

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 674 898**

51 Int. Cl.:

C12M 1/00 (2006.01)

C12M 1/12 (2006.01)

C12N 1/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.03.2010 PCT/FR2010/050395**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.09.2010 WO10109108**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.03.2010 E 10714930 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.03.2018 EP 2411500**

54 Título: **Procedimiento para el cultivo de microorganismos fotosintéticos**

30 Prioridad:

25.03.2009 FR 0951917

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

04.07.2018

73 Titular/es:

**MICROPHYT (100.0%)
713 Route de Mudaison
34670 Baillargues, FR**

72 Inventor/es:

MULLER-FEUGA, ARNAUD

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 674 898 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).

DESCRIPCION

Procedimiento para el cultivo de microorganismos fotosintéticos

La presente invención se refiere a un procedimiento de cultivo de microorganismos fotosintéticos que utiliza un reactor.

5 El procedimiento se realiza en un reactor fotosintético que comprende:

- al menos una canalización de reacción fotosintética por la cual circula el medio de cultivo líquido y que está provista de al menos un tramo de reacción sustancialmente horizontal y realizado al menos parcialmente en un material transparente a la radiación solar, presentando la indicada canalización un extremo bajo situado en la parte baja del reactor y un extremo alto situado en la parte alta del reactor por encima del extremo bajo;
- 10 - al menos una canalización de retorno que asegura la conexión fluídica entre el extremo bajo y el extremo alto de la canalización de reacción; y
- al menos un medio de puesta en circulación del medio de cultivo líquido.

15 La presente invención se aplica en el cultivo de cualquier organismo fotosintético, es decir de cualquier forma de vida susceptible de desarrollo y de fotosíntesis en un medio de cultivo nutritivo adecuado, en presencia de radiación solar y de gas rico en carbono, tal como dióxido de carbono.

20 Entre los microorganismos fotosintéticos considerados por la invención figuran más particularmente los vegetales acuáticos como por ejemplo las microalgas, los protonemas de espuma, las pequeñas macroalgas y las células aisladas de plantas multicelulares. Estos vegetales acuáticos presentan propiedades interesantes en los ámbitos particularmente de la farmacia, de la nutrición humana y animal, de la dermocosmetología, de la energía y del medio ambiente.

25 Como para la mayoría de los microorganismos fotosintéticos, el acceso a este recurso consiste esencialmente en el cultivo asistido en reactores adaptados. La luz al ser su principal substrato, el medio de cultivo debe presentar una interfaz óptica que reciba un flujo de luz. La dificultad de cultivar microorganismos fotosintéticos se debe al hecho de que constituyen por sí mismos obstáculos para el paso de la luz que es su principal substrato. El crecimiento del cultivo se estabilizará por consiguiente cuando la luz no penetre ya en el espesor del cultivo. Este fenómeno se denomina auto-sombreado.

La longitud del paso óptico, o «light path length», permite caracterizar los diferentes modos de confinamiento, y se define como siendo:

- 30 - la longitud del recorrido de la luz desde su entrada en el cultivo mediante una interfaz óptica transparente hasta una pared opaca opuesta; o
- la mitad de la distancia que separa las dos interfaces ópticas transparentes cuando el confinamiento recibe la luz por dos interfaces ópticas transparentes opuestas.

35 Esta longitud del paso óptico varía entre algunos centímetros y algunos decímetros y determina en lo esencial la producción de biomasa por unidad de tiempo y de superficie óptica (productividad superficial en $g/m^2/j$) y la concentración del cultivo (en g/L) en la fase final de crecimiento. Los diferentes modos de confinamiento que son utilizados para asegurar el cultivo de pequeños vegetales acuáticos pueden así ser clasificados en función de esta longitud característica.

40 La reacción de fotosíntesis va igualmente acompañada de un consumo de gas carbónico (CO_2) y de una producción de oxígeno (O_2). El exceso de oxígeno inhibe la reacción, mientras que la ausencia de gas carbónico la interrumpe por falta de substrato a transformar. Una interfaz gas/líquido debe por consiguiente ser prevista para las transferencias de masa entre estos gases y la fase líquida. Con el fin de favorecer estos intercambios y evitar las heterogeneidades, el cultivo debe ser la sede de una mezcla destinada para renovar los organismos a nivel de la interfaz óptica anteriormente mencionada e igualmente a nivel de esta interfaz gas/líquido.

45 Un primer modo de realización conocido de reactor fotosintético consiste en un recipiente abierto de tipo estanque o depósito donde el cultivo se mantiene por gravedad y presenta una superficie libre que realiza por sí sola la interfaz óptica y la interfaz líquido/gas. El cultivo se mezcla en el interior del estanque por uno o varios dispositivos mecánicos de removido, por ejemplo del tipo de rueda de aletas. Los cultivos en estanque así realizados pueden cubrir superficies importantes y esta forma de realización constituye el origen de lo esencial de la producción mundial actual de microalgas, que alcanza varios millares de toneladas de peso en seco. Los organismos fotosintéticos producidos por este tipo de reactor son esencialmente:

50

- algas llamadas extremófilas cuyos medios son hostiles a los predadores y a los competidores, como por ejemplo las algas del tipo espirulina o Dunaliella; o
- algas llamadas dominantes que soportan las sollicitaciones mecánicas o las contaminaciones mejor que las otras, como por ejemplo las algas del tipo Chlorella, Scenedesmus, Skeletonema, Odontella o Nannochloropsis.

Un segundo modo de realización conocido de reactor fotosintético consiste igualmente en un recipiente abierto tipo depósito o estanque pero cuyas dimensiones son inferiores a las de los estanques del primer modo de realización conocido. Estos recipientes presentan generalmente paredes laterales transparentes a la radiación solar, de forma que la interfaz óptica está constituida a la vez por la superficie libre del medio líquido y por las paredes laterales transparentes.

En este segundo modo de realización, es normal recurrir a una inyección de aire realizada por la parte baja del depósito que conduce a la formación de burbujas de aire que suben en el líquido hasta la superficie libre. La superficie de las burbujas así formadas constituye la interfaz gas/líquido. Al subir a la superficie, las burbujas arrastran el cultivo hacia lo alto, creando así movimientos convectivos que pueden extenderse a todo el volumen. A veces se añade dióxido de carbono (CO₂) al aire inyectado para aportar un aumento de carbono según una fracción molar predefinida de algunos porcentajes.

De volumen inferior al de los estanques del primer modo de realización, los depósitos del segundo modo de realización conocido están adaptados a los cultivos más controlados, en particular a los cultivos de microalgas destinadas para la nutrición de las larvas de moluscos o de presas vivas de larvas de pescados en acuacultivo. La limpieza frecuente de estos depósitos así como inoculaciones puras y masivas permiten limitar las contaminaciones en el interior del depósito. En número de varias decenas de especies las microalgas así cultivadas presentan necesidades en temperatura y en luz relativamente parecidas que hacen posible su cultivo en locales comunes.

