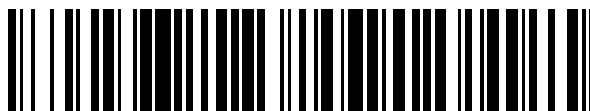


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 378 191**

51 Int. Cl.:  
**C12M 1/00** (2006.01)  
**B01F 3/04** (2006.01)  
**C12M 1/08** (2006.01)  
**B01J 19/24** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **09154581 .4**  
96 Fecha de presentación: **08.03.2009**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2228432**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **15.09.2010**

54 Título: **Biorreactor y procedimiento para hacer funcionar un biorreactor**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**09.04.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**09.04.2012**

73 Titular/es:  
**SSC Strategic Science Consult GmbH**  
**Beim Alten Gaswerk 5**  
**22761 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:  
**Kerner, Martin**

74 Agente/Representante:  
**Curell Aguilá, Mireia**

ES 2 378 191 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

Biorreactor y procedimiento para hacer funcionar un biorreactor.

5 La invención se refiere a un biorreactor para el cultivo de organismos fototrópicos y a un procedimiento para hacer funcionar un biorreactor de este tipo para el cultivo de organismos fototrópicos.

10 Los organismos fototrópicos, a los que pertenecen los microorganismos unicelulares y pluricelulares tales como, por ejemplo, algas, cianobacterias y cultivos de células vegetales, se caracterizan porque, mediante fotosíntesis, utilizan la luz como fuente de energía y degradan con ello la biomasa. Su cultivo tiene lugar con el objetivo de producirla (biomasa) o de producir sus productos de metabolismo. Para ello se utilizan también los biorreactores denominados fotobiorreactores. Los reactores de este tipo presentan, en general, una carcasa permeable a la luz, que rodea una cámara de reactor. En la cámara de reactor se disponen los organismos correspondientes en un medio de cultivo o nutritivo, y a continuación se irradia luz a través de la carcasa de reactor al interior de la cámara de reactor.

15 Al mismo tiempo el problema fundamental consiste en que la intensidad de la luz decrece mucho a causa de la absorción de la luz por parte de los organismos y el medio de cultivo y a causa de efectos de sombra con el aumento de la profundidad de penetración en el medio de cultivo, de manera que un suministro de luz suficiente está garantizado únicamente en una determinada capa en las proximidades de las zonas de carcasa iluminadas. Además, debe considerarse también que los organismos no pueden procesar de forma continua la luz incidente sino que, en teoría, pueden absorber incluso únicamente durante un tercio del tiempo la luz y la pueden aprovechar para la obtención de energía. Por este motivo se consigue un aprovechamiento óptimo y una actividad de fotosíntesis de los organismos fototrópicos cuando los organismos pasan, en un medio estadístico, un ciclo luz-oscuridad, de manera que durante un primer intervalo de tiempo absorben luz de una intensidad relativamente alta y a continuación, durante un segundo intervalo de tiempo, regresan a una oscuridad relativa.

20 De esta manera pueden, por una parte, participar más organismos en la actividad fototrópica y, por la otra, los organismos están sometidos durante un tiempo breve a la intensidad de luz máxima, que en el caso de luz intensa puede conducir incluso a una saturación de organismos (llamada fotoinhibición).

30 En el estado de la técnica se conocen diferentes mecanismos con los cuales se ha intentado tener en cuenta de forma lo más óptima posible los aspectos mencionados. En un biorreactor, descrito en el documento DE 199 16 597 A1, se basa en el principio de los llamados biorreactores Airlift o Airlift-lazos. En este tipo de biorreactor se pone el medio de cultivo en movimiento en un lazo predeterminado, gracias a que en un lado se introduce mediante tobera gas en el biorreactor, que asciende entonces en el medio de cultivo.

35 El biorreactor conocido a partir del documento DE 199 16 597 A1 presenta dos placas conductoras o paredes intermedias, dispuestas simétricamente en el interior de una cámara de reactor en forma de paralelepípedo, que discurren paralelas entre sí y con respecto a dos paredes laterales opuestas de la carcasa del biorreactor y que se extienden a lo largo de una gran parte de la longitud de la cámara de reactor. Las paredes intermedias, las cuales están separadas en cada caso por sus dos extremos de las paredes frontales de la carcasa de reactor, forman entre sí un canal de conducción de la corriente central y, entre cada pared intermedia y la pared lateral contigua de la carcasa del reactor, se forma en cada caso un canal de conducción de la corriente exterior. El gas se introduce mediante una tobera en un lado del biorreactor, a través de la pared frontal correspondiente, de la manera en la cámara de reactor, que el gas asciende, a través del canal conducción de la corriente central, hacia arriba en el medio de cultivo, con el cual es llenada la cámara de reactor. De esta manera se forma una corriente de líquido que sigue, en el canal de conducción de la corriente central, la corriente de gas y que está conducida en dirección contraria en los canales de conducción de la corriente exteriores, es decir que existen dos lazos conectados en forma de ocho.

40 La irradiación de luz en la cámara de reactor tiene lugar desde el lado, paralelamente con respecto a las paredes intermedias y perpendicularmente con respecto a la dirección de extensión de los canales de conducción de la corriente y, con ello, también perpendicularmente con respecto a la corriente de líquido en los canales de conducción de la corriente. Con el fin de conseguir un movimiento de los organismos, mediante el cual pasan en el medio estadístico por un ciclo luz-oscuridad, se conduce de forma turbulenta la corriente de líquido descrita. Para el aumento de la turbulencia se propone, por un lado, el montaje de mezcladores estáticos o de rompedores de corriente y, por el otro, un aumento de la tasa de absorción de gas. De esta manera deben generarse en la totalidad de la cámara de reactor turbulencias tridimensionales buscándose proporcionar para los organismos un ciclo luz-oscuridad con una frecuencia de más de 1 Hz. En la sección de cámara de reactor entre la pared frontal de la carcasa reactor, la cual se opone a la pared frontal, a través de la que tiene lugar la absorción de gas, y los extremos contiguos de las paredes intermedias, se encuentra un espacio de cabeza pequeño altamente turbulento, que se aprovecha para el intercambio de gas y la regulación de la temperatura.

50 Se ha demostrado, sin embargo, que la turbulencia que se puede conseguir mediante el biorreactor conocido no es suficientemente grande para conseguir unas frecuencias óptimas para el ciclo luz-oscuridad y con ello un aprovechamiento óptimo de la luz y para evitar una cobertura de las superficies de reactor con algas (el llamado

*Biofouling*), lo que bloquea de nuevo la entrada de luz en la cámara de reactor. Además se imponen unos límites, para un aprovechamiento mejorado de la luz, al aumento deseable de la relación de la superficie lateral de carcasa que se puede iluminar con respecto al volumen de la cámara de reactor en los biorreactores conocidos, a causa de su formación necesaria para la formación de una gran turbulencia, límites a un grosor mínimo, en los cuales existe todavía necesidad de mejora. Además, el biorreactor debe hacerse funcionar en posición vertical, es decir en un ángulo de 90° con respecto a la superficie de disposición, de manera que no es posible una orientación de la pared de reactor iluminada con respecto al sol para la maximización de la entrada de luz y la minimización de la reflexión.

La presente invención se plantea el problema de proporcionar un biorreactor para el cultivo de organismos fototrópicos y de un procedimiento para el funcionamiento de un biorreactor de este tipo, mediante los cuales se pueda continuar mejorando el aprovechamiento de la luz por parte de los organismos.

Este problema se resuelve mediante un biorreactor con las características de la reivindicación 1 y mediante un procedimiento con las características de la reivindicación 11. Las formas de realización preferidas del biorreactor y del procedimiento son objeto de las reivindicaciones dependientes en cada caso correspondientes.

Según la presente invención está previsto que, un biorreactor para el cultivo de organismos fototrópicos, dispuestos en una cámara de reactor del biorreactor, presente una carcasa permeable a la luz, en forma de paralelepípedo y de placa, en cuyo interior está dispuesta la cámara de reactor. La carcasa es, de acuerdo con ello, plana y está limitada, en dos lados opuestos, en cada caso por una pared lateral con una superficie mucho más extendida ó grande en relación con el grosor. Junto a estas dos paredes laterales existen además dos paredes laterales opuestas entre sí adicionales con una superficie menor y dos paredes frontales opuestas entre sí. A causa de la estructuración en forma de placa de la carcasa presenta cada una de las cuatro paredes de carcasa mencionadas en último término una superficie, la cual es mucho menor o está menos extendida que la mayor o la mayor de las paredes laterales extendidas mencionadas en primer lugar. La distancia entre las paredes laterales menores o pequeñas define la anchura de la cámara de reactor, la distancia entre las paredes frontales define la longitud de la cámara de reactor, y la distancia entre las paredes laterales mayores define el grosor o la profundidad o la altura de la cámara de reactor. La penetración de luz en la cámara de reactor tiene lugar, preferentemente, a través de una o las dos paredes laterales mayores de la carcasa en forma de placa.

