del rociador y el caudal de rociado de gas.

45 En una realización particular, el flujo de masa total del gas que fluye en ambas direcciones son iguales entre sí cuando el generador de microburbujas está en operación continua.

En una realización particular, la presión de gas en la columna se libera a través de una válvula de liberación de gas. Preferentemente, la válvula de liberación de gas está situada en la columna a un nivel básicamente adyacente y por
50 debajo del nivel de la placa perforada.

En una realización particular, el método comprende el uso de un sistema de generación de microburbujas como se describe en el primer aspecto.

55 En una realización particular, el método de generación de microburbujas se usa junto con un método de fermentación de gas para producir uno o más productos de fermentación. En una realización particular, la fermentación se lleva a cabo en el interior de un biorreactor en el que el biorreactor puede ser la columna como se describe en el presente documento, o uno o más vasos de biorreactor separados.

60 En una realización particular, el método comprende la etapa de transferencia de masa desde el sustrato gaseoso a uno o más microorganismos en un caldo de fermentación que contiene el producto de microburbujas.

En una realización particular, el caldo de fermentación comprende un cultivo de uno o más microorganismos carboxidotróficos capaces de producir uno o más productos por fermentación de un producto de microburbujas que
65 contiene CO.

5 En una realización particular, al menos una parte del caldo del biorreactor se pasa a un separador de gas-líquido primario. En realizaciones particulares, al menos una parte de un componente básicamente gaseoso del caldo se separa mediante el separador de gas-líquido primario y se pasa a la columna a través de un compresor/soplador y el rociador de gas. En una realización adicional, al menos una parte de un componente básicamente gaseoso del caldo se retira del sistema mediante el separador de gas-líquido primario.

En una realización particular, el separador de gas-líquido primario añade una pulverización antiespumante a la parte del caldo.

10 En una realización particular, el separador de gas-líquido primario pasa al menos una parte del caldo a un separador de gas-líquido secundario, y/o pasa al menos una parte del caldo a una salida de retirada de producto para la extracción del producto.

15 En una realización particular, se añade medio reciente al caldo en el separador de gas-líquido secundario antes de que se pase al menos una parte del caldo a la entrada de líquido en la columna, preferentemente a través de una bomba de líquido. En una realización particular, al menos una parte de gas separada del caldo en el separador de gas-líquido secundario se pasa a una salida de gas para retirada del sistema.

20 En una realización particular, el caldo recibido desde el separador de gas-líquido primario se devuelve directamente a la entrada de líquido en la columna, preferentemente a través de una bomba de líquido.

En una realización particular, el método de generación de microburbujas se usa junto con un método de fraccionamiento de espuma para producir una o más especies tensioactivas.

25 En una realización particular, al menos una parte de un producto de microburbujas se pasa desde la columna a un separador de espuma/líquido para fraccionamiento.

En una realización particular, el separador de espuma/líquido pasa al menos una parte de una fracción básicamente líquida a una entrada de líquido en la columna, preferentemente a través de una bomba de líquido.

30 En una realización particular, el separador de espuma/líquido pasa al menos una parte de una fracción básicamente de espuma a un tanque desespumante. Cuando la especie tensioactiva está presente en el producto de microburbujas, la fracción de espuma contendrá una mayor concentración de la sustancia.

35 En una realización particular, se aplica una pulverización antiespumante a la fracción básicamente de espuma para producir un producto espumado que se retira del sistema para procesamiento adicional.

40 En una realización particular, el método comprende un sistema de absorción de gas de microburbujas en el que un primer componente de gas que comprende uno o más gases se separa de un segundo componente de gas que comprende uno o más gases, en el que el primer componente de gas es básicamente soluble en el líquido y el segundo componente de gas es menos soluble o básicamente insoluble en el líquido.

45 En una realización particular, una corriente de gas de múltiples componentes se rocía en la columna que contiene un líquido para producir un producto de microburbujas que a continuación se pasa desde la columna a un separador de gas-líquido.

50 Los aspectos adicionales de la invención, que se deberían considerar en todos sus nuevos aspectos, serán evidentes para los expertos en la materia tras la lectura de la siguiente descripción que proporciona al menos un ejemplo de una aplicación práctica de la invención.

Breve descripción de las figuras

A continuación se describirán realizaciones de la invención, únicamente a modo de ejemplo, por referencia a las figuras acompañantes, en las que:

55 La Figura 1 es un diagrama esquemático de un generador de microburbujas de la invención.

60 La Figura 2 muestra una realización de la invención que se usa para el fraccionamiento de espuma de microburbujas.

La Figura 3 muestra una realización de la invención que se usa para la generación de microburbujas en un sistema de fermentación de gas.

65 La Figura 4 muestra una disposición de poros en un plato poroso usado en una realización de la invención.

La Figura 5 muestra una imagen de microburbujas a un nivel básicamente adyacente y por debajo de la placa

perforada dentro de la columna del generador de microburbujas.

La Figura 6 muestra la distribución acumulada del tamaño de burbuja e ilustra que el tamaño de burbuja medio es aproximadamente la mitad del tamaño de burbuja máximo.

La Figura 7 muestra un ejemplo de una configuración alternativa de reactores múltiples de microburbujas donde un reactor está situado en la parte superior de otro para formar un apilamiento de reactores.

Descripción detallada de realizaciones preferentes

Definiciones

Un "rociador" comprende un dispositivo para introducir gas en un líquido para agitarlo o disolver el gas en el líquido. En una realización particular, el rociador puede ser una placa perforada, vidrio sinterizado, acero sinterizado, tubo de caucho poroso, tubo de metal poroso, cerámica porosa o acero inoxidable. El rociador puede ser de diversas calidades (porosidades) para proporcionar una "burbuja" de tamaño específico.

Una "columna" es un vaso donde se introducen una o más corrientes de gas y líquido para la generación de burbujas y la generación de microburbujas, y para el posterior contacto de gas-líquido, absorción del gas, reacción bio/química, absorción de material tensioactivo. En una columna las fases de gas y líquido fluyen en dirección vertical. En una columna, las burbujas más grandes cuya fuerza de flotación es mayor que la fuerza de arrastre impartida por el líquido ascienden hacia arriba, mientras que las burbujas más pequeñas cuya fuerza de flotación es menor o igual a la fuerza de arrastre impartida por el líquido fluyen hacia abajo con el líquido. Una columna no está restringida a ningún aspecto específico (altura a diámetro). Una columna no está restringida a ningún material específico y puede construirse a partir de cualquier material adecuado para el proceso, tal como, pero no limitado a, acero inoxidable o PVC. Una columna puede contener componentes internos tales como, pero no limitados a, una o más mezcladoras estáticas que son comunes en el procesamiento de ingeniería bio/química. Una columna puede consistir en instalaciones de calentamiento o enfriamiento externas o internas tales como, pero no limitadas a, camisas de agua. - "Placa perforada" comprende una placa o disposición similar diseñada para facilitar la introducción de líquido en la columna en forma de múltiples chorros de líquido (denominados en el presente documento "chorros de líquido"). Por lo general, la placa perforada tendrá poros distribuidos de forma regular a través de la placa que permitan el flujo de líquido desde un lado de la placa al otro. En realizaciones alternativas, la placa puede comprender una o más boquillas adaptadas para generar chorros de líquido que fluyan al interior de la columna. La placa puede contener canales en cualquier distribución o alineación donde tales canales se adaptan para recibir líquido y facilitar el flujo a través de la columna. La placa puede estar hecha de acero inoxidable con un número predefinido de orificios o "poros" realizados por láser. El tamaño de poro específico depende de la aplicación para la que se usa el sistema de generación de microburbujas. En una realización particular, el tamaño de poro es de aproximadamente 130 µm de diámetro. Preferentemente, los poros están dispuestos en una disposición de compensación de fila de un modo tal que cada poro en una fila sea equidistante a los dos poros en la fila inmediatamente anterior y posterior a dicho poro. Una placa perforada de una porosidad igual o diferente se puede usar como rociador de gas.

En el presente documento se denomina "espuma" a una masa de burbujas de gas en una matriz de película líquida. La fracción líquida volumétrica de una espuma es preferentemente menos de un 10 %, preferentemente de un 5 %, preferentemente menos de un 2 %.

Un "separador de espuma/líquido" es un aparato diseñado para separar espuma de líquido al permitir que las microburbujas contenidas en la mezcla de gas-líquido sedimenten durante una cierta cantidad de tiempo (el tiempo de residencia), durante cuyo período las burbujas de gas surgen y se acumulan en la superficie del líquido para formar una capa de espuma y el líquido intersticial en la espuma se drena de nuevo a la piscina de líquido debajo de la capa de espuma por acción de la gravedad. Algunos ejemplos de separadores de espuma/líquido serán conocidos por el experto en la materia aunque, sin embargo, a modo de ejemplo, un separador de espuma/líquido puede ser un vaso vertical donde la mezcla de gas-líquido que contiene las microburbujas se introduce de forma continua al vaso a través de un puerto en la sección media. La espuma se extrae de forma continua desde un puerto situado en la parte superior del vaso y el líquido separado de la espuma se retira de forma continua desde un puerto situado en la parte inferior del vaso. Se puede usar una válvula de control de nivel de líquido para mantener la interfase de espuma/líquido en el interior del vaso mediante el ajuste de la tasa de retirada del líquido.

En el presente documento se denomina "tanque desespumante" a un vaso donde la espuma se colapsa completamente para producir una forma de líquido (el espumado) concentrada en materiales tensioactivos. El gas originalmente encapsulado en las burbujas se libera y se purga. A modo de ejemplo, un tanque desespumante puede ser un vaso de acero inoxidable donde se introduce espuma en el vaso a través de la tubería apropiada y se pulveriza un desespumante (agente antiespumante) adecuado a la espuma para hacer que las burbujas de la espuma colapsen. Se puede usar un agitador mecánico para ayudar a la distribución del desespumante en el volumen de la espuma en el tanque. En el modo continuo de operación, se alimenta espuma al vaso de forma continua y se retira espumado de forma continua.