Estos dos modos de realización bajo la forma de un recipiente abierto ofrecen una longitud de paso óptico de uno a varios decímetros.

Un tercer modo de realización conocido de reactor fotosintético consiste en un reactor cerrado llamado fotobiorreactor y que comprende un bucle cerrado por el interior del cual circula el medio de cultivo líquido, comprendiendo el indicado bucle cerrado una canalización de reacción provista de tramos de reacción realizados en un material transparente a la radiación luminosa (o a la luz), y una canalización de retorno que asegura la conexión entre los dos extremos opuestos de la canalización de reacción.

Los fotobiorreactores, descritos particularmente en los documentos GB 2 118 572A, ES 2 193 860 A1, GB 2 331 762 A, ES 2 150 369 A1, FR 2 685 344 A1 y FR 2 875 511 A3 ofrecen longitudes de paso óptico sustancialmente más pequeñas, del orden de uno a varios centímetros, con relación a los modos de realización con recipiente abierto, y permiten alcanzar concentraciones en organismos fotosintéticos de varios gramos por litro protegidas de las contaminaciones aéreas. La canalización de reacción de los fotobiorreactores consiste generalmente en placas o tubos transparentes, de cristal o de materia plástica, de espesor o de diámetro del orden del centímetro, que están conectados extremo con extremo mediante codos para formar juntos una canalización en forma de serpentín.

La canalización de retorno comprende un tubo vertical llamado ascendente, por el cual sube el medio líquido, y un tubo vertical descendente por el cual baja el medio líquido bajo el efecto de la gravedad.

El sistema de inyección de gas generalmente utilizado en los fotobiorreactores consiste en un gasosifón, llamado «gas-lift» o dispositivo elevador de gas, es decir en una inyección de gas por la base del tubo vertical ascendente de la canalización de retorno; la indicada inyección de gas que sirve a la vez para poner en circulación o desplazar el medio de reacción líquido y para realizar los intercambios gas-líquido. El gasosifón comprende en la parte alta un depósito de carga o volumen ampliado en el cual las velocidades de circulación más bajas permiten la separación gas-líquido, y el tubo vertical descendente de la canalización de retorno desemboca en el fondo del depósito de carga para alimentar con líquido la canalización de reacción.

Los fotobiorreactores anteriormente mencionados aplican el principio según el cual la reacción solo tiene lugar en la fase líquida, dicho de otro modo, estos fotobiorreactores buscan minimizar el volumen de gas inyectado en el reactor para no disminuir otro tanto el volumen del medio de cultivo líquido, en un deseo de no hacer que disminuya la producción. Así, en estos fotobiorreactores, la extracción de oxígeno se realiza por medio del tubo ascendente vertical definido anteriormente; el indicado tubo ascendente vertical que forma una columna de burbujas de aire que desembocan en el depósito de carga que recibe el medio de cultivo líquido, y que comprende una inyección de gas por la parte baja, convenientemente aire enriquecido con CO₂. Como se ha descrito anteriormente, las dos funciones de circulación y de transferencia gaseosa se confunden en el seno de este único dispositivo, llamado gasosifón, que crea una circulación vertical ascendente por intercambio de cantidad de movimiento entre la masa líquida y las burbujas de gas resultantes de la inyección. El oxígeno fotosintético en sobresaturación en el líquido pasa a la fase gaseosa por barrido con aire, mientras que el CO₂ pasa en solución. Estas funciones de desgasificado y de carbonatación son indispensables e intervienen simultáneamente a nivel de este único dispositivo.

Los gasosifones presentan el inconveniente de generar burbujas de gas que suben por el tubo ascendente vertical de la canalización de retorno de los fotobiorreactores. La Firma solicitante ha observado en efecto el papel deletéreo de estas burbujas para el cultivo de microorganismos en los fotobiorreactores:

- 5
- por una parte, las burbujas solicitan mecánicamente las microalgas y pueden dañar a los microorganismos frágiles; y
 - por otra parte, las burbujas captan por efecto tensioactivo las moléculas que presentan propiedades surfactantes, y particularmente las moléculas orgánicas, restos celulares y los productos de excreción de las células vivas.

10 Estas sustancias, normalmente dispersadas en el medio en ausencia de burbujas, se juntan así en forma de agregados en la superficie libre del depósito de carga cuando las burbujas explotan. Las bacterias y hongos que no podrían desarrollarse debido a la fuerte dilución de estas moléculas orgánicas encuentran entonces substratos concentrados favorables para su desarrollo.

Uno de los fines de la presente invención es evitar, o al menos limitar, la formación de burbujas para:

- 15
- contener el desarrollo bacteriano y fúngico, por ejemplo para que sea compatible con las normas sanitarias clásicamente impuestas en el cultivo de microorganismos; y para
 - limitar las sollicitaciones mecánicas en el medio de cultivo líquido, y permitir así el cultivo de ciertos microorganismos frágiles que estaban hasta ahora excluidos de este tipo de cultivo en reactor.

20 En una realización alternativa al gasosifón, la desoxigenación del medio de cultivo líquido que circula por el fotobiorreactor se obtiene haciendo caer por gravedad el medio líquido en un recipiente a nivel constante. El medio de cultivo líquido es aquí puesto en circulación por un medio de bombeo, particularmente del tipo de bomba centrífuga, dispuesto en la canalización de reacción concebido para no solamente compensar las pérdidas de carga en la canalización sino también para elevar el cultivo por la altura de la caída.

25 Aunque genera menos burbujas, este dispositivo con bomba centrífuga es también mecánicamente perjudicial para los microorganismos y para el gasosifón. En efecto, para vencer las pérdidas de carga, se produce una generación en cada paso en ángulos rectos a los medios de bombeo, de fuerzas mecánicas que pueden contrariar el crecimiento de los microorganismos y provocar mortalidades en el seno del cultivo. Los rendimientos de producción se encuentran por ello entonces alterados, a veces de forma redhibitoria.

30 Por ejemplo, se ha comprobado que no es posible cultivar algunas microalgas llamadas frágiles en fotobiorreactores que comprenden bombas centrífugas para hacer circular el cultivo. Estas microalgas frágiles parecen tanto más sensibles a las sollicitaciones mecánicas que forman cadenas y/o que presentan apéndices sedas, flagelos, y espículas. Algunas microalgas, como por ejemplo las algas del tipo *Haematococcus pluvialis*, pierden sus flagelos y se enquistan formando una pared celular densa y resistente. Por el contrario, otras microalgas, como por ejemplo las algas del tipo *Chlorella vulgaris* o *Nannochloropsis oculata*, no presentan apéndice y tienen una pared celular densa, de forma que éstas resistan al paso por los medios de bombeo, y particularmente por las bombas centrífugas.