Es posible prever que la carcasa sea realizada únicamente en un material permeable a la luz, el cual forma por lo menos una parte de una pared lateral grande o, preferentemente, la totalidad de una pared lateral grande de este tipo. Sin embargo, resulta asimismo preferido que otras partes de la carcasa y, preferentemente, la totalidad o esencialmente la totalidad de la carcasa, estén realizadas en un material permeable a la luz. Los materiales permeables a la luz ventajosos son materiales de plástico permeables a la luz, transparentes o hialinos como, por ejemplo, el PET, con una elevada permeabilidad, en especial para radiación fotosintéticamente activa, comprendida entre 400 y 700 nm. Resulta preferido que la permeabilidad en esta banda fotosintéticamente activa del espectro sea por lo menos del 90%.

En la cámara de reactor están dispuestas varias paredes intermedias o placas conductoras las cuales están formadas, preferentemente, asimismo con el material permeable a la luz como, por ejemplo, uno de los materiales mencionados en relación con la carcasa. Estas paredes intermedias discurren paralelas con respecto a las paredes laterales menores y paralelas entre sí, es decir, que se extienden a lo largo de la longitud de la cámara de reactor y de la carcasa. Cada pared intermedia se extiende a lo largo de la totalidad del grosor de la cámara de reactor, de manera que conecta entre sí las dos paredes laterales mayores. Las paredes intermedias están dispuestas en las proximidades de una primera de las dos paredes laterales, están separadas, preferentemente, 2 a 20 cm y mayor, preferentemente 6 a 10 cm, de esta primera pared frontal o presentan una abertura o una ranura en la zona de la primera pared frontal. Al mismo tiempo las paredes intermedias están separadas preferentemente en su totalidad a la misma distancia de la pared frontal.

Las paredes intermedias se extienden a lo largo de una parte de la longitud de la cámara de reactor. De esta manera se forma, en las proximidades de la primera pared frontal, una sección de la conducción de la corriente de la cámara de reactor con un gran número de canales de conducción de la corriente, de los cuales cada uno se encuentra entre dos paredes laterales contiguas o entre una de las paredes laterales pequeñas y una pared intermedia contigua. Entre los extremos, alejados de la primera pared frontal, de las paredes intermedias y la segunda de las dos paredes laterales está prevista una sección de mezcla libre o esencialmente libre de la cámara de reactor, en la cual no se encuentran paredes intermedias. Las paredes intermedias presentan, preferentemente, una longitud idéntica. Resulta además preferido que las paredes intermedias estén distanciadas de manera uniforme unas de otras y de las paredes laterales pequeñas. Al mismo tiempo las paredes intermedias están dispuestas y dimensionadas de tal manera que la sección de mezcla de la cámara de reactor se extiende a lo largo de por lo menos el 50%, preferentemente por lo menos el 60% y todavía más preferentemente por lo menos el 80% de la longitud de la cámara de reactor y que los canales de conducción de la corriente presenten una anchura, es decir una distancia entre paredes intermedias contiguas o entre una pared lateral pequeña y la pared intermedia contigua, de por lo menos 5 cm. Resulta además preferido que los canales de conducción de la corriente se extiendan a lo largo de por lo menos un 10% de la longitud de la cámara de reacción. Resulta además preferido que la longitud de los canales de conducción de la corriente sea de 10 a 200 cm y mayor, preferentemente de 60 a 100 cm. En una estructuración

ventajosa están previstos por lo menos cinco y preferentemente de siete a nueve canales de conducción de la corriente.

5 En las proximidades de la primera pared frontal se encuentra un dispositivo de suministro de gas para la introducción de gas en cada segundo canal de conducción de la corriente.

10 Durante el funcionamiento se introduce mediante una tobera, con la ayuda del dispositivo de suministro de gas, al mismo tiempo gas en el extremo, orientado a la primera pared frontal, que cada segundo canal de conducción de corriente. Con el fin de obtener un movimiento del gas a lo largo de los canales de conducción de corriente, el  
 15 biorreactor se dispone al mismo tiempo de tal manera que la primera pared frontal se encuentra más baja que la segunda pared frontal y la primera pared frontal forma, por consiguiente, en caso de utilización, el lado inferior del biorreactor. A causa de la anchura, de por lo menos 5 cm, de los canales de conducción de la corriente se puede formar en los mismos, para una tasa y tipo de absorción de gas suficiente, una corriente de líquido, inducida por la  
 20 introducción de gas. El gas asciende en cada segundo canal de conducción de corriente hacia arriba y genera, mediante el empuje vertical ascensional, una corriente de líquido hacia arriba (*Airlift*). Al mismo tiempo el gas arrastra consigo líquido del extremo inferior de la cámara de reactor y las columnas de líquido que se encuentran en los canales de conducción de corriente no gaseados empujan, a causa de su mayor masa, el líquido hacia arriba en los canales de conducción de corriente gaseados. En los canales de conducción de corriente no gaseados la succión del líquido que asciende en los canales de conducción de corriente da lugar a que en los canales de  
 25 conducción de corriente no gaseados se forme una corriente de líquido hacia abajo. Con ésta se transporta líquido de la parte superior del biorreactor hasta su fondo en las proximidades de la primera pared frontal. En la realización de este principio de convección se gasea, de acuerdo con ello, cada segundo canal de conducción de corriente, independientemente de la anchura del biorreactor y del número de canales de conducción de corriente.

30 Si el canal introducido mediante tobera en los canales de conducción de corriente alcanza el extremo superior de las paredes intermedias, y con ello el extremo de la sección de conducción de corriente de la cámara de reactor, el gas continúa ascendiendo y genera, junto con las corrientes de líquido descendentes y ascendentes, una mezcla tridimensional fuertemente turbulenta en la sección de mezcla de la cámara de reactor y, en su caso, también en los canales de conducción de corriente.

35 En el contexto de la presente invención se ha determinado que, gracias a la estructura seleccionada, es sorprendentemente posible generar una mezcla turbulenta muy fuerte, también fuera de los canales de conducción de corriente, en todos los lugares en una zona de mezcla extendida, que ocupa más de la mitad de la longitud de la cámara de reactor y que por este motivo es determinante para el aprovechamiento de la luz y el cultivo, que conduce a frecuencias muy altas del ciclo-luz-oscuridad de los organismos con un tiempo de ciclo de preferentemente unos  
 40 milisegundos. Esto se puede conseguir además también con un grosor pequeño del biorreactor o de la cámara de reactor de, preferentemente, 1,5 a 5 cm, de forma que de manera ventajosa se puede realizar una relación grande de la superficie lateral de la carcasa que se puede iluminar con respecto al volumen de cámara de reactor. Además, es posible cultivar densidades de células elevadas, gracias a la fuerte turbulencia que se puede conseguir y al  
 45 cambio periódico rápido, relacionado con ello, de los organismos entre el lado iluminado orientado hacia la luz del biorreactor y las zonas oscuras situadas en el centro de la cámara de reactor – o en las proximidades de la superficie lateral alejada de la luz, sin el biorreactor es iluminado únicamente por un lado. Además, la gran turbulencia da lugar a que los organismos sean movidos con tanta intensidad que son alimentados siempre de forma óptima con los nutrientes disueltos en el medio de cultivo y que no se puedan depositar. La fuerte turbulencia reduce de esta manera, junto con las burbujas de gas ascendentes, también una colonización de las superficie de reactor (formación de película biológica o *Biofouling*), que tendría como consecuencia una reducción de la entrada de luz.

50 Además, el biorreactor está estructurado, en una forma de realización preferida, de tal manera mediante la elección adecuada de la anchura de los canales de conducción de corriente y de las restantes dimensiones del reactor, que mediante la introducción de gas descrita y el ascenso descrito de burbujas de gas en los canales de conducción de corriente, en la totalidad de la zona de mezcla o esencialmente en la totalidad de la zona de mezcla, se puede dar lugar, a causa de la turbulencia generada, para los organismos un cambio entre claro y oscuro con fases oscuras individuales de 10 ms o menos y/o se puede conseguir un coeficiente de intercambio de materia de por lo menos 0,016 m<sup>2</sup>/s. Lo último conduce, de manera ventajosa, que las diferencias espaciales de concentración sean inferiores al 2% en la cámara de reactor.