Un "separador de gas/espuma" es un aparato diseñado para separar gas de espuma. Algunos ejemplos de separadores de gas/espuma se conocerán por el experto en la materia. La "zona de clasificación" de burbujas es una sección en la columna de microburbujas de la presente invención donde hay un ascenso simultáneo de burbujas más grandes y un descenso de microburbujas en función de las diferencias en el tamaño de la burbuja, y de ese modo las diferencias en las magnitudes relativas de la fuerza de arrastre y la fuerza de flotación impartidas a las burbujas.

Un "separador de gas/líquido" es un aparato diseñado para separar el gas del líquido permitiendo que la mezcla de gas y líquido se asiente durante un cierto tiempo (el tiempo de residencia) durante el cual una fracción básicamente líquida se asienta en el fondo del recipiente, donde se retira. El gas liberado de la mezcla de gas y líquido se acumula en la parte superior del recipiente, donde se purga o se recicla. En casos particulares donde la fase líquida contiene uno o más materiales tensioactivos y el gas se encapsula en burbujas estables, se usa un desespumante (antiespumante) para colapsar las burbujas y liberar de ese modo el gas de las burbujas. En casos particulares donde la mezcla de gas y líquido está presurizada y uno o más componentes de gas se disuelven en el líquido, el recipiente separador de gas/líquido es capaz de despresurizar la mezcla de gas y líquido para liberar de ese modo el gas del líquido para su posterior separación. Un experto en la materia conocerá ejemplos de separadores de gas/líquido aunque, sin embargo, a modo de ejemplo, un separador de gas/líquido puede ser un vaso vertical construido de acero inoxidable y equipado con tuberías, puertos y bombas apropiados, donde la mezcla de gas y líquido se introduce en el recipiente a través de un puerto ubicado en la sección central, el líquido se extrae por la parte inferior y el gas se extrae a través de un puerto en la parte superior. En otro ejemplo, el separador de gas-líquido se eleva a una elevación mayor donde la presión es más baja que el vaso corriente arriba de donde proviene la mezcla de gas-líquido para hacer que el gas disuelto se libere del líquido y posteriormente se separe. Como se denomina en el presente documento, una "pulverización antiespumante" se refiere a una colección dinámica de pequeñas gotas antiespumantes (desespumantes) dispersas en un gas generado por un pulverizador de un tipo apropiado, como una boquilla de pulverización. En realizaciones particulares, la pulverización antiespumante comprende una boquilla de pulverización a través de la cual se dispersa un desespumante a presión sobre la superficie de una capa de espuma en forma de pequeñas gotas y la espuma se colapsa posteriormente debido a la acción del antiespumante (desespumante).

Como se denomina en el presente documento, "especie tensioactiva" se refiere a compuestos que disminuyen la tensión superficial de un líquido y estabilizan la dispersión de gas-líquido tal como espuma o microburbujas. En realizaciones particulares, la especie tensioactiva comprende proteínas, péptidos, tensioactivos iónicos o no iónicos o biotensioactivos. La especie tensioactiva se puede producir de forma natural a través de la actividad de los microorganismos en un proceso de fermentación, o se puede añadir a una solución artificialmente.

Como se denomina en el presente documento, una "microburbuja" es una burbuja de gas de un diámetro de aproximadamente 200 a aproximadamente 10 μm .

Como se denomina en el presente documento, un "producto de microburbujas" es una mezcla de líquido/gas que contiene microburbujas.

Como se denomina en el presente documento, un "caldo de fermentación" es un medio de cultivo que comprende al menos un medio nutriente y células bacterianas.

Las expresiones "aumentar la eficacia", "eficacia aumentada", y similares, cuando se usan con respecto a un proceso de fermentación, incluyen, pero no se limitan a, aumentar uno o más de la velocidad de crecimiento de los microorganismos que catalizan la fermentación, el crecimiento y/o la velocidad de producción de producto a concentraciones de producto elevadas, el volumen de producto deseado producido por volumen de sustrato consumido, la velocidad de producción o el nivel de producción del producto deseado, la proporción relativa del producto deseado producido en comparación con otros productos secundarios de la fermentación.

La expresión "sustrato que comprende monóxido de carbono" y las expresiones similares se debería entender que incluyen cualquier sustrato en el que esté disponible monóxido de carbono para una o más cepas de bacterias para crecimiento y/o fermentación, por ejemplo.

La expresión "sustrato gaseoso que comprende monóxido de carbono" y las expresiones y términos similares incluye cualquier gas que contenga un nivel de monóxido de carbono. En ciertas realizaciones, el sustrato contiene al menos de aproximadamente un 20 % a aproximadamente un 100 % de CO en volumen, de un 20 % a un 70 % de CO en volumen, de un 30 % a un 60 % de CO en volumen, y de un 40 % a un 55 % de CO en volumen. En realizaciones particulares, el sustrato comprende aproximadamente un 25 %, o aproximadamente un 30 %, o aproximadamente un 35 %, o aproximadamente un 40 %, o aproximadamente un 45 %, o aproximadamente un 50 % de CO, o aproximadamente un 55 % de CO, o aproximadamente un 60 % de CO en volumen.

Aunque no es necesario que el sustrato contenga ninguna cantidad de hidrógeno, la presencia de H₂ no sería perjudicial para la formación de producto de acuerdo con los métodos de la invención. En realizaciones particulares, la presencia de hidrógeno da como resultado una eficacia global mejorada de producción de alcohol. Por ejemplo, en

realizaciones particulares, el sustrato puede comprender una proporción aproximada de 2:1, o 1:1, o 1:2 de H₂:CO. En una realización, el sustrato comprende aproximadamente un 30 o menos de H₂ en volumen, un 20 % o menos de H₂ en volumen, aproximadamente un 15 % o menos de H₂ en volumen o aproximadamente un 10 % o menos de H₂ en volumen. En otras realizaciones, la corriente de sustrato comprende bajas concentraciones de H₂, por ejemplo, menos de un 5 %, o menos de un 4 %, o menos de un 3 %, o menos de un 2 %, o menos de un 1 %, o está básicamente exenta de hidrógeno. El sustrato también puede contener cierta cantidad de CO₂, por ejemplo, tal como de aproximadamente un 1 % a aproximadamente un 80 % de CO₂ en volumen, o de un 1 % a aproximadamente un 30 % de CO₂ en volumen. En una realización, sustrato comprende una cantidad menor o igual que aproximadamente un 20 % de CO₂ en volumen. En realizaciones particulares, el sustrato comprende una cantidad menor o igual que aproximadamente un 15 % de CO₂ en volumen, menor o igual que aproximadamente un 10 % de CO₂ en volumen, menor o igual que aproximadamente un 5 % de CO₂ en volumen o básicamente nada de CO₂.

En realizaciones particulares de la invención, el sustrato gaseoso que contiene CO es un gas de escape o residual industrial. "Gases residuales o de escape industriales" se debería tomar ampliamente para incluir cualquier gas que comprenda CO producido por un proceso industrial e incluye gases producidos como resultado de la fabricación de productos de metales ferrosos, la fabricación de productos no ferrosos, procesos de refinado de petróleo, gasificación de carbón, gasificación de biomasa, producción de energía eléctrica, producción de negro de humo, y fabricación de coque. Se pueden proporcionar ejemplos adicionales en otro lugar en el presente documento.

A menos que el contexto lo requiera de otro modo, las expresiones "fermentar", "proceso de fermentación" o "reacción de fermentación", y similares, como se usan en el presente documento, se pretende que incluyan tanto la fase de crecimiento como la fase de biosíntesis de producto del proceso. Como se describirá adicionalmente en el presente documento, en algunas realizaciones el biorreactor puede comprender un primer reactor de crecimiento y un segundo reactor de fermentación. Como tal, la adición de materiales a una reacción de fermentación se debería entender que incluye la adición a cualquiera de los dos o ambos de estos reactores.

El término "biorreactor" (o "columna" donde la columna es también el biorreactor), como se denomina en el presente documento, incluye un dispositivo de fermentación que consiste en uno o más vasos y/o torres o disposición de tuberías, que incluye un reactor de tanque agitado continuo (CSTR), reactor de celda inmovilizada (ICR), reactor de lecho de goteo (TBR), columna de burbujas/microburbujas, fermentador de ascenso de gas, u otro vaso u otro dispositivo adecuado para el contacto gas-líquido. En algunas realizaciones, el biorreactor puede comprender un primer reactor de crecimiento y un segundo reactor de fermentación. Como tal, cuando se hace referencia a la adición de sustrato al biorreactor o la reacción de fermentación se debería entender que incluye la adición a cualquiera de los dos o ambos de estos reactores cuando sea apropiado.

Como se denomina en el presente documento, un "apilamiento de reactores" o "reactor apilado" es una configuración de múltiples reactores de microburbujas, en el que un reactor se sitúa en la parte superior de otro con los conductos, bombas, tuberías, y accesorios apropiados y una estructura de soporte mecánica. Un apilamiento de reactores aumenta la productividad de un sistema de reactor sin aumentar significativamente la demanda de superficie.

Los inventores han desarrollado un sistema de generación de microburbujas con eficacia aumentada y flexibilidad en comparación con los sistemas conocidos.

La invención hace uso de múltiples chorros de líquido para romper burbujas grandes en microburbujas en una columna. Las burbujas grandes se generan inicialmente por rociado de gas con un rociador de gas en la parte inferior o en una sección inferior de la columna. Estas burbujas grandes migran hacia arriba a través del líquido hasta una capa de espuma que se encuentra sobre el líquido. Los chorros de líquido se forman bombeando líquido a través de una placa perforada en la capa de espuma. Los chorros tienen el efecto de romper las burbujas de espuma en microburbujas más pequeñas que se lavan en la columna mediante el flujo de líquido. Las burbujas más grandes se retienen en la capa de espuma para que se rompan en burbujas más pequeñas o, si se lavan, vuelven a migrar hacia arriba. El producto de microburbujas que comprende la mezcla líquido/burbuja se retira de la columna a través de una salida de líquido y se puede usar para otras aplicaciones como conocerán los expertos en la materia o se puede describir en el presente documento.