35 Sin embargo, resulta difícil identificar la naturaleza de las sollicitaciones mecánicas que influyen en la supervivencia y el crecimiento de los microorganismos. La mayoría de los autores están de acuerdo para indicar que los cizallamientos y las aceleraciones tienen la mayor influencia. Los cizallamientos crean tensiones que pueden alterar la integridad celular con desgarre de la pared de los microorganismos y derramamiento del citosol. Las aceleraciones alteran la estructura de la célula por aumento del campo de gravedad.

40 Las células vivas están mal preparadas para estas fuerzas, y puede ser aún más las células acuáticas que viven en equilibrio hidrostático y que no han desarrollado la estructura capaz de vencer un campo de gravedad. Además, las células acuáticas son sensibles a valores de umbral y probablemente también a las variaciones y al tiempo de exposición. En el estado actual de los conocimientos, resulta difícil predecir los efectos mecánicos de las condiciones hidrodinámicas impuestas a las células.

45 Uno de los objetos de la presente invención es reducir los efectos mecánicos impuestos a los microorganismos, particularmente los efectos del tipo cizallamiento y aceleración, con el fin de ampliar el número de especies cultivables en el interior del reactor con las que son más sensibles a estos efectos mecánicos perjudiciales, dicho de otro modo ofrecer un reactor que permita el cultivo de microorganismos frágiles, como por ejemplo las microalgas frágiles citadas anteriormente.

50 Además, la Firma solicitante ha observado que el rendimiento en cultivo de los fotobiorreactores equipados con gasosifón o bomba centrífuga estaba limitado debido particularmente a la formación de burbujas. En efecto, la Firma solicitante ha concluido que el rendimiento en cultivo depende en parte de los fenómenos implicados en la transferencia de gas-líquido para evitar las pérdidas y reducir esta importante partida de gastos. La modelización de la transferencia de gas-líquido del dióxido de carbono destinado para la reacción y el oxígeno que produce necesita la determinación de la velocidad de transferencia que es función del coeficiente de transferencia superficial.

55

El coeficiente de transferencia superficial es un parámetro clave que traduce los rendimientos de un sistema de intercambio de gas/líquido en estado estable. Este coeficiente de transferencia superficial es igual al producto del coeficiente volumétrico de transferencia de materia hacia el líquido « K_L » ($m \cdot s^{-1}$) y del área interfacial relacionada con el volumen « a » (m^{-1}), donde:

5
$$a = (\alpha_G \cdot S)/V$$

a: Área interfacial relacionada con el volumen (m^{-1});

α_G : coeficiente de retención de fase;

S: Superficie de contacto (m^2); y

V: Volumen del reactor (m^3).

10 El coeficiente de transferencia superficial depende por consiguiente de la geometría del sistema de intercambio de gas/líquido pero también de las propiedades fisicoquímicas del líquido y del gas. En el caso de un intercambio de gas/líquido en el seno de una columna de burbujas vertical, la superficie de intercambio depende del número de burbujas y de su tamaño. La población de burbujas generada por una inyección de gas en un líquido depende del caudal de inyección, de la geometría del inyector, y de la diferencia de presión a uno y otro lado de éste.

15 La presente invención tiene particularmente por objeto proporcionar un procedimiento que permita el cultivo de masa de microorganismos fotosintéticos, y su extensión a las especies más frágiles, con un reactor que responda a las problemáticas siguientes:

- 20 - reducir incluso evitar las sollicitaciones mecánicas relacionadas en general con la agitación y con la puesta en circulación del medio de cultivo y que disminuyen los rendimientos de supervivencia y de crecimiento de los microorganismos fotosintéticos tales como las microalgas, y más particularmente las microalgas en cadenas provistas de apéndices;
- reducir incluso evitar la producción de burbujas de pequeñas dimensiones susceptibles de favorecer la agregación de las moléculas orgánicas y el desarrollo de los microorganismos heterótrofos para que sirvan de sustrato;
- 25 - al realizar la transferencia fotónica, para proporcionar la radiación solar a los microorganismos fotosintéticos, la transferencia de masa o transferencia de gas/líquido indispensable para aportar el carbono y evacuar el oxígeno, y la transferencia térmica, para evacuar las calorías aportadas por la radiación y mantener el cultivo a la temperatura correcta; y
- 30 - al mantener las condiciones mecánicas que preservan la integridad de las células y evitan los intercambios con el medio ambiente natural prestándose a las contaminaciones y a las diseminaciones.

A este respecto, el procedimiento utiliza un reactor fotosintético adaptado para el cultivo de microorganismos fotosintéticos, particularmente de algas, que comprende:

- 35 - al menos una canalización de reacción fotosintética por la cual circula el medio de cultivo líquido y que está provista de al menos un tramo de reacción sustancialmente horizontal y realizado al menos parcialmente en un material transparente a la radiación luminosa, presentando la indicada canalización un extremo bajo situado en la parte baja del reactor y un extremo alto situado en la parte alta del reactor por encima del extremo bajo;
 - al menos una canalización de retorno que asegura la conexión fluidica entre el extremo bajo y el extremo alto de la canalización de reacción;
 - 40 - al menos un medio de puesta en circulación del medio de cultivo líquido;
 - al menos un medio de inyección de gas situado en el tramo de reacción o río arriba de dicho tramo de reacción con relación al sentido de circulación del gas, permitiendo el indicado medio de inyección de gas inyectar gas en el reactor; y
 - 45 - al menos un medio de escape situado en la parte alta del reactor y que permite el escape del gas inyectado en el reactor;
- en el cual la disposición del medio de inyección de gas y/o la conformación de la canalización de reacción o de la canalización de retorno están concebidas para que el gas inyectado por el medio de inyección suba hasta el medio de escape circulando por la canalización de reacción, en un sentido de circulación que va desde el extremo bajo hasta el extremo alto de la canalización de reacción, de forma que el gas inyectado y el medio de cultivo líquido establezcan una circulación bifásica gas/líquido en el tramo de reacción sustancialmente horizontal.
- 50

5 Con este reactor, el medio de cultivo líquido y el gas circulan simultáneamente en contacto uno con el otro a lo largo del tramo de reacción sustancialmente horizontal y transparente, e intercambian algunos componentes a lo largo de su recorrido común. El gas inyectado en el punto bajo se escapa por el punto alto del reactor mientras que el líquido circula según un bucle bajo el impulso de uno o varios medios de puesta en circulación. Los intercambios son proporcionales a la longitud del o de los tramos transparentes, si bien el efecto de ésta es reducido, lo cual permite considerar grandes incrementos en escala.

10 El reactor está así especialmente concebido para aumentar la eficacia de la transferencia de gas-líquido y para disminuir las sollicitaciones mecánicas infligidas a los organismos en cultivo con el fin de extender la producción a las especies frágiles. Además, el reactor permite limitar la formación de burbujas de pequeño diámetro y reducir así el desarrollo de microorganismos heterótrofos consumidores de oxígeno. En efecto, con el reactor, la transferencia de gas/líquido ya no se realiza en el interior de una columna de burbujas vertical sino a lo largo de un tramo de canalización sustancialmente horizontal en el cual la circulación sigue un régimen del tipo bifásico horizontal.