60 La cámara de reactor del biorreactor de la presente invención está, de acuerdo con esto, muy optimizada, en comparación con el estado de la técnica, para el cultivo de organismos fototrópicos, refiriéndose la optimización a suministrar luz a los organismos, alimentar a los organismos con nutrientes (nitrógeno, fósforo y oligoelementos) disueltos en un medio de cultivo y gases, impedir que los organismos se depositen o sedimenten, e impedir que los organismos se adhieran a las paredes del reactor, con lo cual está garantizada permanentemente una entrada de luz sin obstáculos en la cámara de reactor.

65 Además se puede conseguir, en comparación con otros tipos de reactor, una relación más favorable entre la superficie y el volumen, es decir que los biorreactores en forma de placa pueden ser muy delgados y por ello ser concebidos para volúmenes pequeños del medio de cultivo. De esta manera la cámara de reactor presenta, en una

estructuración preferida del biorreactor, un grosor de 1,5 a 5 cm, de forma más preferida de 2,0 a 3,0 cm. La longitud de la cámara de reactor es, preferentemente, de 100 a 600 cm, de forma más preferida de 300 a 400 cm, y la anchura de la cámara de reactor es, preferentemente, de 30 a 400 cm, de forma más preferida de 100 a 200 cm. En cualquier caso es ventajoso que la longitud de la cámara de reactor sea mayor que su anchura.

Gracias a la relación favorable entre la superficie y el volumen es posible, de manera ventajosa, reducir la utilización de recursos para el cultivo (entre otros, agua, nutrientes, gas y energía). Durante el funcionamiento se ajustan en la cámara de reactor preferentemente densidades de células que dan lugar a una densidad óptica de 7 o aproximadamente 7, lo que corresponde a una relación de tiempo de permanencia luz-oscuridad de aproximadamente 1:2 a 1:3. Este ajuste puede tener lugar a través de la densidad de células como masa seca teórica en g/l. Ésta es, por ejemplo para un grosor del biorreactor de 5 cm, preferentemente de 0,9 g/l, para un grosor de 3 cm, de preferentemente 1,5 g/l y para un grosor de 1,5 cm preferentemente de 3 g/l. Hasta estas masas secas teóricas justificadas ópticamente no tiene lugar desabastecimiento alguno de los organismos con luz, de manera que todos los organismos pueden ser mantenidos fotosintéticamente activos de manera uniforme.

Los biorreactores según la invención con superficies de más de un metro cuadrado de pared lateral grande se pueden utilizar, por ejemplo, de manera ventajosa a escala industrial para el cultivo de algas, para fijar CO<sub>2</sub> de gas de humo y obtener, a partir de la biomasa generada con ello, energía de forma rentable. Al mismo tiempo es especialmente ventajosa la posibilidad de hacer funcionar el biorreactor con un consumo pequeño de energía y recursos y conseguir una gran producción de biomasa por superficie de reactor.

En una estructuración ventajosa del biorreactor la anchura de los canales de conducción de corriente es de por lo menos 10 cm y es preferentemente de 10 a 50 cm. En otra estructuración ventajosa la anchura de los canales de conducción de corriente es de por lo menos 15 cm y preferentemente de 15 a 20 cm.

Para continuar dificultando el depósito de los organismos en las paredes de la cámara de reactor puede ser ventajoso formar redondeadas algunas o todas las esquinas y/o los cantos de la carcasa de biorreactor.

En una forma de realización preferida del biorreactor está previsto en las paredes intermedias, a lo largo de su longitud, en cada caso un número de aberturas o perforaciones pasantes distanciadas entre sí a través de las cuales puede tener lugar un intercambio de líquido entre canales de conducción de corriente contiguos. Gracias a esta estructuración se posibilita que el gas que asciende en cada segundo canal de conducción de circulación, durante la generación hidrostática de una corriente de líquido, no arrastre hacia arriba líquido del extremo inferior de la cámara de reactor, es decir de las proximidades de la primera pared frontal, sino también adicionalmente a través de las aberturas de los canales de conducción de corriente no gaseados contiguos. Con ello se consigue que las burbujas de gas en los canales de circulación gaseados puedan ascender, sin impedimentos, a lo largo de la totalidad del canal de circulación, puedan alcanzar altas velocidades y, por consiguiente, se puedan alcanzar velocidades de circulación elevadas. Además, se forman mediante la afluencia lateral de líquido en los canales de circulación gaseados turbulencias en los canales de conducción de corriente, de manera que no únicamente en la zona de mezcla, sino también en la zona de los canales de conducción de corriente, pueden tener lugar mezclas turbulentas de alta velocidad. Resulta especialmente preferido que las aberturas o aberturas de paso en zonas de las paredes intermedias estén previstas en las zonas de las paredes intermedias, las cuales sean contiguas a una de las paredes laterales grandes de la carcasa, y ello en la pared lateral grande, la cual no está prevista en la zona, para ser irradiada por la luz, es decir la pared lateral grande que corresponde, en caso de una disposición inclinada del biorreactor, al lado alejado del Sol. Con ello se impide que las partes de las burbujas de gas grandes ascendentes alcancen, por completo o en parte, el interior de aquellos canales de conducción de corriente en los cuales el líquido circula hacia abajo, asciendan allí y frenen de este modo la circulación de líquido. Las aberturas o perforaciones pasantes pueden presentar, en una estructuración ventajosa, longitudes en la dirección del recorrido de los canales de conducción de corriente de 1 a 30 cm y mayor, preferentemente 3 a 5 cm, y dimensiones perpendicularmente con respecto al recorrido de los canales de conducción de la corriente del 10 hasta el 90% y de manera aún más preferida del 50% o de aproximadamente el 50% de la altura de las paredes intermedias.

Resulta preferido que el dispositivo de suministro de gas presente un tubo o varios tubos, el cual o los cuales discurre o discurren en la cámara de reactor entre la primera pared frontal un los extremos orientados hacia ésta de las paredes intermedias y que presente o presenten perforaciones o ranuras a través de las cuales se cede gas al interior de los canales de conducción de corriente que hay que gasear en cada caso. Al mismo tiempo resulta además preferido que el tubo o los tubos discurra o discurren paralelos con respecto a la primera pared frontal. El grosor del tubo o de los tubos no debería ser, preferentemente, mayor que un tercio del grosor de la cámara de reactor, para no impedir excesivamente la circulación. Por el mismo motivo es ventajoso que el tubo o los tubos esté(n) dispuesto(s) a una cierta distancia con respecto a la primera pared frontal. Se prefiere, por ejemplo, que el tubo o los tubos estén dispuestos a una distancia de 5 a 150 mm y mayor, preferentemente de 30 a 50 mm con respecto a la primera pared frontal. Resulta además preferido que el tubo o los tubos estén dispuestos a una distancia de 5 a 150 mm y mayor, preferentemente de 30 a 50 mm, con respecto de los extremos, orientados hacia la primera pared frontal, de las paredes intermedias. El tubo debería presentar además por ello un diámetro interior lo más pequeño posible, debido a que durante un gaseado por golpes entra líquido en el tubo y tiene que ser extraído de nuevo por soplado durante con el golpe siguiente. En los tubos delgados se produce por ello un tiempo

de retardo menor. El diámetro interior de tubo de gaseado es preferentemente de 5 mm, para una anchura de reactor de 1 m.