En general, es deseable producir la burbuja más pequeña posible para un consumo de energía determinado. La invención proporciona ventajas sobre los sistemas conocidos en que ha aumentado la eficacia de energía para la generación de un producto de microburbujas con un tamaño de burbuja particular para una proporción gas/líquido deseada. Esto es debido a que se introduce gas por rociado directo en forma de grandes burbujas de gas, en lugar del "arrastré" que requiere un movimiento relativo de alta velocidad entre el líquido y las fases de gas. La invención genera las microburbujas por ruptura de burbujas de gas grandes, el lugar de por ruptura de la superficie del líquido.

Además, el sistema de generación de microburbujas de la invención se puede operar en un amplio intervalo de producciones en las que el tamaño de producto de microburbujas se puede mantener constante. El tamaño de burbuja depende de la velocidad de chorro y del tiempo de residencia de la fase gaseosa en la columna. Para una tasa de rociado de gas determinada, cuando la velocidad del líquido se reduce, el tiempo de residencia de gas se

aumenta de forma autógena.

La presente invención no tiene ningún requisito específico de velocidad de chorro y puede variar basándose en los requisitos de la aplicación específica. La turbulencia producida por la presente invención es mínima en comparación con los sistemas conocidos (tales como la celda de Jameson). Esto tiene una ventaja en términos de aumento de la eficacia de energía y entorno menos perjudicial (en términos de cizalladura y turbulencia) para las proteínas o los microorganismos presentes en el líquido.

Una ventaja adicional de la invención es que la generación de microburbujas se produce en un vaso (columna) individual con un número muy reducido de partes móviles en comparación con los sistemas conocidos. Esto reduce el coste, la complejidad, los requisitos de mantenimiento y ayuda con el mantenimiento de la operación continua.

En una realización particular que se muestra en la figura 1, una columna 1 está inicialmente al menos parcialmente llena a través de la entrada 2 de líquido con un líquido que contiene una o más especies tensioactivas, tales como, pero no limitadas a, proteínas, péptidos, tensioactivos iónicos o no iónicos o biotensioactivos hasta un nivel deseado. La columna también puede contener una o más entradas de líquido o salidas de líquido en cualquier posición apropiada en la columna para facilitar el llenado y el vaciado del líquido de la columna. La columna 1 comprende un rociador 3 conectado a una entrada 4 de gas que rocía gas en el líquido. El rociador está situado de un modo tal que las burbujas que genera 5 migran hacia arriba a través de la zona 9 de clasificación por medio de su flotación hacia la capa 6 de espuma de la columna 1. El diámetro de burbuja generado desde el rociador 3 tiene que ser lo suficientemente grande para que tenga cierta velocidad de ascenso de un modo tal que no quede empujada hacia abajo por la fuerza de los chorros de líquido que fluyen a través de la placa perforada 7.

Las burbujas generadas desde el rociador migran a la parte superior del líquido y forman una capa 6 de espuma. Inicialmente, el espesor de la capa de espuma crece a medida que transcurre el rociado de gas pero se mantiene con un espesor constante en un modo continuo de operación. La parte superior de la columna 1 contiene una placa perforada 7 a través de la cual se hace pasar líquido para formar múltiples chorros de líquido en el interior de la columna. La placa perforada se sitúa por encima del rociador de gas para permitir que los chorros de líquido entren en contacto con la capa de espuma producida por el rociador. El experto en la materia ha de entender que no se requiere que la placa perforada esté situada inmediatamente por encima del rociador; puede estar compensada o en cualquier disposición que permita la introducción de chorros de líquido a la capa de espuma. Además, la columna puede estar alineada fuera de la vertical dependiendo de los requisitos de la aplicación particular. El diámetro de los poros debería ser tal que para un flujo de líquido volumétrico total determinado, se pueda obtener una velocidad de chorro de líquido deseada. El chorro de líquido producido por el flujo del líquido a través del plato poroso golpea la superficie de la espuma, rompiendo las burbujas de la capa 6 de espuma en microburbujas.

Dependiendo de la aplicación deseada, la microburbuja puede ser de un diámetro de menos de 200 μm , preferentemente menos de 150 μm , preferentemente menos de 100 μm , preferentemente menos de 60 μm . Las microburbujas viajan hacia abajo a través de la zona 9 de clasificación en el interior de la columna con el líquido, mientras que al mismo tiempo se generan nuevas burbujas en la parte inferior o una sección inferior de la columna mediante el rociador de gas. El caudal de entrada de líquido y el caudal de salida de gas se controlan de un modo tal que la tasa a la que se generan nuevas burbujas es igual que la tasa a la que las burbujas en la parte superior de la capa de espuma se rompen en microburbujas.

La columna comprende además una salida 8 de líquido donde el producto 10 de microburbujas sale de la columna. Para una columna recta sin ninguna expansión o contracción en anchura/diámetro, es deseable una distancia entre la salida 8 de líquido y el rociador de un modo tal que se generen burbujas en una zona distinta de la zona de clasificación y básicamente exentas de microburbujas. Si las burbujas se rocían directamente en la zona 9 de clasificación, el tamaño de burbuja determinado por el rociador es difícil de controlar debido a la velocidad de bajada del líquido. Puede dar como resultado burbujas muy grandes y un tamaño de burbuja inconsistente.

La proporción en volumen de líquido con respecto a gas del producto 10 de microburbujas que sale de la columna se controla mediante el caudal de gas de entrada y el caudal de líquido de entrada. El tamaño de las burbujas en el producto de microburbujas se controla mediante el ajuste del tamaño de burbuja inicial y la velocidad de chorro. La velocidad de chorro se controla mediante el caudal de líquido volumétrico y el número de poros y el diámetro de poro. El tamaño de burbuja inicial se controla mediante el ajuste del diámetro del orificio del rociador y el caudal de rociado de gas.

La invención se caracteriza por un flujo de subida de burbujas más grandes y un flujo de bajada de microburbujas simultáneos en el interior de la columna. Para un gas inerte, los flujos de masa total de gas que fluye en ambas direcciones son iguales entre sí cuando el generador de microburbujas está en operación continua. Para un gas reactivo el flujo de masa del gas de entrada iguala al flujo de masa del gas de flujo descendente, más el flujo de masa de gas consumido por la reacción. Si el flujo de gas excede el que los chorros de líquido pueden romper, se formará una capa de gas por debajo de la placa perforada. Para facilitar la retirada de gas en este escenario, la columna puede comprender además una válvula de alivio de gas para aliviar el gas. La presión en el interior de la columna se puede controlar mediante una válvula de liberación de presión opcional conectada a la salida 8 de

líquido.

Enriquecimiento y extracción de materiales tensioactivos

- 5 En una realización particular, el sistema de generación de microburbujas es parte de un proceso y aparato de fraccionamiento de espuma de microburbujas para enriquecer y extraer especies tensioactivas (tales como proteínas, péptidos, tensioactivos iónicos o no iónicos o biotensioactivos) a partir de una solución. Cuando está presente una especie tensioactiva en el producto de microburbujas, la fracción de espuma contendrá una mayor concentración de la sustancia y por lo tanto es deseable para el procesamiento adicional incluyendo extracción y/o purificación, transporte, almacenamiento.

15 Se muestra una realización en la Figura 2 en la que el producto de microburbujas se produce por rociado de un gas desde un rociador 13 recibido desde una entrada 19 de gas y se produce un chorro de líquido haciendo pasar un líquido a través de una placa perforada 11. Al menos una parte del producto 18 de microburbujas se pasa desde la columna 12 a un separador 14 de espuma/líquido para fraccionamiento. El separador de espuma/líquido pasa al menos una parte de la fracción 17 básicamente líquida a una entrada de líquido en la columna, preferentemente mediante una bomba 15 de líquido. Antes de devolverse a la columna 12, la fracción básicamente líquida se puede complementar con alimentación 16 de líquido reciente. Al menos una parte de la fracción básicamente líquida se puede retirar del sistema por medio de la salida 25 de líquido. El separador de espuma/líquido pasa al menos una parte de una fracción 20 básicamente de espuma a un tanque desespumante 21. Se aplica una pulverización 22 de antiespumante a la fracción básicamente de espuma para producir un producto espumado 23 que se retira del sistema para procesamiento adicional y extracción de especies tensioactivas deseables. Cualquier exceso de gas se puede retirar del tanque desespumante a través de la salida 24 de gas.

- 25 En una realización particular, el proceso de fraccionamiento de espuma de microburbujas se puede usar para extraer proteínas de una materia prima láctea. Las proteínas se adsorben a la superficie de las microburbujas en una espuma que se puede retirar y colapsar para producir un producto enriquecido. Si las burbujas son muy pequeñas entonces existe una mayor área superficial específica sobre la que se pueden adsorber las proteínas. Los métodos existentes de generación de burbujas pequeñas son ineficaces desde el punto de vista energético y crean zonas de tensión de cizalladura muy elevada que pueden desnaturalizar la proteína. Además, debido a la alta área superficial específica, las microburbujas producidas por la presente invención son excelentes en adsorción interfacial.

35 En una realización particular, el proceso de fraccionamiento de microburbujas se puede usar para retirar proteínas de una corriente de desechos, por ejemplo de una operación de tratamiento de aguas residuales de un modo que tal que se reduzca la demanda biológica de oxígeno (BOD). Esto tendría utilidad particular para el tratamiento de corrientes de residuos antes de la liberación al medio ambiente o a un tratamiento adicional. En este caso, se espera que la invención retire una parte considerable de proteína de la corriente de alimentación. En realizaciones particulares, la parte de especies tensioactivas retirada de la solución es mayor de un 50 %, un 60 %, un 70 %, un 80 % o un 90 % de la cantidad total de especies en solución.