15 Así, el reactor permite obtener intercambios de gas-líquido a través de una interfaz formada a nivel de la superficie libre del líquido en la canalización de reacción y más particularmente en el o los tramos de reacción sustancialmente horizontales en los cuales la circulación del gas y del líquido se establece sustancialmente horizontalmente según un régimen de circulación bifásico de gas/líquido del tipo de circulación estratificada o circulación con bolsas o con burbujas alargadas.

20 Contrariamente al principio mencionado anteriormente según el cual la reacción solo tiene lugar en la fase líquida, la Firma solicitante parte del principio según el cual el gas forma parte integrante de la reacción y debe ser admitido en el volumen de reacción al igual que el líquido. Al privilegiar regímenes de circulación bifásicos horizontales (estratificado, con bolsas o con burbujas alargadas), la superficie de intercambio entre el gas y el líquido se extiende a la totalidad del recorrido en la canalización de reacción (dicho de otro modo a lo largo de cada tramo de reacción sustancialmente horizontal) con una producción de burbujas claramente menos abundantes que en el caso de los reactores de la técnica anterior, reduciendo por este hecho el efecto deletéreo observado para estas burbujas.

25 Además, en el reactor, la puesta en circulación del medio de cultivo líquido está asegurada por uno o varios medios de puesta en circulación que generan fuerzas de cizallamiento y centrífugas reducidas: la función de puesta en circulación está dissociada de la del intercambio de gas-líquido contrariamente al caso de los reactores con gasosifón.

30 Según una característica, el reactor comprende al menos un medio de inyección de líquido que permite inyectar líquido en el reactor, estando el medio de escape conformado para permitir el escape del volumen de líquido excedente en el reactor al mismo tiempo que el escape del gas inyectado. Esto permite así renovar el medio líquido y asegurar un escape de volumen líquido sobrante, además del volumen gaseoso inyectado.

35 En una primera realización, el medio de puesta en circulación está dispuesto en la canalización de retorno para poner en circulación el medio de cultivo líquido en la canalización de reacción del extremo bajo hasta el extremo alto de la indicada canalización de reacción, en el mismo sentido de circulación que el gas inyectado. En esta realización, el gas y el líquido circulan en el mismo sentido en el interior de la canalización de reacción y se habla de un modo de circulación a co-corriente. Con el modo a co-corriente, los fluidos (gas y líquido) van en el mismo sentido y su contacto dura algunos segundos antes de ser separados debido a las diferencias de velocidad. La circulación a co-corriente del gas y del líquido crea una superficie de intercambio proporcional a la longitud de la canalización de reacción, lo cual hace posible los aumentos del tamaño de ésta sin tener que multiplicar el número de aparatos de desgasificado y de carbonatación.

45 En una segunda realización, el medio de puesta en circulación está situado en la canalización de retorno para poner en circulación el medio de cultivo líquido en la canalización de reacción del extremo alto hasta el extremo bajo de la indicada canalización de reacción, en un sentido de circulación opuesto al sentido de circulación del gas inyectado. En esta realización, el gas y el líquido circulan en sentidos opuestos por el interior de la canalización de reacción y se habla de un modo de circulación a contracorriente. La Firma solicitante ha observado así que la circulación a contra-corriente proporciona más rendimiento que la circulación a co-corriente, aunque el recurso al modo de contra-corriente plantea problemas de regulación pues, con el modo a contracorriente, los fluidos se separan inmediatamente para solo encontrarse de nuevo más bien tarde.

50 Según una característica, el medio de inyección de gas está dispuesto en la parte baja del reactor, entre el medio de puesta en circulación y el extremo bajo de la canalización de reacción. En esta configuración, el medio de puesta en circulación tiene tendencia a evacuar el gas en dirección a la canalización de reacción, evitando así la acumulación de gas en la canalización de retorno.

55 Según otra característica, la canalización de retorno presenta un desnivel situado entre el medio de puesta en circulación y el medio de inyección de gas, formando el indicado desnivel una diferencia de niveles entre el medio de puesta en circulación y el medio de inyección de gas para evitar que el gas inyectado por el medio de inyección no se desplace en dirección al medio de puesta en circulación.

En un modo de realización particular, el medio de puesta en circulación es un medio de propulsión mecánica situado en la canalización de retorno.

5 De forma preferencial, el medio de puesta en circulación comprende una hélice accionada en rotación por un motor, y la canalización de retorno presenta un alojamiento de sección ensanchada en el interior del cual la indicada hélice es móvil en rotación.

Ventajosamente, el alojamiento de la hélice está dispuesto entre una zona de divergencia y una zona de convergencia de la circulación del medio de cultivo líquido, con el fin de asegurar, en la canalización de retorno, una continuidad hidráulica sin variación brusca de las velocidades con el fin de limitar las pérdidas de carga, las aceleraciones y las fuerzas de cizallamiento experimentadas por los microorganismos.

10 Según una característica ventajosa, la canalización de retorno presenta en la parte alta una zona amplia, y el medio de escape está situado en la indicada zona amplia de la canalización de retorno, permitiendo así disminuir la velocidad del líquido en la zona amplia donde se realiza el escape del gas y así evitar arrastres de gas hacia abajo por el líquido.

15 Según otra característica, el medio de escape está situado río arriba del medio de puesta en circulación del medio de cultivo líquido con relación al sentido de circulación del gas, con el fin de evitar que el gas circule a través del indicado medio de puesta en circulación y no perjudique su funcionamiento.

En una realización preferida, el reactor comprende al menos un cuerpo de limpieza conformado para circular por el interior de las canalizaciones de reacción y de retorno y para pasar a través del medio de puesta en circulación del medio de cultivo líquido. El o los cuerpos de limpieza permiten así limpiar el interior del reactor.

20 Ventajosamente, el cuerpo de limpieza está conformado para dejar pasar al menos parcialmente el gas que circula por el interior de la canalización de reacción estando adaptado para ser arrastrado por la circulación del medio de cultivo líquido, con el fin de que el cuerpo no influya en la diferencia de velocidades entre el gas y el medio líquido; influyendo la indicada diferencia de velocidades directamente sobre las transferencias de masa entre la fase líquida y la masa gaseosa.

25 Todavía ventajosamente, el cuerpo de limpieza está realizado en forma de un cepillo que comprende un conjunto de pelos, cerdas, hebras o equivalentes, o en forma de una esfera hueca de materia elastómera de la cual al menos una parte de la superficie está perforada con agujeros. Así, los pelos que emergen o los agujeros dejan pasar el gas mientras que la parte sumergida del cuerpo de limpieza constituye un obstáculo para la circulación del medio líquido de modo que pueda ser arrastrado con éste medio líquido.