En relación con un dispositivo de suministro de gas de este tipo es además ventajoso que la dirección de suministro de gas esté adaptada para que, preferentemente de forma automática, por ejemplo con la ayuda de un dispositivo de control adecuado, que puede ser parte del biorreactor, se pueda introducir en los canales de conducción de la corriente correspondientes, en una cámara de reactor llena con medio de cultivo líquido y organismos fototrópicos, gas en forma de burbujas de gas individuales unidas. Las burbujas de gas presentan, al mismo tiempo, un diámetro grande (es decir, el diámetro máximo de una burbuja de gas dada) de por lo menos 3 cm, preferentemente de 3 a 50 cm y todavía más preferentemente de 10 a 15 cm. Mediante el ascenso de burbujas de gas individuales de este tipo en los canales de conducción de aire se consigue una velocidad alta del ascenso del gas y, como consecuencia de ello, un gran efecto de succión, lo que comporta unas velocidades de circulación altas favorables para la fuerte turbulencia que se quiere conseguir en la sección de mezcla, que en los canales de conducción de corriente es por lo menos tan grande como la velocidad de las burbujas de aire. Se prefiere especialmente que las burbujas de gas presente un diámetro grande, el cual corresponde a la anchura del canal de conducción de corriente correspondiente o es mayor que él. Una burbuja de este tipo actúa como un sifón o émbolo y desarrolla, por consiguiente, el mayor efecto de succión. Las dimensiones de las ranuras o del tamaño de las perforaciones en el tubo o en los tubos se orientan, en general, según la cantidad del gas que hay que insuflar o la presión con la cual es insuflado y deben ser preferentemente suficientemente grandes para que en el intervalo de tiempo de 100 a 1000 ms se alcancen los tamaños de burbuja arriba mencionados. Las perforaciones presentan, preferentemente, un diámetro de 0,5 a 4 mm y mayor, preferentemente de 1 a 2 mm, y las ranuras tienen, preferentemente, una anchura de 0,2 a 1 mm y mayor, preferentemente de 0,4 a 0,6 mm. Se prefiere al mismo tiempo además que el dispositivo de suministro de gas esté adaptado para introducir gas de tal manera que la velocidad de las burbujas de gas sea en los canales de conducción de corriente de por lo menos 0,5 m/s. El tamaño y la velocidad de las burbujas de gas se selecciona en general de tal manera que se formen las características de circulación y turbulencia ventajosas, indicadas más arriba. En especial resulta preferido que el tamaño y la velocidad de las burbujas de gas estén ajustados de tal manera a la estructuración del biorreactor que en la totalidad o esencialmente en la totalidad del líquido que se encuentra en la cámara de reactor predominen los números de Reynold supercríticos, de manera que en la totalidad o esencialmente en la totalidad del líquido predominen condiciones de circulación turbulentas.

Para conseguir el accionamiento con la menor cantidad de gas posible resulta además preferido que el dispositivo de introducción de gas esté adaptado para introducir el gas, preferentemente de forma automática, por ejemplo con la ayuda de un dispositivo de control adecuado, el cual puede ser parte del biorreactor, de la manera por golpes en los canales de conducción de corriente correspondientes, que solo después se genere una nueva burbuja de gas, cuando la burbuja de gas anterior haya recorrido por completo el medio de cultivo que hay en la cámara de reactor. En una forma de realización preferida la duración del impulso de la introducción por golpes de gas es de 100 a 1.500 ms con una periodicidad de 500 a 10.000 ms y mayor, preferentemente 400 a 600 ms con una periodicidad de 1.500 a 4.000 ms.

En total se puede trabajar, en el contexto de la presente invención, para dar lugar a la corriente de líquido, de manera ventajosa, con presiones de gas pequeñas de, preferentemente, 0,1 a 2,0 bar de sobrepresión y, de manera aún más preferida, de 0,5 a 1,0 bar.

En una forma de realización preferida están dispuestas, en la sección de mezcla de la cámara de reactor, un gran número de columnas o barras distanciadas entre sí, las cuales conectan en cada caso las dos paredes laterales grandes entre sí y están formadas, preferentemente, de tal manera que se estrechan, por ejemplo de forma cónica, por lo menos en dirección hacia la pared lateral grande, la cual está alejada de la irradiación de luz prevista. Mediante esta estructuración se aumenta, de manera ventajosa, la resistencia mecánica frente a las vibraciones y oscilaciones de las paredes de carcasa y de las paredes intermedias, que pueden aparecer durante el funcionamiento a causa de la presión del líquido. En general, las columnas o barras de este tipo sirven para reforzar la construcción mecánica. De esta función de refuerzo ocupan, en la sección de conducción de la corriente de la cámara de reactor, las paredes intermedias. Además, las columnas o barras actúan como mezcladores mecánicos en los que rompen la corriente de líquido, lo que aumenta aún más la mezcla turbulenta. Las columnas o barras pueden presentar diámetros de sección transversal máximos de 1 a 10 cm y mayores, preferentemente de 3 a 5 cm.

Un reactor estructurado de esta manera puede ser fabricado, de manera ventajosa, a partir de dos semimonocoques, los cuales son fabricados por ejemplo mediante embutición profunda y que son conectados a continuación entre sí, o de una pieza mediante *Twin Sheet* o, por ejemplo, mediante procedimiento de moldeo por inyección o de rotación.

En una forma de realización preferida el biorreactor está fijado a un dispositivo de sujeción con cuya ayuda se puede variar el ángulo de inclinación del biorreactor con respecto al suelo o la superficie de colocación y, en su caso, también la posición angular con respecto a un eje que discurre perpendicularmente con respecto a la superficie terrestre. Dado que el biorreactor se puede hacer funcionar con ángulos de inclinación comprendidos entre aproximadamente 0° y 90° y, preferentemente, entre 30° y 90°, es especialmente ventajoso que la variación del ángulo de inclinación sea posible, de manera discreta o continua, en estos márgenes. De esta manera es posible

orientar el biorreactor durante el transcurso del día, según la posición del Sol, de tal manera que la luz del Sol irradie en cada instante con un ángulo óptimo en la cámara de reactor. Además, es posible llevar el biorreactor, de manera sencilla, a una posición protegida contra daños por tormenta y, en caso de una irradiación demasiado intensa, llevarlo a una posición de sombra. Como dispositivo de sujeción se pueden utilizar, por ejemplo, los sistemas de seguimiento conocidos en la técnica solar.

Los biorreactores se pueden hacer funcionar individualmente o conectados entre sí, como Batch o turbidostato. Como Batch tiene lugar un intercambio del medio de cultivo a intervalos de tiempo determinados. Como turbidostato el medio de cultivo es cambiado de manera continua a lo largo del tiempo o es suministrado en circulación, es decir que tiene lugar una entrada y salida continua. Con el fin de hacer posible este funcionamiento el biorreactor presenta, en una forma de realización ventajosa, una conexión de entrada, a través de la cual el líquido puede ser bombeado con la ayuda de una bomba a la cámara de reactor, y una conexión de salida, a través de la cual se cede líquido. La conexión de salida puede estar prevista, preferentemente, en el extremo superior del biorreactor, es decir en la segunda pared frontal, y la salida puede tener lugar, preferentemente, a través de esta conexión de salida junto con la cesión de gas de la cámara de reactor. Tras la separación de la mezcla gas-agua el líquido puede ser conducido entonces, únicamente mediante la presión hidrostática, hasta la bomba. Al mismo tiempo o en otro punto en la sección de circulación exterior puede tener lugar, de manera ventajosa, mediante dispositivos adecuados, tanto la captación de parámetros de medición así como la adición dosificada de nutrientes y en su caso de ácidos o bases para el ajuste del valor de pH en el medio de cultivo. Además, a través de la guía en circulación, se pueden calentar o enfriar corrientes parciales del medio de cultivo, con el fin de alcanzar condiciones de temperatura óptimas en el biorreactor. El calentamiento debe llevarse a cabo preferentemente cuando la temperatura en el biorreactor desciende por debajo de 10 °C, pudiendo aplicarse en la corriente parcial temperaturas de hasta 30 °C. Resulta preferido que el flujo volumétrico del medio de cultivo durante la guía en circulación sea, en tanto por ciento del volumen del biorreactor por hora del 0 al 200% y mayor, preferentemente del 50 al 100%. Al mismo tiempo un valor del 50% significa, por ejemplo, que el biorreactor se hace circular una vez cada dos horas.

Para el crecimiento de los organismos fototrópicos es además ventajoso que, de manera adicional a la entrada de gas descrita, que sirve para dar lugar a la turbulencia, se introduzca también de manera independiente CO<sub>2</sub> en el medio de cultivo. Con este propósito pueden estar previstos difusores y/o mezcladores estáticos. Los difusores pueden estar formados, de manera ventajosa, como mangueras o tubos porosos con un tamaño de poro de, preferentemente, 5 a 35 µm, siendo válido para la disposición y el dimensionamiento lo mismo que para los tubos para la introducción del gas para el impulso del movimiento del líquido. Los difusores están dispuestos en la cámara de reactor, preferentemente, en la zona situada entre la primera pared frontal y los extremos, orientados hacia ésta, de las paredes intermedias, y presentan una entrada, prevista por ejemplo a través de una de las paredes laterales mayores, a través de la cual tiene lugar la carga con gas. El gas pasa entonces, durante el funcionamiento, a través de poros, a modo de burbujas de gas finísimas en el medio de cultivo. Dado que la velocidad del intercambio de gas entre el gas y el líquido depende del tamaño o de la superficie de las burbujas de gas, éste es tanto mayor cuanto menores son las burbujas de gas. El tamaño de los poros debe seleccionarse por lo tanto de tal manera que se formen burbujas de gas lo menores posibles. Se pueden utilizar los mezcladores estáticos conocidos para disolver el gas en un sistema de tuberías en el medio de cultivo. De este modo es posible, por ejemplo en el caso del funcionamiento de un biorreactor como turbidostato, enriquecer el medio de cultivo conducido en circulación con gas mediante mezcladores estáticos. La presión de gas en los difusores se puede seleccionar, de manera ventajosa, muy baja. Son valores preferidos de 0,1 a 2 bar de sobrepresión o mayores, preferentemente de 0,4 a 0,6 bar.