40 Sistema de fermentación de gas de microburbujas

45 En una realización particular, el sistema de generación de microburbujas es parte de un sistema de fermentación de gas. Un sistema de fermentación de gas particular de acuerdo con la presente invención comprende un biorreactor que contiene un microorganismo y un caldo de fermentación. El microorganismo utiliza los gases disueltos en el caldo para producir al menos un producto tal como etanol o 2,3-butanodiol. El biorreactor del sistema puede ser la columna que se ha descrito anteriormente que es parte del sistema de generación de microburbujas, o puede ser un vaso separado.

- 50 En las fermentaciones de gas habituales, en especial usando especies de gas relativamente insolubles tales como O₂ y CO, una de las limitaciones principales es la cantidad de gas que se puede disolver en el sustrato de fermentación, y la velocidad a la que se puede disolver. La invención proporciona un método mejorado de transferencia de masa desde el sustrato gaseoso a uno o más microorganismos en el caldo de fermentación que contiene el producto de microburbujas.

55 En una realización particular que se muestra en la figura 3, el líquido se introduce en la columna 32 a través de la placa perforada 31 para formar chorros de líquido. En esta realización particular, la columna es también el biorreactor. El gas 29 se rocía en el líquido para producir una espuma que se rompe en un producto 30 de microburbujas que a su vez se pasa a un separador 34 de gas-líquido primario. Se separa un componente básicamente gaseoso del caldo mediante el separador de gas-líquido primario y se pasa 35 a la columna a través de un compresor/soplador 38 y el rociador de gas. Una parte del componente básicamente gaseoso del caldo se puede retirar del sistema 46 mediante el separador 34 de gas-líquido primario. El separador de gas-líquido primario puede añadir una pulverización 37 de antiespumante a la parte del caldo contenida en el mismo.

- 65 El separador de gas-líquido primario pasa 41 al menos una parte del caldo a un separador 36 de gas-líquido secundario, y/o pasa al menos una parte del caldo a una salida 42 de retirada de producto para la extracción de

producto. Se añade medio reciente 43 al caldo en el separador 36 de gas-líquido secundario antes de que al menos una parte del caldo 44 con bajo contenido en gas se pase a la entrada de líquido en la columna, preferentemente mediante una bomba 47 de líquido. Al menos una parte de gas separada del caldo en el separador de gas-líquido secundario se pasa a una salida 48 de gas adicional para la retirada del sistema.

5 En la realización de las figuras 2 y 3, se puede observar que la columna contiene una sección de expansión (etiquetada 13 en la figura 3) en la parte inferior de la columna. En esta sección, la velocidad de líquido es baja y las burbujas generadas por el rociador se pueden formar y ascender con mayor facilidad. En esta realización, la salida de líquido no está situada en el lado de la columna como en la figura 1 y puede estar situada en otras posiciones, tal como en la base de la columna.

10 El producto de microburbujas se alimenta por lo general a (o se produce en) el biorreactor. El producto de microburbujas tiene la ventaja de que la alta área superficial del gas con respecto al líquido mejora la absorción del gas por parte del líquido. Cuando se usan gases con una baja solubilidad tales como CO u O₂, es deseable maximizar la absorción de gas para facilitar el crecimiento y la producción de microorganismos.

Extracción de gases de una corriente de gas

20 En una realización particular, el método comprende un sistema de absorción de gas de microburbujas en el que se separa un primer componente de gas que comprende uno o más gases de un segundo componente de gas que comprende uno o más gases, en el que el primer componente de gas es básicamente soluble en el líquido y el segundo componente de gas es menos soluble o básicamente insoluble en el líquido.

25 En esta realización, el sistema se usa para separar un componente de gas de una corriente de gases de múltiples componentes por disolución del componente de gas en el líquido. Esta realización tiene utilidad particular para la retirada de gases de una mezcla de gases de múltiples componentes donde el gas que se disuelve exhibe una alta solubilidad en un líquido en comparación con los otros gases que se retienen en la fase gaseosa. Los líquidos pueden comprender cualquier soluto adecuado tal como agua o monoetanolamina. En una realización particular, puede ser deseable recuperar CO₂ de una corriente de gases residuales que contiene una diversidad de otros gases. Para maximizar la recuperación del CO₂, se usa el generador de microburbujas de la invención para producir microburbujas en un líquido que absorbe CO₂. El líquido (con CO₂ disuelto) se separa a continuación del componente gaseoso de la mezcla y el CO₂ se recupera mediante técnicas de efervescencia convencionales tales como disminuir la presión, aumentar la temperatura o agitación.

Métodos de producción

35 En una realización de la invención, el sustrato gaseoso fermentado por el microorganismo es un sustrato gaseoso que contiene CO. El sustrato gaseoso puede ser un gas residual que contiene CO obtenido como producto secundario de un proceso industrial, o puede provenir de otra fuente tal como de gases de escape de automóviles. En ciertas realizaciones, el proceso industrial se selecciona entre el grupo que consiste en fabricación de productos de metal ferroso, tales como un molino de acero, fabricación de productos no ferrosos, procesos de refinado de petróleo, gasificación de carbón, producción de energía eléctrica, producción de negro de humo, producción de amoníaco, producción de metanol y fabricación de coque. En estas realizaciones, el gas que contiene CO se puede capturar del proceso industrial antes de que se emita a la atmósfera, usando cualquier método conveniente. El CO puede ser un componente de gas de síntesis (gas que comprende monóxido de carbono e hidrógeno). El CO producido a partir de procesos industriales normalmente se quema para producir CO₂ y por lo tanto la invención tiene la utilidad particular de reducir las emisiones de gases de invernadero de CO₂ y producir un biocombustible. Dependiendo de la composición del sustrato gaseoso que contiene CO, también es deseable tratarlo para retirar cualquier impureza no deseada, tal como partículas de polvo antes de introducirlo en la fermentación. Por ejemplo, el sustrato gaseoso se puede filtrar o arrastrar usando métodos conocidos.

Se ha de entender que para que se produzca el crecimiento de las bacterias y la producción de productos, además del sustrato gaseoso que contiene CO, se necesitará alimentar un medio nutriente líquido adecuado al biorreactor.

55 En realizaciones particulares de los aspectos del método, la fermentación se produce en un medio de cultivo acuoso. En realizaciones particulares de los aspectos del método, la fermentación del sustrato tiene lugar en un biorreactor.

60 El sustrato y el medio se pueden alimentar al biorreactor de forma continua, discontinua o semicontinua. Un medio nutriente contendrá vitaminas y minerales suficientes para permitir el crecimiento del microorganismo usado. Se conocen en la técnica medios anaerobios adecuados para una fermentación que usa CO. Por ejemplo, se describen medios adecuados en Biebel (2001). En una realización de la invención, el medio es como se describe posteriormente en el presente documento en la sección de Ejemplos.

65 La fermentación se debería llevar a cabo de forma deseable en condiciones de fermentación apropiadas para que se produzca la producción de biocombustible. Las condiciones de reacción que se deberían considerar incluyen presión, temperatura, caudal de gas, caudal de líquido, pH del medio, potencial redox del medio, tasa de agitación (si

se usa un reactor de tanque agitado continuo), nivel de inoculación, concentraciones de sustrato gaseoso máximas para asegurar que el CO en la fase líquida no se convierta en limitante, y concentraciones máximas de producto para evitar la inhibición del producto.

5 Además, a menudo es deseable aumentar la concentración de CO de una corriente de sustrato (o la presión parcial de CO en un sustrato gaseoso) y aumentar de ese modo la eficacia de las reacciones de fermentación donde el CO es un sustrato. La operación a presiones aumentadas permite un aumento significativo en la tasa de transferencia de CO desde la fase gaseosa a la fase líquida donde se puede captar por parte del microorganismo como fuente de carbono para la producción de fermentación. Esto a su vez significa que el tiempo de retención (definido como el
10 volumen de líquido en el biorreactor dividido por el caudal de gas de entrada) se puede reducir cuando los biorreactores se mantienen a presión elevada en lugar de a presión atmosférica. Las condiciones de reacción óptimas dependerán en parte del microorganismo particular de la invención utilizado. Sin embargo, en general, es preferente que la fermentación se lleve a cabo a una presión mayor que la presión ambiente. Además, dado que una tasa de conversión de CO determinada es en parte función del tiempo de retención de sustrato, y conseguir un
15 tiempo de retención deseado a su vez dicta el volumen requerido de un biorreactor, el uso de sistemas presurizados puede reducir en gran medida el volumen requerido del biorreactor, y por lo tanto el coste de capital del equipo de fermentación. De acuerdo con los ejemplos que se dan en el documento de Patente de Estados Unidos n.º 5.593.886, el volumen del reactor se puede reducir en proporción lineal al aumento de la presión de operación del reactor, es decir los biorreactores que operan a 10 atmósferas de presión necesitan solo una décima parte del
20 volumen de los que operan a 1 atmósfera de presión.

A modo de ejemplo, se han descrito los beneficios de llevar a cabo una fermentación de gas a etanol a presiones elevadas. Por ejemplo, el documento de Patente WO 02/08438 describe fermentaciones de gas a etanol llevadas a cabo a presiones de 207 kPag y 517 kPag (30 psig y 75 psig), para dar productividades de etanol de 150 g/l/día y
25 389 g/l/día, respectivamente. Sin embargo, se descubrió que las fermentaciones a modo de ejemplo llevadas a cabo usando medios similares y composiciones de gases de entrada a presión atmosférica produjeron entre 10 y 20 veces menos etanol por litro por día.