30 En un modo de realización particular, el reactor comprende:

- una canalización de cortocircuito situada en paralelo a la canalización de retorno y que conecta dos puntos de conexión previstos en el reactor, de los cuales un primer punto de conexión situado en la canalización de reacción y un segundo punto de conexión situado en la canalización de retorno o sobre la canalización de reacción;

35 - dos válvulas situadas a uno y otro lado de dicho primer punto de conexión con una de las válvulas situada en la canalización de cortocircuito; y

- dos válvulas situadas a uno y otro lado de dicho segundo punto de conexión con una de las válvulas situada en la canalización de cortocircuito;

40 de forma que la manipulación de las válvulas permita aislar la porción del reactor situado entre el primer y segundo puntos de conexión por el lado de la canalización de reacción y que la mezcla de gas/líquido de cultivo líquido circule por la canalización de cortocircuito y en la porción del reactor no aislada situada entre el primer y segundo puntos de conexión por el lado de la canalización de retorno.

45 En este modo de realización, el reactor está provisto de una canalización de cortocircuito que permite el aislamiento de un subvolumen de la canalización de reacción. Resulta así posible, en un primer tiempo, que este subvolumen sea aislado, inoculado y puesto en cultivo. Luego, cuando la concentración alcanza un nivel suficiente en este subvolumen, las cuatro válvulas son basculadas al estado opuesto de tal forma que el resto del reactor sea puesto en circulación e inoculado por el subvolumen.

50 El procedimiento de la invención se refiere igualmente a un conjunto de reactores fotosintéticos adaptados para el cultivo de microorganismos fotosintéticos que comprende al menos dos reactores conformes a la invención, a saber un primer y un segundo reactores, y que comprenden al menos una canalización de conexión que asegura una conexión fluidica entre el primer reactor y el segundo reactor y al menos una válvula situada sobre la indicada canalización de conexión.

5 Este conjunto es particularmente ventajoso para disponer de dos o más reactores en paralelo que son conectables, particularmente para permitir una inoculación, por medio de la canalización de conexión, con el fin de realizar un conjunto de producción que sea productivo y coherente. Con el fin de hacer posible la inoculación de un reactor por su vecino cuya concentración habrá alcanzado un estado avanzado, es posible interconectar estos dos reactores de tal forma que sus contenidos sean mezclados.

Según una característica, el conjunto comprende dos canalizaciones de conexión entre los dos reactores, cada una provista de una válvula, de las cuales:

- 10
- una primera canalización de conexión que conecta un punto de entrada situado en el primer reactor río arriba del medio de puesta en circulación de dicho primer reactor con un punto de salida situado en el segundo reactor río abajo del medio de puesta en circulación de dicho segundo reactor; y
 - una segunda canalización de conexión que conecta un punto de entrada situado en el segundo reactor río arriba del medio de puesta en circulación de dicho segundo reactor con un punto de salida situado en el primer reactor río abajo del medio de puesta en circulación de dicho primer reactor.

15 Para proceder a la inoculación del segundo reactor a partir del primer reactor ya en servicio y cuya concentración ha alcanzado el nivel de explotación, el segundo reactor a inocular se llena de medio nutritivo estéril y la circulación se establece abriendo las dos válvulas de las canalizaciones de conexión para establecer un intercambio cruzado entre los dos reactores. La interconexión entre los dos reactores se establece entre río arriba y río abajo de los medios de puesta en circulación para que la fuerza propulsiva obtenida con estos medios de puesta en circulación favorezca la circulación de intercambio.

20 Según otra característica, el conjunto comprende una bomba interpuesta en la o una de las canalizaciones de conexión para reducir el tiempo de los intercambios entre los dos reactores.

La invención se refiere a un procedimiento de cultivo de microorganismos fotosintéticos, particularmente de algas, utilizando el reactor mencionado anteriormente y que comprende las etapas siguientes:

- 25
- inyección de un medio de cultivo líquido en el reactor según un caudal controlado;
 - inyección de un gas en el reactor según un caudal controlado con el medio de inyección de gas;
 - puesta en circulación del medio de cultivo líquido con el medio de puesta en circulación;
 - control del medio de puesta en circulación y del medio de inyección de gas para establecer en el tramo de reacción un régimen de circulación bifásico de gas/líquido del tipo de circulación estratificada o circulación con bolsas o con burbujas alargadas.

30 Como se ha descrito anteriormente, el establecimiento de un régimen de circulación bifásica gas/líquido sustancialmente horizontal, del tipo de circulación estratificada o circulación con bolsas o con burbujas alargadas, presenta numerosas ventajas como la reducción de la producción de burbujas y el aumento del rendimiento del reactor aumentando para ello particularmente la superficie de intercambio entre el gas y el líquido.

35 Según una característica, la etapa de control comprende una etapa de control de la velocidad de circulación del líquido en la canalización de reacción entre aproximadamente 0,1 y 0,2 m/s con el fin de establecer un régimen de circulación bifásico del tipo de circulación estratificada.

Según otra característica, la etapa de control comprende una etapa de control de la velocidad de circulación del líquido en la canalización de reacción entre aproximadamente 0,2 y 1 m/s con el fin de establecer un régimen de circulación bifásica del tipo de circulación con bolsas o con burbujas alargadas.

40 De forma ventajosa, la etapa de control comprende una etapa de control de la velocidad de circulación del gas entre aproximadamente 0,5 y 0,8 m/s, correspondiente a un régimen de velocidades adecuado para los caudales necesarios para la reacción.

45 De forma todavía ventajosa, el medio de puesta en circulación comprende una hélice accionada en rotación por un motor y en el cual la velocidad de rotación de la hélice es inferior a aproximadamente 100 vueltas por minuto, con el fin de limitar las sollicitaciones mecánicas en el seno del medio de cultivo líquido.

Otras características y ventajas de la presente invención aparecerán con la lectura de la descripción detallada dada a continuación, de un ejemplo de realización no limitativo, realizada con referencia a las figuras adjuntas en las cuales:

- 50
- la figura 1 es una vista esquemática frontal de un reactor fotosintético;
 - la figura 2 es una vista esquemática lateral del reactor ilustrado en la figura 1;
 - la figura 3 es una vista esquemática parcial del interior del reactor ilustrado en la figura 1;

- la figura 4 es una vista esquemática frontal de otro reactor fotosintético;
- la figura 5 es una vista esquemática parcial de dos reactores y conectados entre sí por medio de las canalizaciones de conexión;
- 5 - las figuras 6a y 6b ilustran respectivamente la evolución del oxígeno disuelto y del dióxido de carbono disuelto en función del tiempo para un primer reactor;
- las figuras 7a y 7b ilustran respectivamente la evolución del oxígeno disuelto y del dióxido de carbono disuelto en función del tiempo para un segundo reactor;
- las figuras 8a a 8ef ilustran de forma esquemática varios regímenes de circulación en un conducto horizontal, respectivamente una circulación con burbujas dispersas, una circulación con burbujas alargadas, una circulación estratificada lisa, una circulación estratificada ondulada, una circulación con bolsas, y una circulación anular.