En una estructuración ventajosa la superficie de los biorreactores – y preferentemente una o dos de las paredes laterales grandes – está revestida, por completo o por lo menos parcialmente, con células solares de capa delgada.

Los biorreactores descritos anteriormente pueden utilizarse, de manera ventajosa, para el cultivo de células y/u organismos fototrópicos. Por organismos fototrópicos se entienden en la presente memoria en especial microalgas. Las microalgas comprenden, como se ha utilizado con anterioridad, organismos unicelulares y pluricelulares del grupo de las algas eucariotas o del grupo de las cianobacterias procariotas, que tienen un tamaño de entre 1 µm y 100 µm. Se entienden por algas organismos eucariotas que pertenecen a las plantas. Las algas, y en especial las microalgas, se utilizan industrialmente para la producción de sustancias biológicas como, por ejemplo, polisacáridos, ácidos grasos, proteínas, lípidos, colorantes, vitaminas y esteroides. Para la producción de ácidos grasos y aceites se utilizan preferentemente microalgas, que tienen clorofila a y c y que degradan lípidos en lugar de almidón como sustancias de almacenamiento. Las microalgas de este tipo se pueden encontrar en grupos taxonómicos de heterocontofitas, dinofíceas, cianofíceas, haptofíceas. Las biomasas de microalgas encuentran aplicación además como forraje. Se trata preferentemente en el caso de las microalgas, que deben ser cultivadas con el procedimiento y los biorreactores según la invención, de las de las especies de *Phaeodactylum*, *Isochrysis*, *Monodus*, *Porphyridium*, *Spirulina*, *Chlorella*, *Botryococcus*, *Cyclotella*, *Nitzschia*, *Dunaliella* y/o *Nannochloropsis*.

En el caso de las cianobacterias se trata de organismos procariotas, que pueden llevar a cabo la fotosíntesis oxigénica. Las cianobacterias presentan, además de clorofila, otros pigmentos absorbentes de la luz del grupo de las ficobilinas, que posibilitan un aprovechamiento de la luz más óptimo en comparación con las plantas. Por este motivo las cianobacterias pueden colonizar zonas con poca luz, en las cuales las plantas no pueden avanzar a causa de los sistemas de fotosíntesis basados en la clorofila. Los presente biorreactores y procedimientos se

pueden hacer funcionar, principalmente, con especies discrecionales de cianobacterias. Se trata, preferentemente, en el caso de las cianobacterias que hay que cultivar de las de las especies *Acaryochloris*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Chroococcus*, *Gloeobacter*, *Gloeocapsa*, *Lyngbya*, *Microcystis*, *Microcoleus*, *Ondularia*, *Nostoc*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Prochlorococcus*, *Prochloron*, *Prochlorothrix*, *Scytonema*, *Spirulina*, *Stignema*, *Synechococcus* y/o *Trichodesmium*.

Además, en los biorreactores se pueden criar también cultivos de células vegetales y musgos.

El biorreactor descrito puede ser utilizado de manera ventajosa en el contexto de un procedimiento para el cultivo de los organismos fototrópicos mencionados anteriormente, en el cual se introducen un medio de cultivo líquido y organismos fototrópicos en una cámara de reactor del biorreactor y una de las dos paredes laterales mayores de la carcasa del biorreactor, la cual está formada en parte o preferentemente por completo con material permeable a la luz, o la dos de estas paredes son irradiadas de tal manera con luz que la luz llega a la cámara de reactor. Al mismo tiempo se introduce mediante tobera, en cada segundo canal de conducción de corriente, gas con la ayuda del dispositivo de suministro de gas. Esta introducción mediante tobera tiene lugar de manera que el gas, como se ha descrito anteriormente, asciende en forma de burbujas individuales con un diámetro grande de por lo menos 3 cm en los correspondientes canales de conducción de corriente. Se ha demostrado que de esta manera, gracias a la estructuración según la invención del biorreactor, es posible, de la manera descrita más arriba, conseguir una turbulencia tridimensional suficientemente intensa con las propiedades ya indicadas, no solo en los canales de conducción de corriente sino también en la totalidad de la zona de mezcla extendida, relacionadas con el movimiento ventajoso descrito anteriormente de los organismos fototrópicos.

En una estructuración preferida el gas es introducido mediante tobera de tal manera con la ayuda del dispositivo de suministro de gas que en la totalidad de la zona de mezcla o, esencialmente, en la totalidad de la zona de mezcla, debido a la turbulencia generada, se da lugar a un cambio de los organismos entre luz y oscuridad con fases de oscuridad individuales de 10 ms o menos, y/o se consigue un coeficiente de intercambio de materia turbulento de por lo menos 0,016 m<sup>2</sup>/s. Esto último conduce, de manera ventajosa, a que las diferencias de concentración espaciales en la cámara de reactor sean inferiores al 2%.

El tamaño y la velocidad de las burbujas de gas es seleccionado de manera que se forman las características de circulación y turbulencia ventajosas deseadas, preferentemente con números de Reynold supercríticos en la totalidad o esencialmente en la totalidad del líquido en la cámara de reactor. Resulta preferido que el gas sea introducido de tal manera, con la ayuda del dispositivo de suministro de gas, que la velocidad de las burbujas de gas que recorren el medio de cultivo en los canales de conducción de corriente sea de por lo menos 0,5 m/seg.

Resulta además preferido que el gas utilizado para impulsar la corriente de líquido sea introducido en los canales de circulación gaseados con un flujo volumétrico por superficie de la pared frontal, a través de la cual se introduce el gas (la llamada velocidad de filtro) de por lo menos 0,02 m/seg.

Además, resulta preferido que el gas sea introducido por golpes, y preferentemente de forma periódica, en los canales de conducción de la corriente correspondientes, que solo entonces se genere una nueva burbuja de gas, cuando la burbuja de gas anterior haya recorrido por completo el medio de cultivo en la cámara de reactor. De esta manera se puede conseguir el movimiento intensamente turbulento con la menor cantidad de gas posible. La longitud de los periodos, con la cual tiene lugar la entrada de gas, se rige de acuerdo con el tiempo que necesita una burbuja de gas para llegar hasta el canto superior del reactor ó hasta la segunda pared frontal de la carcasa. La longitud del golpe de gas se rige por el tamaño de la burbuja de gas generada al mismo tiempo.

La estructura del biorreactor así como la conducción en circulación como turbidostato hacen posible un alto grado de automatización del control del proceso o de la instalación. En especial es posible, de manera ventajosa, ajustar o variar, a través de la magnitud y la periodicidad de la entrada de gas en la cámara de reactor, la velocidad de circulación y, correspondientemente, la periodicidad del ciclo luz-oscuridad. El fotoclima en la cámara de reactor puede ser ajustado a través de la densidad celular así como a través de variaciones del ángulo de inclinación o de la orientación del reactor con respecto al Sol en el transcurso del día y del año. En una conducción en circulación se pueden controlar o variar todas las sustancias contenidas en el agua y puede tener lugar, de manera sencilla, una cosecha de organismos.

Es ventajoso que el procedimiento descrito se lleve a cabo con un biorreactor o con varios, conectados entre sí, siendo aceleradas continuamente fuera del reactor corrientes parciales en el medio de cultivo al mismo tiempo mediante el suministro de medio nuevo o reintroducido. En el transcurso del procedimiento se introducen nutrientes, productos, sustancias para el ajuste del valor del pH y gases en la cámara de reactor o en las cámaras de reactor y se cosechan organismos fototrópicos. Los nutrientes pueden ser añadidos de forma dosificada como mezcla o en forma acuosas, tan pronto como desciendan por debajo de un valor límite, el cual se puede vigilar en cierto sentido metrológicamente. Como nutrientes se pueden utilizar tanto abonos minerales como también orgánicos. Como abonos orgánicos es ventajoso el estiércol líquido de la ganadería de animales de engorde. Se puede introducir calor entonces, a través de un intercambiador de calor, en el medio de cultivo, cuando la temperatura del medio de cultivo desciende por debajo de 10 °C en el reactor, y ello de manera que la temperatura alcanza de 12 a 30 °C. Las



bases, los ácidos o los tampones se introducen de manera dosificada preferentemente cuando se desciende por debajo del valor límite para el pH, el cual se puede controlar de manera adecuada metrológicamente. Los gases son introducidos en el medio de cultivo, en una estructuración ventajosa, mediante un mezclador estático, hasta la saturación. Los organismos fototrópicos son separados del medio de cultivo, preferentemente en caso de superación de un valor límite para el número de células o para la turbiedad correlacionada con él.