También es deseable que la tasa de introducción del sustrato gaseoso que contiene CO sea tal que asegure que la
30 concentración de CO en la fase líquida no llegue a ser limitante. Esto es debido a que una consecuencia de las condiciones limitadas de CO puede ser que se consuman uno o más productos en el cultivo.

La composición de las corrientes de gas que se usan para alimentar una reacción de fermentación puede tener un
35 impacto significativo en la eficacia y/o los costes de esa reacción. Por ejemplo, el O₂ puede reducir la eficacia de un proceso de fermentación anaerobia. El procesamiento de gases no deseados o innecesarios en etapas de un proceso de fermentación antes o después de la fermentación puede aumentar la carga de tales etapas (por ejemplo, cuando la corriente de gas se comprime antes de entrar en un biorreactor, se puede usar energía innecesaria para comprimir gases que no se necesitan en la fermentación). Por lo tanto, puede ser deseable tratar corrientes de sustrato, en particular corrientes de sustrato obtenidas a partir de fuentes industriales, para retirar componentes no
40 deseados y aumentar la concentración de los componentes deseados.

En ciertas realizaciones, se mantiene un cultivo de una bacteria de la invención en un medio de cultivo acuoso. Preferentemente, el medio de cultivo acuoso es un medio de crecimiento microbiano anaerobio mínimo. Se conocen
45 medios adecuados en la técnica y se describen, por ejemplo, en los documentos de Patente de Estados Unidos con números 5.173.429 y 5.593.886 y el documento de Patente WO 02/08438, y se describen posteriormente en el presente documento en la sección de Ejemplos.

Los productos se pueden recuperar del caldo de fermentación mediante métodos conocidos en la técnica, tales como destilación fraccionada o evaporación, pervaporación, arrastre de gas y fermentación extractiva, incluyendo,
50 por ejemplo, extracción líquido-líquido. Los productos también se pueden difundir o secretar al medio, del que se pueden extraer mediante separación de fase.

En ciertas realizaciones preferentes de la invención, los productos se recuperan del caldo de fermentación mediante retirada continua de una parte del caldo del biorreactor, separación de las células microbianas del caldo
55 (convenientemente mediante filtración), y recuperación del producto del caldo. Los alcoholes se pueden recuperar de forma conveniente, por ejemplo, por destilación. La acetona se puede recuperar, por ejemplo, por destilación. Cualquier ácido producido se puede recuperar, por ejemplo, por adsorción sobre carbón vegetal activado. Las células microbianas separadas se devuelven preferentemente al biorreactor de fermentación. El permeato exento de células que permanece después de que se haya retirado cualquier alcohol y ácido también se devuelve preferentemente al biorreactor de fermentación. Se pueden añadir nutrientes adicionales (tales como vitaminas B) al permeato exento de células para reponer el medio nutriente antes de que se devuelva al biorreactor.
60

Además, si el pH del caldo se ajustó como se ha descrito anteriormente para mejorar la adsorción de ácido acético al carbón vegetal activado, el pH se debería reajustar a un pH similar al del caldo en el biorreactor de fermentación,
65 antes de devolverlo al biorreactor.

En una realización particular, el microorganismo carboxidotrófico que se usa en una reacción de fermentación de la invención se selecciona entre el grupo de bacterias acetogénicas carboxidotróficas que comprende *Clostridium autoethanogenum*, *Clostridium ljungdahlii*, *Clostridium ragsdalei*, *Clostridium carboxidivorans*, *Clostridium drakei*, *Clostridium scatologenes*, *Clostridium aceticum*, *Clostridium formicoaceticum*, *Clostridium magnum*, *Butyrivacterium methylotrophicum*, *Acetobacterium woodii*, *Alkalibaculum bacchii*, *Blautia producta*, *Eubacterium limosum*, *Moorella thermoacetica*, *Moorella thermautotrophica*, *Sporomusa ovata*, *Sporomusa silvacetica*, *Sporomusa sphaeroides*, *Oxobacter pfennigii*, y *Thermoanaerobacter kiuvi*.

En una realización particular, el microorganismo se selecciona entre el grupo de Clostridia acetogénicas, etanologénicas que comprende las especies *C. autoethanogenum*, *C. ljungdahlii*, y *C. ragsdalei* y los aislados relacionados. Estos incluyen, pero no se limitan a, las cepas *C. autoethanogenum* JAI-1^T (DSM10061) (Abrini, Naveau, y Nyns 1994), *C. autoethanogenum* LBS1560 (DSM19630) (documento de Patente WO/2009/064200), *C. autoethanogenum* LBS1561 (DSM23693), *C. ljungdahlii* PETC^T (DSM13528 = ATCC 55383) (Tanner, Miller, y Yang 1993), *C. ljungdahlii* ERI-2 (ATCC 55380) (documento de Patente de Estados Unidos n.º 6.368.819), *C. ljungdahlii* O-52 (ATCC 55989) (documento de Patente de Estados Unidos n.º 6.368.819), *C. ragsdalei* P11^T (ATCC BAA-622) (documento de Patente WO 2008/028055), aislados relacionados tales como "*C. coskatii*" (documento de Patente US20110229947) y "*Clostridium sp.*" (Tyurin y Kiriukhin 2012), o cepas mutadas tales como *C. ljungdahlii* OTA-1 (Tirado-Acevedo O. Production of Bioethanol from Synthesis Gas Using *Clostridium ljungdahlii*. PhD thesis, North Carolina State University, 2010). Estas cepas forman una subagrupación dentro de la agrupación de ARNr Clostridial, y su gen de ARNr 16S es más de un 99 % idéntico con un bajo contenido de GC de aproximadamente un 30 %. Sin embargo, la reasociación ADN-ADN y los experimentos de huella dactilar de ADN mostraron que estas cepas pertenecen a distintas especies (documento de Patente WO 2008/028055).

Todas las especies de esta agrupación tienen una morfología y tamaño similares (crecimiento logarítmico de células entre 0,5-0,7 x 3-5 µm), son mesófilas (temperatura de crecimiento óptima entre 30-37 °C) y estrictamente anaerobias (Abrini, Naveau, y Nyns 1994; Tanner, Miller, y Yang 1993) (documento de Patente WO 2008/028055). Además, todas ellas comparten los mismos rasgos filogenéticos principales, tales como el mismo intervalo de pH (pH 4-7,5, con un pH inicial óptimo de 5,5-6), fuerte crecimiento autótrofo en gases que contienen CO con tasas de crecimiento similares, y un perfil metabólico similar con etanol y ácido acético como producto final de fermentación principal, y pequeñas cantidades de 2,3-butanodiol y ácido láctico formadas en ciertas condiciones (Abrini, Naveau, y Nyns 1994; Köpke *et al.* 2011; Tanner, Miller, y Yang 1993) (documento de Patente WO 2008/028055). También se observó producción de indol con las tres especies. Sin embargo, las especies se diferencian en la utilización del sustrato de diversos azúcares (por ejemplo, ramnosa, arabinosa), ácidos (por ejemplo, gluconato, citrato), aminoácidos (por ejemplo, arginina, histidina), u otros sustratos (por ejemplo, betaína, butanol). Además, se descubrió que algunas de las especies eran auxótrofas de ciertas vitaminas (por ejemplo, tiamina, biotina), mientras que otras no lo eran. Se ha descubierto que la organización y el número de genes de la ruta de Wood-Ljungdahl, responsables de la captación de gas, son iguales en todas las especies, a pesar de las diferencias en las secuencias de aminoácidos y de nucleótidos (Köpke *et al.* 2011).

En una realización, el microorganismo precursor es *Clostridium autoethanogenum* o *Clostridium ljungdahlii*. En una realización particular, el microorganismo es *Clostridium autoethanogenum* DSM23693 un derivado de la cepa DSM10061. *C. autoethanogenum*. En otra realización particular, el microorganismo es *Clostridium ljungdahlii* DSM13528 (o ATCC55383).

A menos que el contexto lo requiera claramente de otro modo, en la descripción y las reivindicaciones, las palabras "comprende", "comprender", y similares, se han de interpretar en un sentido inclusivo a diferencia de un sentido exclusivo o exhaustivo, es decir, en el sentido de "que incluye, pero no se limita a".

La referencia a cualquier técnica anterior en la presente memoria descriptiva no es, y no se debería tomar como, un reconocimiento o cualquier forma de sugerencia de que la técnica anterior forma parte del conocimiento general común en el campo del esfuerzo en cualquier país del mundo.

También se puede decir, en términos generales, que la invención consiste en las partes, elementos y características referidas a o indicadas en la memoria descriptiva de la solicitud, individual o colectivamente, en cualquiera o todas las combinaciones de dos o más de dichas partes, elementos o características.

Cuando en la siguiente descripción se haga referencia a números enteros o componentes que tienen equivalentes conocidos de los mismos, los enteros se incorporan en el presente documento como si se expusieran de forma individual.

Se ha de observar que diversos cambios y modificaciones a las realizaciones actualmente preferentes que se describen en el presente documento serán evidentes para los expertos en la materia. Dichos cambios y modificaciones se pueden realizar sin apartarse del ámbito de la invención y sin disminuir sus ventajas concomitantes.

El ámbito de la invención se define en las reivindicaciones.

Ejemplos

5 Ejemplo 1 - Fraccionadora de espuma a escala de banco de pruebas

Materiales y métodos

10 La columna principal tiene un diámetro interno de 90 mm y una altura de 600 mm. El rociador de gas grueso en la parte inferior de la columna es un rociador de tipo tubo con orificios. El diámetro de poro de este rociador es de aproximadamente 0,5 mm. El tamaño de burbuja generado a partir de este rociador de gas grueso es de aproximadamente 3 mm.

15 Un ejemplo de la placa porosa que se usa para la generación de chorros de líquido se muestra la Figura 4. La placa tiene 260 poros con un diámetro medio de 0,2 mm dispuestos en un patrón triangular con una distancia de poro a poro de 5 mm. La placa está hecha de acero inoxidable con poros perforados con láser.