Las figuras 1 a 3 ilustran un reactor 1 fotosintético y que está adaptado para el cultivo de microorganismos fotosintéticos, particularmente de algas, y en particular para el cultivo de microorganismos fotosintéticos frágiles a las sollicitaciones mecánicas y por consiguiente inadaptados para el cultivo en reactores del estado de la técnica.

15 El reactor 1 comprende:

- al menos una canalización de reacción 2 fotosintética por la cual circula el medio de cultivo líquido, presentando la indicada canalización de reacción 2 un extremo bajo 21 situado en la parte baja del reactor 1 y un extremo alto 22 situado en la parte alta del reactor 1 por encima del extremo bajo 21;
- 20 - al menos una canalización de retorno 3 que asegura la conexión fluidica entre el extremo bajo 21 y el extremo alto 22 de la canalización de reacción 2;
- al menos un medio de puesta en circulación 4 del medio de cultivo líquido;
- al menos un medio de inyección de gas 5 que permite inyectar gas en el reactor; y
- al menos un medio de escape 6 situado en la parte alta del reactor 1 y que permite el escape del gas inyectado en el reactor 1;
- 25 - al menos un medio de inyección de líquido 7 que permite inyectar líquido en el reactor 1.

Se entiende en el sentido de la presente solicitud que el empleo de los términos « baja » y « alta » para designar las partes del reactor 1, así como la utilización de un término como « por encima de », hacen referencia a la disposición relativa de los elementos o partes del reactor según la dirección vertical ilustrada por la flecha Z en las figuras.

30 Como se puede apreciar en la figura 1, la canalización de reacción 2 comprende varios tramos horizontales 23, llamados tramos de reacción, conectados sucesivamente por tramos acodados 24. Los tramos horizontales 23 y los tramos acodados 24 están conectados en serie a intervalos para que la canalización de reacción 2 presente una forma de conducto continuo en acordeón o en espiral entre su extremo bajo 21 y su extremo alto 22. Esta canalización de reacción 2 se extiende principalmente según un plano vertical, con los tramos horizontales 23 dispuestos sucesivamente los unos por encima de los otros.

35 Como se puede apreciar en la figura 2, los tramos horizontales 23 están dispuestos sucesivamente a uno y otro lado de una estructura de soporte 8 vertical que comprende:

- pilares verticales 80 fijados en el suelo por medio de tornillos 81; y
- travesaños 82 solidarios de los pilares verticales 81 y que soportan los tramos horizontales 23.

40 La estructura de soporte 8 sostiene el peso de la canalización de reacción 2 con sus dos pilares verticales 81 que están espaciados uno del otro por una distancia que no exceda del límite de vano de los tramos horizontales 23 que provoque la ruptura de los indicados tramos horizontales 23 llenos de líquido y de gas debido a su peso, y los travesaños 82 que mantienen los tramos horizontales 23 a equidistancia vertical y horizontal los unos de los otros.

45 Los tramos horizontales 23 son realizados al menos parcialmente en un material transparente a la radiación solar, como por ejemplo en un material de cristal o de material sintético tipo plástico o polímero acrílico como el plexiglas™. Estos tramos horizontales 23 son realizados en forma de tubos rectilíneos y de sección circular de diámetro Dc. Los tramos acodados 24 son realizados en forma de tubos acodados 180° para conectar extremo con extremo dos tramos horizontales 23 sucesivos. Los tramos acodados 24 son de sección circular de diámetro Dc como los tramos horizontales.

La canalización de retorno 3 presenta una forma general de « C » y comprende sucesivamente:

- 50 - un tramo superior 30 horizontal conectado con el extremo alto 22 de la canalización de reacción 2 por medio de un empalme 99;

- un tramo central 31 vertical o ligeramente oblicuo, como se puede apreciar en la figura 2, conectado con el tramo superior 30 por un primer codo 32 que forma un ángulo de aproximadamente 90°; y
- un tramo inferior 33 conectado por una parte con el tramo central 31 por un segundo codo 34 que forma un ángulo de aproximadamente 90° y por otra parte con el extremo bajo 21 de la canalización de reacción 2 por medio de un empalme 98, y que viene de la prolongación del tramo horizontal 23 más bajo de la canalización de reacción 2 llamado primer tramo horizontal.

La canalización de retorno 3 se realiza en un material no transparente a la radiación solar y/o puede situarse protegida de la luz en el interior de un local cerrado, mientras que la canalización de reacción 2 se expone a la luz solar, eventualmente bajo un invernadero.

10 El tramo superior 30 se realiza bajo la forma de un tubo rectilíneo y de sección circular de diámetro D_c igual al de los tramos horizontales 23 de la canalización de reacción 2. El tramo superior 30 viene de la prolongación del tramo horizontal 23 situado lo más alto de la canalización de reacción 2, llamado el último tramo horizontal, y se extiende al mismo nivel vertical que este último tramo horizontal 23.

15 El tramo central 31 es igualmente realizado en forma de un tubo rectilíneo y de sección circular de diámetro D_c igual al de los tramos horizontales 23 de la canalización de reacción 2. Este tramo central 31 se extiende según una dirección vertical o ligeramente oblicua con relación a la dirección vertical Z.

20 El primer codo 32, situado en la parte alta, presenta una sección ensanchada con relación al tramo superior 30 y al tramo central 31 de igual diámetro D_c . El medio de escape 6 está situado sobre el indicado primer codo 32 y se presenta en forma de un tubo de dimensiones predeterminadas que desemboca en el interior del primer codo 32. Así, la sección de paso a nivel del primer codo 32 es aumentada para disminuir la velocidad del líquido en el indicado primer codo 32 y evitar arrastres de gas hacia abajo en el tramo central 31. El medio de escape 6 está situado en la parte alta con relación al tramo horizontal 23 lo más alto de la canalización de reacción 2, de tal forma que solo el exceso de líquido se escape del reactor 1 al mismo tiempo que el gas. El medio de escape 6 está calibrado para permitir el escape del volumen de líquido sobrante en el reactor 1 al mismo tiempo que el escape del gas inyectado.

25 El reactor 1 comprende dos medios de inyección de líquido 7 situados en el tramo central 31, a saber, un primer y un segundo medios de inyección que permiten inyectar respectivamente el medio de cultivo líquido y el inoculante en el reactor 1. Estos medios de inyección 7 se presentan bajo la forma de puertos de inyección que permiten una conexión con una fuente con control de la aseptia.