La invención se explica a continuación sobre la base de un ejemplo de forma de realización preferida haciendo referencia a los dibujos adjuntos.

La figura 1 representa una sección transversal de una forma de realización preferida del biorreactor según la invención.

La figura 2 representa una sección transversal del biorreactor de la Figura 1 en un plano perpendicular al de la sección transversal de la figura 1.

La figura 3 representa una representación esquemática de las relaciones de circulación en el biorreactor de las figuras 1 y 2 durante su funcionamiento.

En la Figura 1 se muestra un biorreactor 1 en forma de placa en una vista en sección transversal, discurriendo el plano de corte a lo largo de la extensión de las placas. La Figura 2 expone una sección transversal de una zona inferior del mismo biorreactor 1 a lo largo de la línea II-II en la Figura 1. Como se puede apreciar a partir de las figuras, el biorreactor 1 presenta una carcasa 2, que presenta dos paredes laterales 3 opuestas entre sí, dos paredes laterales 4 opuestas entre sí y dos paredes frontales 5a y 5b opuestas entre sí, las cuales están formadas en cada caso de un material permeable a la luz. Al mismo tiempo las paredes laterales 3 forman las superficies laterales extendidas de la carcasa 2 en forma de placa, es decir la superficie de estas paredes laterales 3 es mucho mayor que la superficie de las paredes 4, 5a y 5b restantes, de manera que la carcasa presenta un aspecto plano. En el contexto de la presente solicitud determina la extensión que se puede apreciar en la Figura 1 de las paredes laterales 4 la longitud de la carcasa 2 y de la cámara de reactor 6, la extensión que se puede apreciar en la Figura 1 de las paredes frontales 5a, 5b determina la anchura de la carcasa 2 y de la cámara de reactor 6, y la extensión que se puede apreciar en la Figura 2 de las paredes laterales 4 y de la pared frontal 5a determina la altura o el grosor de la carcasa 2 y de la cámara de reactor 6. Durante el funcionamiento el biorreactor 1 se dispone de tal manera que la pared frontal 5a forma el lado inferior del biorreactor 1 y la pared frontal 5b el lado superior del biorreactor 1, pudiendo variar el ángulo de inclinación de la carcasa 2 sin embargo entre aproximadamente 0° y 90°.

Las paredes 3, 4, 5a y 5b rodean una cámara de reactor, prevista en la carcasa 2, que presenta en correspondencia asimismo una estructuración plana. En la cámara de reactor 6 están dispuestas, en una sección 7 inferior, distanciados de la pared frontal 5a, a distancias regulares, cinco paredes intermedias 8 idénticas, las cuales discurren paralelas entre sí y con respecto a las paredes laterales 4. Como se puede apreciar en la Figura 2, cada pared intermedia 8 se extiende entre las paredes laterales 3 grandes o extendidas opuestas, de manera que la cámara de reactor 6 está subdividida, en la zona de las paredes intermedias 8, en seis cámaras o canales 9. La distancia entre paredes intermedias 8 contiguas y la distancia de las paredes intermedias 8 más exteriores con respecto a la pared lateral 4 contigua es en cada caso de por lo menos 5 cm. En cada pared intermedia 8 están formadas al mismo tiempo, preferentemente a lo largo de su longitud, varias aberturas o perforaciones pasantes 10, a través de las cuales están en conexión entre sí canales 9 contiguos. Las aberturas 9 están formadas, preferentemente, en una zona de las paredes intermedias 8, que es contigua a una de las paredes laterales 3 extendidas.

En el espacio intermedio entre la pared frontal 5a y los extremos orientados hacia ella de las paredes intermedias 8 están fijadas, dentro de la cámara de reactor 6, dos mangueras o tubos 11 y 12 los cuales están provistos, en cada caso, de dos conexiones 13 o una conexión 14 que conducen hacia fuera a través de una pared lateral 3, mediante las cuales o la cual se puede introducir gas en las mangueras o tubos 11 y 12. La previsión de dos conexiones 13 tiene, en especial para presiones bajas, la ventaja de que en la totalidad de la manguera o del tubo reinan relaciones de presión uniformes.

En la manguera o el tubo 11 está formada, debajo de cada segundo canal 9, una ranura a través de la cual puede entrar, desde la manguera o el tubo 11, gas en el canal 9 correspondiente. Las ranuras pueden presentar, por ejemplo, una longitud de 20 mm y una anchura de 0,5 mm. De manera alternativa a las ranuras 15 pueden estar previstos también en cada caso dos perforaciones, dispuestas estrechamente una junto a otra, con en cada caso un diámetro de 2 mm. Para un grosor típico de la cámara de reactor 6, es decir una distancia de las superficies interiores de las paredes laterales 3, de 1,5 a 5 cm, el diámetro de la manguera o del tubo 11 no debería medir más de un tercio del grosor de la cámara de reactor 6 y podría, por ejemplo, presentar un diámetro exterior de 6 mm y un diámetro interior de 1,5 mm.

La manguera o el tubo 12 está formada porosa, de manera que al bombear gas al interior a través de la conexión 14 sale gas, en forma de finas burbujas de gas, de la manguera o del tubo 12.

En la sección 16 de la cámara de reactor 6, que se extiende desde la pared frontal 5b hasta los extremos, opuestos a la pared frontal 5a, de las paredes intermedias 8 hasta los canales 9, está dispuesto un cierto número de apoyos 17 en forma de columna, los cuales conectan en cada caso las paredes laterales 4 opuestas entre sí y las apoyan una contra otra. Estos apoyos 17 sirven, junto con las paredes intermedias 8, para la estabilización mecánica de la carcasa 2.

En una de las paredes laterales 3 está prevista, además, una conexión 18, a través de la cual se puede introducir líquido en la cámara de reactor 6, y en la pared frontal 5b está prevista una conexión 19, a través de la cual se puede descargar gas y líquido de la cámara de reactor 6.

Durante el funcionamiento la cámara de reactor 6 es llenada, a través de la conexión 18, con medio de cultivo líquido y organismos fototrópicos, y ello hasta un nivel de llenado justo por debajo de la pared frontal 5b. Cuando la cámara de reactor 6 está llena se bombea gas, preferentemente periódicamente y por golpes, de la manera a través de las conexiones 13 al interior de la manguera o del tubo 11, el cual sale en forma de grandes burbujas de gas unidas de las ranuras 15, que recorren entonces, en cada segundo canal 9 en dirección hacia la pared frontal 5b, el medio de cultivo (ver también la Figura 3) y que presenta, perpendicularmente con respecto a la dirección de extensión de las paredes intermedias 8, preferentemente un diámetro el cual corresponde o corresponde aproximadamente a la anchura de los canales 9. Al mismo tiempo se bombea CO<sub>2</sub> a través de la conexión 14 al interior de la manguera o del tubo 11 y aparece en forma de burbujitas de gas pequeñas en el medio de cultivo.

Mediante las burbujas de gas 20 grandes, que ascienden en cada segundo canal 9, se genera en el interior de la cámara de reactor 6 un modelo de corriente especial, que está representado de manera esquemática en la Figura 3. Las burbujas de gas 20 ascendentes generan, debido al principio de Airlift, hidrostáticamente una corriente de líquido 21 en los canales 9 correspondientes hacia arriba en dirección hacia la pared frontal 5b y la sección de cámara de reactor 16. A causa de esta corriente 21 y de las burbujas de aire 20 se forma, en los canales 9 restantes, una corriente de líquido 22 hacia abajo en dirección hacia la pared frontal 5a. La corriente de líquido 21 no solo arrastra consigo líquido desde los extremos inferiores de los canales 9 (flechas 23 en la Figura 3) sino también, a través de las aberturas 10 en las paredes intermedias 8, de los canales 9 no gaseados (flechas 24 en la Figura 3). La sección de cámara de reactor 7, la cual alcanza desde la pared frontal 5a hasta el extremo opuesto a ésta de las paredes intermedias 8 o de los canales 9, forma de acuerdo con esto una sección de la conducción de la corriente, en la cual, a causa de la disposición de las paredes intermedias 8, se forma una corriente fuerte, conducida a través de los canales 9.

Debido a la alta velocidad de circulación alcanzada en la sección de la conducción de la corriente 7, por las corrientes de líquido que pueden ascender o descender alternativamente en la anchura de la cámara de reactor y las burbujas de gas 20 que continúan ascendiendo, puede tener lugar en la totalidad de la sección de cámara de reactor 16 una mezcla turbulenta tridimensional tan fuerte que los organismos que se encuentran allí experimentan, de manera ventajosa, un ciclo luz-oscuridad con una duración temporal de unos pocos milisegundos.