20 El experimento se llevó a cabo usando una solución modelo, que fue 0,1 g/l de SDS en agua destilada. El caudal volumétrico del líquido, Q_L , fue de 18,45 ml/s. Esto da una velocidad de chorro, v_j , de 2,3 m/s mediante la relación

$$Q_L = N \times \frac{\pi}{4} \times d^2 \times v_j \tag{1}$$

25 donde N es el número total de poros de la placa porosa y d es el diámetro de los poros. La velocidad superficial del líquido, v_L , en la columna principal se calcula mediante

$$v_L = Q_L / A_C \tag{2}$$

30 donde A_C es el área de sección transversal de la columna. En este ejemplo, $A_C = 6362 \text{ mm}^2$ y de ese modo $v_L = 2,9 \text{ mm/s}$.

Para el mismo caudal de líquido, el caudal de gas puede variar dependiendo de la aplicación real. En un ejemplo, el caudal volumétrico de gas fue de 27 ml/s medido en la salida (la columna se operó a presión atmosférica, la altura de la columna es pequeña y de ese modo la compresión de gas dentro de la columna es despreciable).

35 Por la conservación de volumen, la corriente de producto tiene que tener una fracción de gas con respecto a líquido de 27:18,45, es decir, la fracción de líquido es $\epsilon_L = \frac{18,45}{18,45+27} = 0,4$. La velocidad de líquido real con respecto a la columna estacionaria es de ese modo $u_L = \frac{v_L}{\epsilon_L} = \frac{2,9}{0,4} = 7,25 \text{ mm/s}$. Esto significa que solo se pueden conseguir burbujas que tengan una velocidad terminal, v_t , menor de 7,25 mm/s mediante el líquido que fluye hacia abajo. Usando la ecuación de Stokes (Wallis G.B., *One-dimensional Two-phase Flow*, 1969), es decir

$$v_t = \frac{1}{18} \frac{d_b^2 g (\rho_L - \rho_G)}{\mu_L} \tag{3}$$

45 se puede estimar el diámetro máximo de burbuja, d_b , en la corriente de producto. La ecuación (3) dice que el diámetro máximo de burbuja en la corriente de producto es de 0,115 mm, es decir, 115 micrómetros o μm . Se ha de observar que este es el diámetro máximo de burbuja para esta realización; no significa que todas las burbujas en la corriente de producto sean de este diámetro. La medición fotográfica (figura 5) muestra que el diámetro medio de burbuja es aproximadamente 0,06 mm, es decir, 60 micrómetros, que es la mitad del diámetro máximo de burbuja, como se muestra en el gráfico de la figura 6 que muestra la distribución acumulada del tamaño de burbuja. También existe una gran parte de las burbujas que son incluso menores y no se pueden observar en la imagen de la figura 5.

50 En una realización particular, los parámetros de operación para un fraccionador de espuma de microburbujas a modo de ejemplo como se muestra en la figura 2 son los que siguen a continuación:

55 Flujo 16, alimentación de líquido, 6 ml/s, concentración de tensioactivo 0,1 g/l

Flujo 17, líquido reticulado, 12 ml/s, concentración de tensioactivo 0,01 g/l

Flujo 18, mezcla de gas-líquido, 27 ml/s de gas + 18 ml/s de líquido = 45 ml/s de mezcla

Flujo 19, entrada de gas inerte = 27 ml/s

Flujo 23, espumado (líquido), 0,54 ml/s, concentración de tensioactivo = 0,5 g/l

5 Flujo 20, 27 ml/s de gas + 0,54 ml/s de líquido = 27,54 ml/s de espuma

Flujo 24, salida de gas, 27 ml/s

10 Flujo 25, cola (líquido), 5,46 ml/s, concentración de tensioactivo = 0,01 g/l

En este proceso, la solución de alimentación (6 ml/s, 0,1 g/l de tensioactivo) se convierte en una corriente concentrada que contiene 0,5 g/l de tensioactivo (es decir, un factor de enriquecimiento de 5) con un 91 % de rendimiento.

15 **Ejemplo 2 - Biorreactor a escala piloto**

Usando los mismos principios que se han descrito en el primer ejemplo, se puede diseñar un contactor de gas-líquido a mayor escala que se puede usar como biorreactor. En este ejemplo, se diseñó un biorreactor para conseguir un 95 % de conversión de oxígeno gaseoso en un reactor a escala piloto de 240 l. La fracción de gas volumétrica diseñada en la mezcla de microburbujas es de un 24 %.

25 La sección principal del reactor de microburbujas tiene un diámetro de 0,5 m y una altura de 1,2 m, con una proporción de altura con respecto al diámetro de 2,4. Se elige una bomba para dar una velocidad de líquido superficial hacia abajo de 0,05 m/s basada en el área de sección transversal de la columna principal. Se introducen burbujas grandes de 2,5 mm de diámetro en la parte inferior del reactor con un caudal volumétrico de gas de 10 m³/h, que se corresponde con una velocidad de gas superficial de 0,014 m/s. Las microburbujas generadas a partir de este sistema tienen un diámetro de 120 micrómetros.

30 La retención de gas en la columna principal debido a las burbujas más grandes es de un 4,5 % y la retención de gas debido a las microburbujas es de un 24 %. El área superficial específica de la mezcla de gas-líquido, α , debido a las burbujas grandes y las microburbujas se calcula en ambos casos mediante

$$\alpha = \frac{6\varepsilon_G}{d_b} \tag{4}$$

35 donde ε_G es la retención de gas correspondiente debida a las burbujas grandes o las microburbujas. d_b es el diámetro medio de burbuja. La ecuación 4 muestra que el reactor diseñado anteriormente tendrá un área superficial específica de al menos $\alpha = \frac{6 \times 0,24}{0,00012} = 12.000 m^{-1}$. Siendo iguales todas las demás cosas, este reactor tendrá un coeficiente de transferencia de masa volumétrico, $k_L a$, al menos 10 veces mayor que una columna de burbujas convencional operada con un 20 % de retención de gas con un diámetro de burbuja de 1 mm y un área superficial específica de 1.200 m⁻¹.

45 Esto significa que para conseguir la misma productividad, un biorreactor que utiliza el generador de microburbujas puede ser un 90 % menor que el reactor de columna de burbujas convencional o un reactor de columna de burbujas en condiciones de operación habituales. Esto elimina, al menos parcialmente, el requisito de una presión elevada que se asocia por lo general con un alto consumo de energía, y por lo tanto mejora la eficacia de energía del sistema.

Ejemplo 3 - Apilamientos de reactores

50 Como se demuestra en segundo ejemplo, un reactor de microburbujas puede tener un tamaño considerablemente menor que un reactor de columna de burbujas convencional. En particular, un reactor de microburbujas puede ser considerablemente más corto en altura que los reactores de columna de burbujas convencionales. Para utilizar mejor la superficie, es pertinente apilar un reactor de microburbujas en la parte superior de otro para dar una proporción de altura con respecto a diámetro global que sea comparable a los reactores de columna de burbuja convencionales.

55 La Figura 7 muestra un ejemplo de tal configuración donde se sitúan tres reactores de microburbujas individuales (R-1, R-2, R-3) en un apilamiento vertical. Cada uno de los tres reactores individuales tiene la misma configuración que se ilustra en la Figura 1. No se incluyen las estructuras de soporte en la figura en aras de la claridad pero deberían ser evidentes para los expertos en la materia. Una corriente de gas del suministro principal 1 se divide a cada uno de los tres reactores mediante instrumentos de control de flujo y presión apropiados conocidos por los expertos en la materia. Los caudales de gas para cada reactor pueden ser iguales pero también pueden ser diferentes entre sí. El gas se introduce en cada uno de los reactores del apilamiento en forma de grandes burbujas a través de los

rociadores (S-1, S-2, S-3) correspondientes.

5 Las corrientes de líquido que contienen las microburbujas de cada reactor individual se recogen mediante un separador 4 de gas-líquido, corriente arriba en el que una parte del líquido se retira del sistema como corriente de producto a través de una válvula 3 de control de flujo. El separador 4 de gas-líquido está equipado con un pulverizador 6 de líquido donde el medio reciente que puede contener cierto nivel de antiespumante, o cierta parte de la corriente de producto de otro reactor individual u otro reactor apilado, se pulveriza en el separador de gas-líquido para ayudar a la separación de gas-líquido. Los gases de escape abandonan el sistema a través del puerto 5 en el separador de gas-líquido. El líquido desgasificado se requiere en el generador de microburbujas a través de 10 una bomba 7 y posteriormente se divide en chorros de líquido para la generación de microburbujas.