30 El reactor 1 comprende además uno o varios sensores 9 situados en la canalización de retorno 3 y más particularmente en el tramo central 31, y adaptados para proporcionar las señales necesarias para el control de la reacción, particularmente señales representativas de la temperatura, del pH, del porcentaje de oxígeno disuelto y de la turbidez del medio líquido. Este control sirve particularmente para regular las inyecciones de gas y de líquido en el reactor 1.

35 El tramo inferior 33 presenta un alojamiento 35, de sección ensanchada con relación al diámetro D_c del tramo central 31, destinado para recibir en parte el medio de puesta en circulación 4. Este alojamiento 35 está situado en la prolongación directa del segundo codo 35 y se extiende según una dirección principal A horizontal.

40 El medio de puesta en circulación 4 ilustrado en las figuras 1 a 3 está dispuesto en la canalización de retorno 3, al menos en parte en el interior del alojamiento 35, para poner en circulación el medio de cultivo en la canalización de reacción 2 desde el extremo bajo 21 hasta el extremo alto 22 de la indicada canalización de reacción 2, dicho de otro modo de bajo en alto en el interior de la canalización de reacción 2. En esta configuración, el medio líquido circula del tramo superior 30 en dirección al tramo inferior 33 por el interior de la canalización de retorno 3, dicho de otro modo, de alto en bajo en el interior de la canalización de retorno 3 y de su tramo central 31.

45 El medio de puesta en circulación 4 es realizado en forma de un medio de propulsión mecánica que comprende una hélice 40 accionada en rotación por un motor rotativo 41 por medio de un árbol de salida 42 de dicho motor 41. El motor 41 está dispuesto por fuera del reactor 1, a nivel del segundo codo 34, y está fijado sobre una placa 43 fijada de forma amovible sobre las paredes de la canalización de retorno 3, particularmente por medio de tornillos de fijación. El árbol de salida 42 atraviesa de forma estanca la indicada placa 43, desemboca en el interior del alojamiento 35, y soporta la hélice 40 que es así móvil en rotación en el interior de este alojamiento 35. El árbol de salida 42 y la hélice 40 giran alrededor de un eje de rotación A horizontal y la hélice 40 se extiende en un plano sustancialmente vertical.

50 El emplazamiento del medio de puesta en circulación 4 en la parte baja de la canalización de retorno 3 permite un acceso fácil para el mantenimiento. En el ejemplo ilustrado en las figuras 1 a 3, es en efecto mostrado el mantenimiento sencillo de la hélice 40 mediante el desmontaje de la placa 43 que cierra el alojamiento 35 que alberga la hélice 40. El conjunto mecánico que constituye el motor 41, la placa 43, el árbol de salida 42 y la hélice 40 puede ser liberado simplemente por translación horizontal, por ejemplo, apoyándose sobre el suelo.

5 El tramo inferior 33 presenta una parte rectilínea 38 horizontal realizada en forma de un tubo rectilíneo y de sección circular de diámetro D_c igual al de los tramos horizontales 23 de la canalización de reacción 2. La parte rectilínea 38 está situada entre el alojamiento 35 y el extremo bajo 21 de la canalización de reacción 2. La parte rectilínea 38 viene de la prolongación del primer tramo horizontal 23 (el situado lo más bajo de la canalización de reacción 2), y se extiende al mismo nivel vertical que este primer tramo horizontal 23.

10 Una continuidad hidráulica sin variación brusca de las velocidades es buscada en la canalización de retorno 3 para limitar las pérdidas de carga, las aceleraciones y las fuerzas de cizallamiento experimentadas por los microorganismos fotosintéticos. La velocidad media del medio líquido disminuye entre el tramo central 31 y el tramo inferior 33 debido al aumento de la sección de paso entre el tramo central 31 y el alojamiento 35, luego aumenta debido a la disminución inversa de la sección de paso entre el alojamiento 35 y la parte rectilínea 38. Con el fin de asegurar la continuidad hidráulica entre el tramo central 31 y la parte rectilínea 38 del tramo inferior 33, un divergente 36 está situado en la parte alta del segundo codo 34, dicho de otro modo río arriba del alojamiento 35 y de la hélice 40, y un convergente 37 está situado entre el alojamiento 35 y la parte rectilínea 38, dicho de otro modo río abajo del alojamiento 35 y de la hélice 40.

15 El tramo inferior 33 presenta un desnivel 39 situado entre el alojamiento 35 y la parte rectilínea 38, y más particularmente entre el convergente 37 y la parte rectilínea 38. Este desnivel 39 es realizado en forma de dos codos que forman una diferencia de niveles entre el alojamiento 35 y la parte rectilínea 38.

20 El medio de inyección de gas 5 está situado en la parte rectilínea 38 del tramo inferior 33 de la canalización de retorno 3, de forma que el gas G inyectado por el medio de inyección de gas 5 suba hasta el medio de escape 6 circulando por la canalización de reacción 2, en un sentido de circulación que va desde el extremo bajo 21 hasta el extremo alto 22 de la canalización de reacción 2, dicho de otro modo de bajo en alto en el interior de la canalización de reacción 2. En esta configuración, el gas G y el medio líquido L circula a co-corriente, es decir en el mismo sentido de circulación, por el interior de la canalización de reacción 2.

25 El desnivel 39 está situado río arriba del medio de inyección de gas 5 para evitar que el gas inyectado por el medio de inyección de gas 5 se desplace en el sentido incorrecto, es decir en dirección al alojamiento 35 y de la hélice 40, en particular cuando el motor 41 está parado.

30 El emplazamiento del medio de puesta en circulación 4, y de la hélice 40 en particular, en la parte baja del tramo central 31 de la canalización de retorno 3 y río arriba del medio de inyección de gas 5 es ventajoso para permitir una evacuación por arrastre horizontal del gas inyectado en la parte rectilínea 38 del tramo inferior 33 de la canalización de retorno 3.

35 La disposición del medio de escape 6 río arriba del medio de puesta en circulación 4 conjugado con la disposición del medio de puesta en circulación 4 río arriba del medio de inyección de gas 5 es ventajosa para evitar que el gas circule a través de la hélice 40 y dañe su funcionamiento. En efecto, la presencia de gas perjudica el funcionamiento de la mayoría de los medios de propulsión mecánica y a las hélices en particular, y su acumulación debe por consiguiente ser evitada bajo riesgo de hacer cavitación la hélice 40.

40 Como se puede apreciar en la figura 3, el gas G inyectado por el medio de inyección de gas 5 y el medio de cultivo líquido L puesto en circulación por medio de la hélice 40 establecen juntos una circulación bifásica de gas/líquido en la parte rectilínea 38 y por consiguiente necesariamente en el tramo horizontal 23 más bajo de la canalización de reacción 2. El gas G, como se puede apreciar en la figura 3, forma un cielo en el interior de la parte rectilínea 38 y por consiguiente del tramo horizontal 23 lo más bajo de la canalización de reacción 2; formándose este cielo igualmente en los tramos horizontales 23 siguientes a medida que se va produciendo el avance del gas por la canalización de reacción 2 hasta el medio de escape 6.