**REIVINDICACIONES**

1. Biorreactor para el cultivo de organismos fototrópicos en una cámara de reactor con:

5 una carcasa (2) permeable a la luz en forma de paralelepípedo y placa, en cuyo interior está dispuesta la cámara de reactor (6), presentando la carcasa (2) dos paredes laterales (3) opuestas mayores, que forman superficies exteriores extendidas de la carcasa (2) en forma de placa, dos paredes laterales (4) menores opuestas y dos paredes frontales (5a, 5b) opuestas, que delimitan la cámara de reactor (6), y determinando la distancia entre las paredes laterales (4) menores la anchura de la cámara de reactor (6), la distancia entre las paredes frontales (5a, 5b) determina la longitud de la cámara de reactor (6) y la distancia entre las paredes laterales (3) mayores determina el grosor de la cámara de reactor (6),

15 una pluralidad de paredes intermedias (8), que están dispuestas paralelas a las paredes laterales (4) menores y paralelas entre sí en las proximidades de una primera (5a) de las dos paredes frontales (5a, 5b) y separadas de la primera pared frontal (5a) y que se extienden a lo largo de la totalidad del grosor de la cámara de reactor (6) y a lo largo de una parte de la longitud de la cámara de reactor (6), de manera que una sección de conducción de la corriente (7) de la cámara de reactor (6) se forma con una pluralidad de canales de conducción de la corriente (9), de los que cada uno se encuentra entre dos paredes intermedias (8) contiguas o entre una de las paredes laterales (4) menores y una pared intermedia (8) contigua, y que está prevista, entre los extremos de las paredes intermedias (8) alejados de la primera pared frontal (5a) y la segunda (5b) de las dos paredes frontales (5a, 5b), una sección de mezcla (16) libre de la cámara de reactor (6), y

25 un dispositivo de suministro de gas para la introducción de gas en cada segundo canal de conducción de la corriente (9) en las proximidades de la primera pared frontal (5a),

caracterizado porque la sección de mezcla (16) se extiende a lo largo de por lo menos 50% de la longitud de la cámara de reactor (6) y los canales de conducción de la corriente (9) presentan una anchura de por lo menos 5 cm.

30 2. Biorreactor según la reivindicación 1, en el que el grosor de la cámara de reactor (6) es de 1,5 a 5 cm.

3. Biorreactor según la reivindicación 2, en el que el grosor de la cámara de reactor (6) es de por lo menos 2,0 a 3,0 cm.

35 4. Biorreactor según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la anchura de los canales de conducción de la corriente (9) es de por lo menos 15 cm.

40 5. Biorreactor según una de las reivindicaciones anteriores, en el que a lo largo de la longitud de las paredes intermedias (8) está prevista en las mismas una determinada cantidad de aberturas separadas entre sí, a cuyo través puede tener lugar un intercambio de líquido entre los canales de conducción de la corriente (9) contiguos.

45 6. Biorreactor según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el dispositivo de suministro de gas presenta uno o varios tubos (11), que discurren en la cámara de reactor (6) entre la primera pared frontal (5a) y los extremos, orientados hacia ésta de las paredes intermedias (8) y presentan perforaciones o ranuras (10), a cuyo través se suministra gas a los canales de conducción de la corriente (9) correspondientes.

50 7. Biorreactor según la reivindicación 6, en el que el dispositivo de suministro de gas está adaptado para introducir, con la cámara de reactor (6) llena con el medio de cultivo líquido y los organismos fototrópicos, gas en forma de burbujas de gas individuales (20) en los canales de conducción de la corriente (9) correspondientes, presentando las burbujas de gas (20) un diámetro grande de por lo menos 3 cm.

55 8. Biorreactor según la reivindicación 6 ó 7, en el que el dispositivo de suministro de gas está adaptado para introducir el gas por golpes en los canales de conducción de la corriente (9) correspondientes, de manera que únicamente entonces se genera una nueva burbuja de gas (20), cuando la burbuja de gas (20) precedente ha atravesado completamente el medio de cultivo en la cámara de reactor (6).

9. Biorreactor según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la longitud de la cámara de reactor (6) es mayor que su anchura.

60 10. Biorreactor según una de las reivindicaciones anteriores, en el que en la sección de mezcla (16) está dispuesta una pluralidad de columnas (17) separadas entre sí, que conectan entre sí cada una de ellas las dos paredes laterales (3) grandes de la carcasa (2) y están formadas cada una de ellas de tal manera que se estrechan en dirección hacia por lo menos uno de sus dos extremos.

65 11. Procedimiento para el cultivo de organismos fototrópicos en un biorreactor según una de las reivindicaciones anteriores, que presenta las etapas siguientes:

la introducción de un medio de cultivo líquido en la cámara de reactor (6) de un biorreactor (1) según una de las reivindicaciones anteriores,

5 la introducción de los organismos fototrópicos en la cámara de reactor (6), la irradiación de una pared lateral (3) grande de la carcasa (2) del biorreactor (1) con luz, y

la introducción de gas en cada segundo canal de conducción de la corriente (9) con la ayuda del dispositivo de suministro de gas, siendo introducido el gas en forma de burbujas (20) individuales, cuyo diámetro grande es de por lo menos 3 cm.

10 12. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que el gas es introducido de tal manera con la ayuda del dispositivo de suministro de gas, que la velocidad de las burbujas de gas (20) que atraviesan el medio de cultivo en los canales de conducción de la corriente (9) es de por lo menos 0,5 m/seg.

15 13. Procedimiento según la reivindicación 11 ó 12, en el que el gas es introducido a través de una pared frontal (5a) con una relación del caudal con respecto a la superficie de la pared frontal, a través de la que es introducido el gas, de por lo menos 0,02 m/seg.

20 14. Procedimiento según una de las reivindicaciones 11 a 13, en el que el gas es introducido por golpes en los canales de conducción de la corriente (9) correspondientes, de manera que únicamente entonces se genera una nueva burbuja de gas (20), cuando la burbuja de gas (20) anterior ha atravesado completamente el medio de cultivo en la cámara de reactor (6).