REIVINDICACIONES

1. Un método de generación de microburbujas que comprende:
 - 5 (a) rociar gas en una columna (1) que contiene un líquido a través de un rociador (3) de gas para formar burbujas (5) de gas, en el que las burbujas de gas migran a la parte superior del líquido y forman una capa (6) de espuma; y
 - 10 (b) introducir un líquido en la columna a través de una entrada (2) situada por encima de una placa perforada (7), dicha placa perforada situada por encima del rociador de gas, en el que la capa de espuma se mantiene por debajo del nivel de la placa perforada, pasando el líquido hacia abajo a través de la placa perforada para formar chorros de líquido de un modo tal que los chorros de líquido entren en contacto con las burbujas en la capa de espuma y produzcan microburbujas arrastradas en el líquido, en el que las microburbujas se empujan hacia abajo de la columna mediante los chorros de líquido.
- 15 2. El método de la reivindicación 1, en el que la placa perforada (7) de la etapa (b) comprende perforaciones con un diámetro de 0,1 a 0,5 mm.
3. El método de la reivindicación 1, en el que el líquido contenido en la columna (1) o la corriente de líquido introducida en la columna contiene al menos una especie tensioactiva seleccionada entre el grupo que consiste en
 - 20 proteínas, péptidos, tensioactivos iónicos, tensioactivos no iónicos, biotensioactivos, partículas hidrófobas, y partículas anfífilas.
4. El método de la reivindicación 1, en el que las microburbujas producidas tienen un diámetro de 10 a 200 μm de
 - 25 diámetro.
5. El método de la reivindicación 1, que comprende además hacer pasar al menos una parte del líquido de microburbujas arrastradas a un separador (14) de espuma/líquido para producir una corriente (17) de líquido separado y una corriente (20) de espuma separada.
- 30 6. El método de la reivindicación 5, que comprende además hacer pasar al menos una parte de la corriente (17) de líquido separado de vuelta a la placa perforada (7), y hacer pasar al menos una parte de la corriente (20) de espuma separada a un tanque desespumante (21).
7. El método de la reivindicación 1, que comprende además hacer pasar al menos una parte del líquido de
 - 35 microburbujas arrastradas a un separador (34) de gas/líquido para producir una corriente de gas separado que comprende básicamente gas insoluble y una corriente de líquido separado que comprende básicamente gas soluble disuelto.
8. El método de la reivindicación 1, que comprende además ajustar al menos un parámetro seleccionado entre el
 - 40 grupo que consiste en diámetro de poro del rociador, caudal de rociado de gas y velocidad de chorro de líquido con el fin de controlar el tamaño de las microburbujas.
9. El método de la reivindicación 1, que comprende además liberar la presión de gas de la columna (1) a través de
 - 45 una válvula de descarga de gas.
10. El método de la reivindicación 1, que comprende además proporcionar al menos una parte del líquido de microburbujas arrastradas a un cultivo de al menos un microorganismo en un caldo de fermentación y fermentar anaeróbicamente el cultivo para producir al menos un producto.
- 50 11. El método de la reivindicación 10, en el que las microburbujas comprenden CO_2 .
12. El método de la reivindicación 10, en el que el cultivo está situado en el interior de la columna (1).
13. El método de la reivindicación 10, en el que el cultivo está situado en un vaso de biorreactor.
- 55 14. El método de la reivindicación 13, que comprende además hacer pasar al menos una parte de caldo de fermentación de gas arrastrado desde el vaso del biorreactor a un separador (34) de gas/líquido primario para formar una corriente de gas separado y una corriente de caldo de fermentación separado.
- 60 15. El método de la reivindicación 14, que comprende además hacer pasar al menos una parte de la corriente de gas separado de vuelta a la columna (1) a través del rociador (3) de gas.