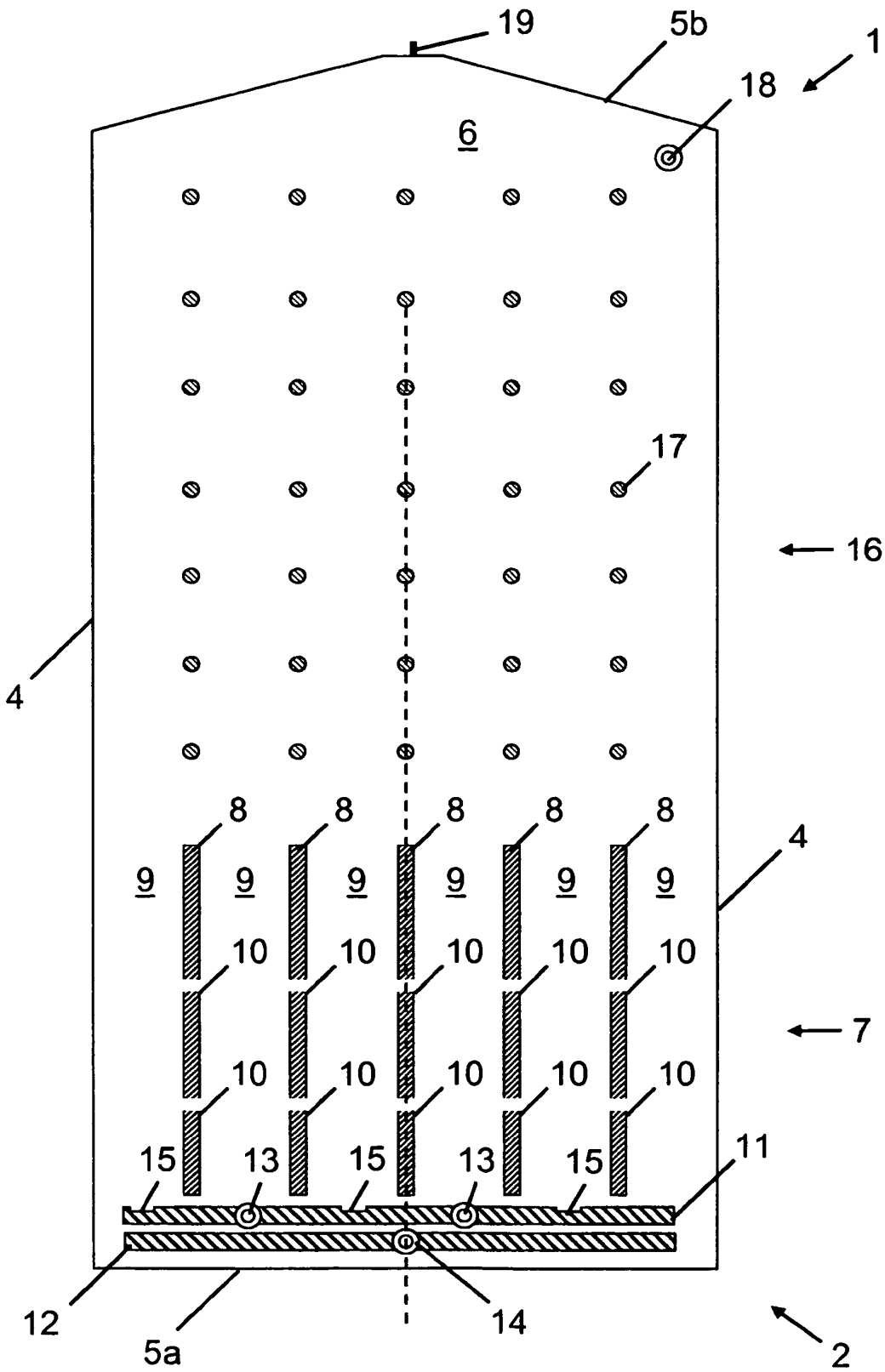


Figura 1

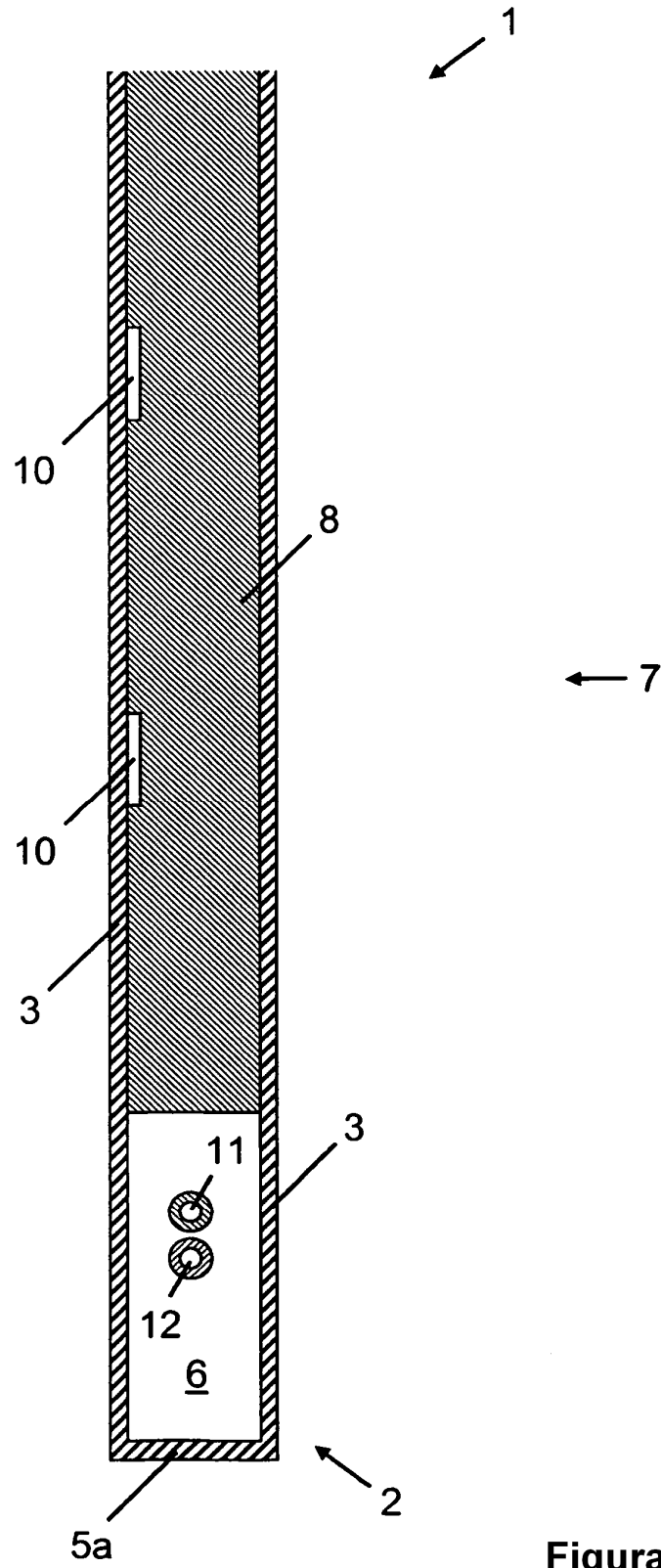


Figura 2

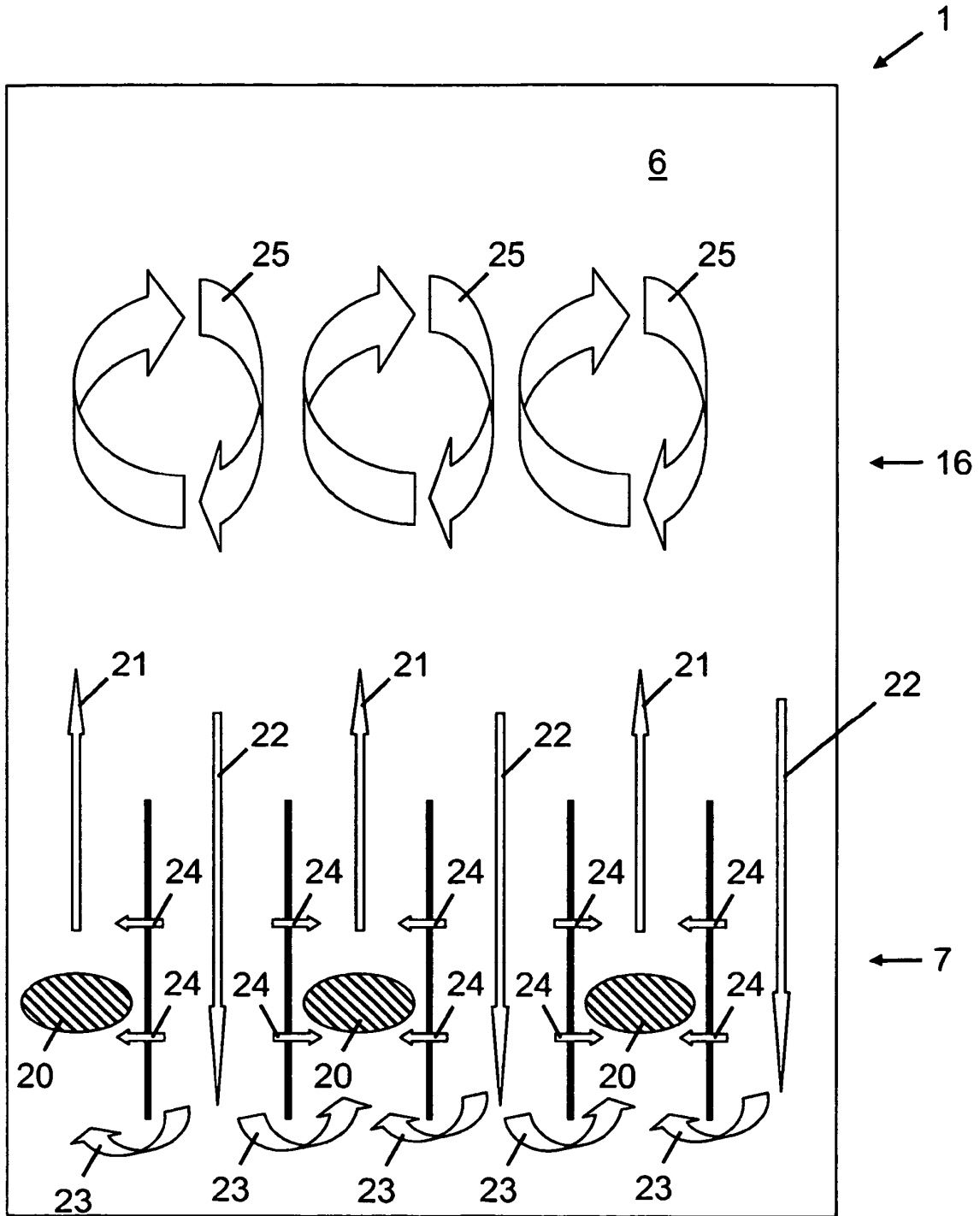


Figura 3