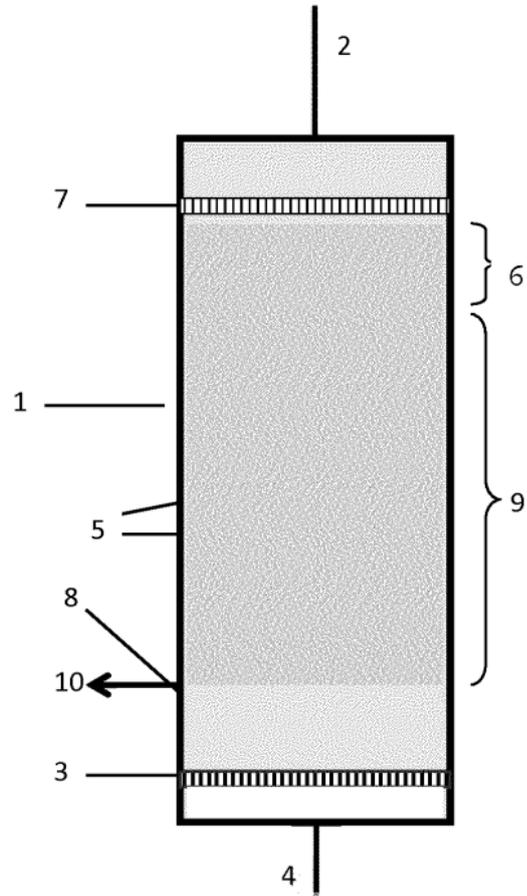


FIG. 1

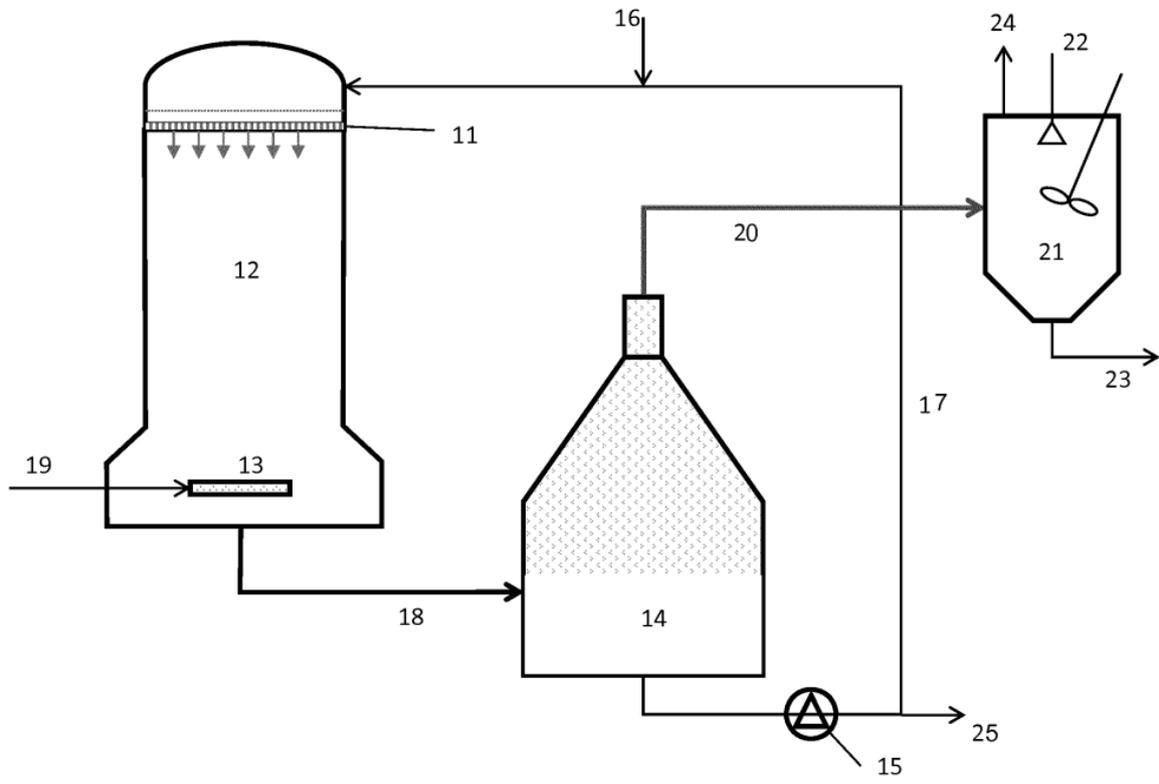


FIG. 2

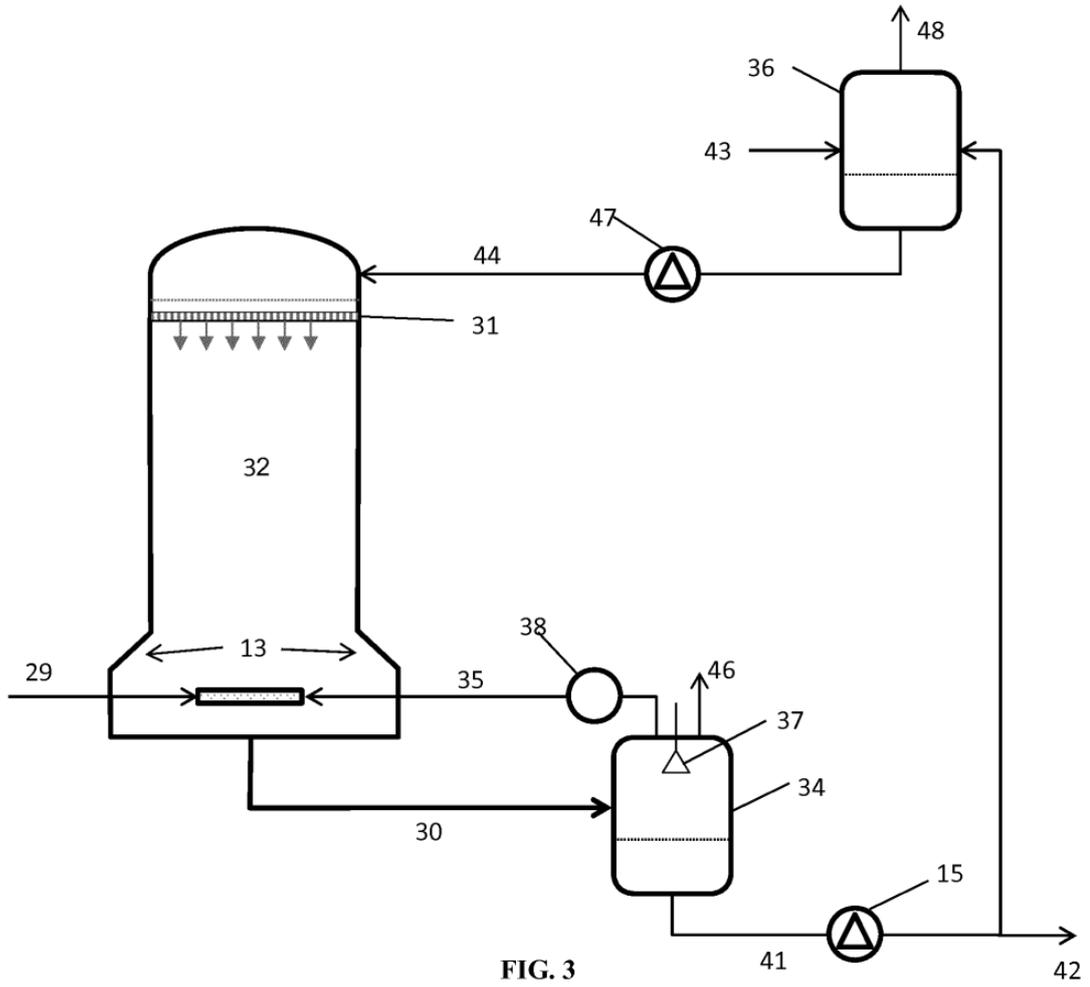


FIG. 3

N=260

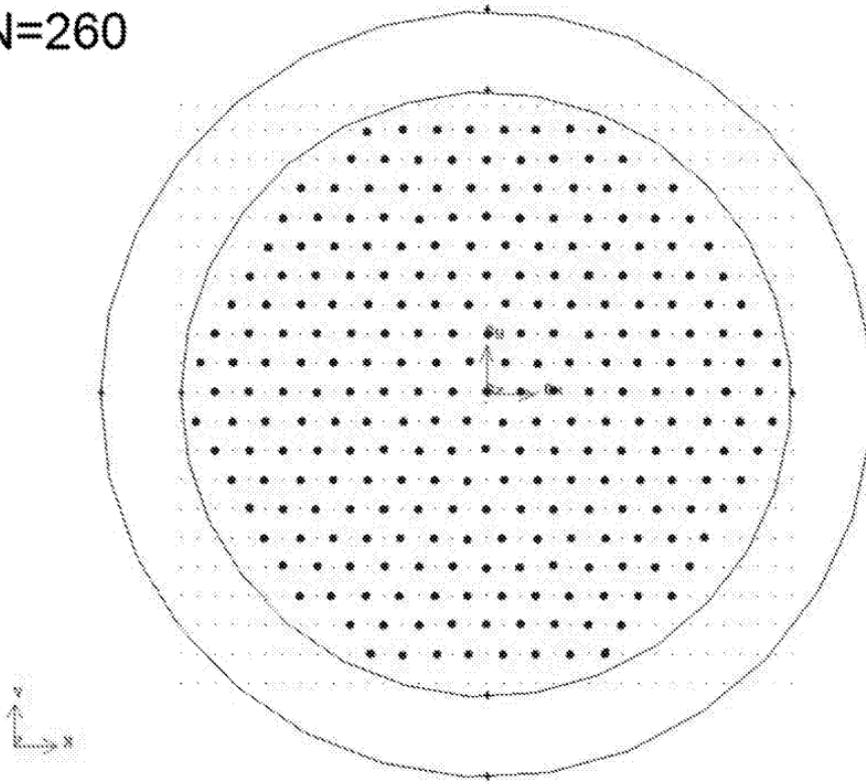


FIG. 4

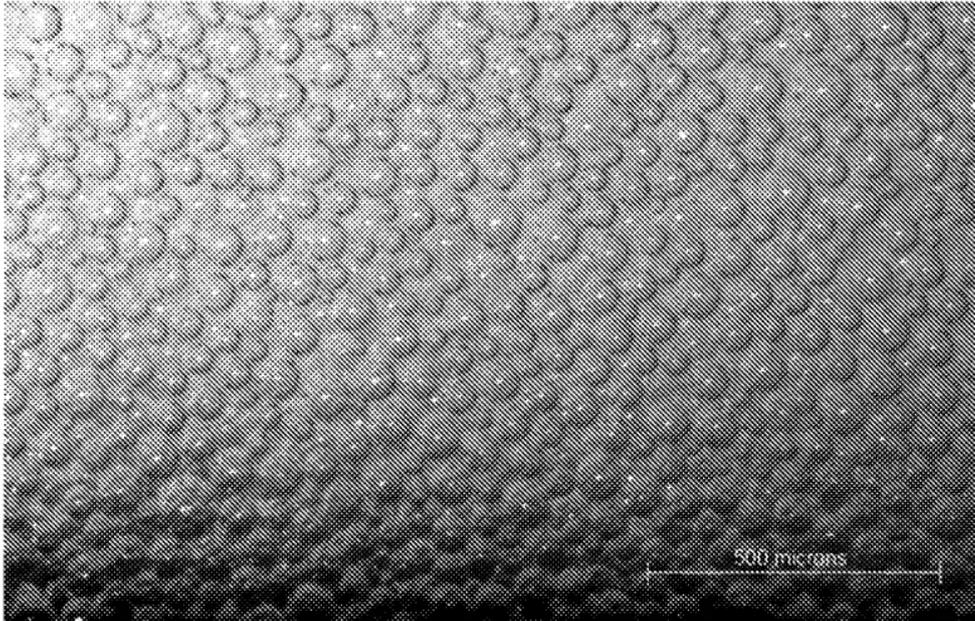


FIG. 5

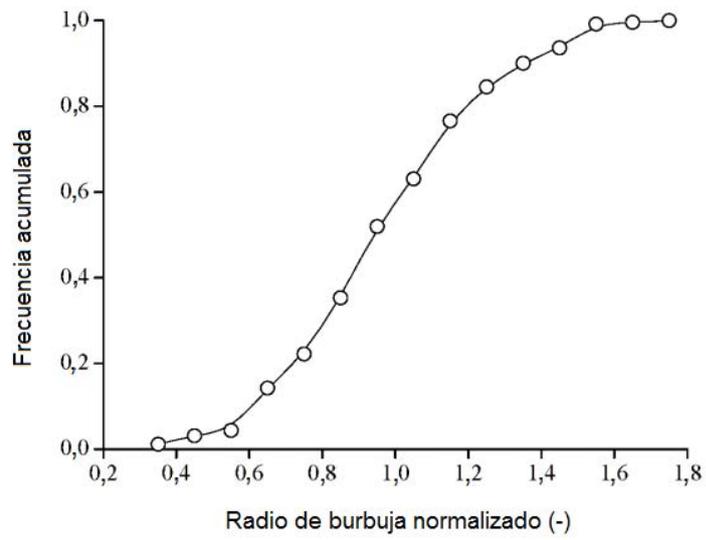


FIG. 6

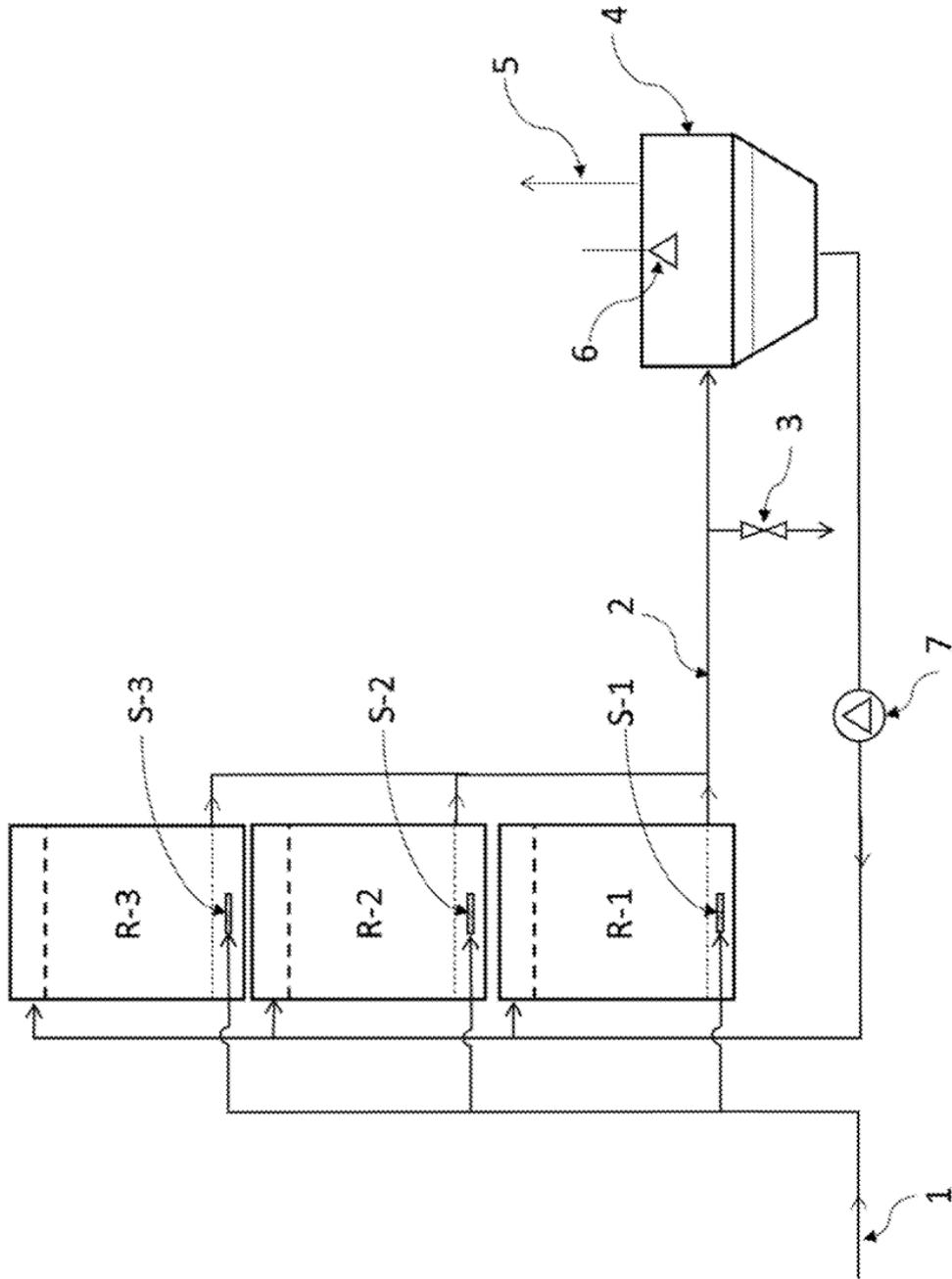


FIG. 7