45 En función particularmente de las velocidades respectivas de circulación del gas y del medio líquido, la circulación bifásica de gas/líquido seguirá un régimen de circulación bifásica del tipo de circulación estratificada (cielo de gas continuo) o del tipo de circulación de bolsas o de burbujas alargadas (cielo de gas discontinuo). Estos regímenes de circulación son posibles pues la circulación de gas, a co-corriente o a contracorriente de la circulación del medio líquido, se realiza principalmente en la parte rectilínea 38 horizontal del tramo inferior 33, en los tramos horizontales 23 y en el tramo superior 30 horizontal. Bien entendido, el gas sube por la canalización de reacción 2 por medio de los tramos acodados 24, pero estas subidas de gas por los tramos acodados 24 no perjudican al régimen de circulación estratificada, con bolsas o con burbujas alargadas observado en los tramos horizontales 23.

50 De forma general, el medio de inyección de gas 5 está dispuesto río arriba del primer tramo horizontal 23 (el más bajo en la canalización de reacción 2) o eventualmente en el indicado primer tramo horizontal 23 con relación al sentido de circulación del gas de bajo en alto por el interior de la canalización de reacción 2. Se puede considerar igualmente prever varios medios de inyección de gas en diferentes puntos de la canalización de reacción 2, en uno o varios tramos horizontales 23, y eventualmente otros medios de escape del gas.

Respecto a las circulaciones bifásicas en los conductos horizontales, trabajos realizados han evidenciado varios regímenes de circulación según las condiciones de velocidad, de diámetro, de temperatura, de naturaleza, de presión de los fluidos circulantes, a saber, particularmente:

- 5 - circulación con burbujas dispersadas, dispersed bubbles flow, de tipología de Mandhane AD, que se ilustra en la figura 8a; y
- circulación con burbujas alargadas, o elongated bubbles flow, de tipología de Mandhane I, que se ilustra en la figura 8b;
- 10 - circulación estratificada, o stratified flow, que se ilustra en la figura 8c con una circulación estratificada ondulada y en la figura 8d con una circulación estratificada lisa, de tipología de Mandhane SS y SW, respectivamente;
- circulación con bolsas, o slug flow, de tipología de Mandhane I, que se ilustra en la figura 8e;
- circulación anular, o annular mist flow, de tipología de Mandhane AD, que se ilustra en la figura 8f.

15 En el caso de la presente invención, los regímenes de circulación seleccionados se sitúan a nivel de la transición en la tipología de Mandhane, es decir entre el régimen estratificado y el régimen con bolsas o con burbujas alargadas. En el régimen estratificado, la interfaz gas/líquido está constituida por la superficie libre, cuya anchura varía con el nivel del líquido en las canalizaciones. En el régimen con bolsas o con burbujas alargadas, la interfaz gas/líquido está constituida por el piso y el techo de la bolsa o de la burbuja alargada.

20 En el caso de la presente invención, con un diámetro D_c para los tramos horizontales 23 del orden de algunos centímetros, por ejemplo comprendido entre aproximadamente 4 y aproximadamente 15 centímetros, la circulación bifásica de gas/líquido en los tramos horizontales 23 seguirá un régimen de circulación estratificado para velocidades del líquido comprendidas entre 0,1 y 0,2 m/s, y un régimen de circulación con bolsas o con burbujas alargadas para velocidades del líquido comprendidas entre 0,2 y 1 m/s.

25 Velocidades de líquido superiores 0,2 m/s podrán ser seleccionadas con el fin de favorecer la mezcla en el medio de cultivo líquido, implicando así que la circulación bifásica en los tramos horizontales 23 seguirá un régimen de circulación con bolsas o con burbujas alargadas.

30 Los intercambios o transferencias de gas/líquido que varían sustancialmente de modo proporcional a la diferencia de velocidad entre la circulación del gas y la circulación del medio líquido, resulta particularmente ventajoso mantener elevada la diferencia de velocidad entre la circulación gaseosa y la circulación líquida. La Firma solicitante ha observado así que la velocidad del gas debería estabilizarse entre 0,5 y 0,8 m/s para los caudales gaseosos necesarios para la reacción fotosintética, y que la diferencia de velocidad necesaria para los intercambios resulta fácil de obtener con una circulación a co-corriente.

35 La circulación a co-corriente del gas y del líquido crea una superficie de intercambio proporcional a la longitud de la canalización de reacción 2, lo cual hace posible los aumentos de la longitud de la indicada canalización de reacción 2 sin tener que multiplicar el número de aparatos de desgasificado y de carbonatación. Aunque esta introducción de gas en la canalización de reacción implica una disminución del volumen de reacción líquido, que llega hasta el 15% según el caudal gaseoso, en el interior de la canalización de reacción 2, esta disminución del volumen de reacción líquido es en gran parte compensada por el aumento de la productividad volúmica que resulta de la disminución de la longitud del paso óptico. Desde el punto de vista de la calidad microbiológica, la ausencia de pequeñas burbujas en el reactor 1 conforme a la invención presenta un gran interés, tal y como se ha descrito anteriormente, y este reactor 1 presenta igualmente un interés en términos de costes pues no necesita aparato de desgasificado y de carbonatación.

45 La Firma solicitante ha observado igualmente que es posible aumentar la diferencia de velocidad entre la circulación gaseosa y la circulación líquida, y por consiguiente aumentar las transferencias de gas/líquido, aplicando para ello una circulación a contracorriente en el seno de la canalización de reacción 2, dicho de otro modo, haciendo de forma que el medio líquido circule de alto en bajo por el interior de la canalización de reacción 2. Así, en una realización no ilustrada, el medio de puesta en circulación 4 está dispuesto en la canalización de retorno 3 para poner en circulación el medio de cultivo líquido en la canalización de reacción 2 desde el extremo alto 22 hasta el extremo bajo 21 de la indicada canalización de reacción 2, en un sentido de circulación opuesto al sentido de circulación del gas inyectado, dicho de otro modo de alto en bajo por el interior de la canalización de reacción 2. En esta variante, el medio líquido circula del tramo inferior 33 en dirección al tramo superior 30 por el interior de la canalización de retorno 3, dicho de otro modo de bajo en alto por el interior de la canalización de retorno 3 y de su tramo central 31. Para realizar dicha circulación a contracorriente, el medio de puesta en circulación 4 puede ser ajustado 180° para funcionar en el otro sentido de circulación en el mismo emplazamiento que en el caso precedente de a co-corriente, ya que tiene la ventaja de estar libre de circulación gaseosa, en parte en el interior del mismo alojamiento 35 adecuado. Los medios de inyección de gas 5 y de escape 6 pueden estar ventajosamente sostenidos en los mismos emplazamientos que en el caso anterior, ya que maximizan la longitud del recorrido común y por consiguiente el tiempo del contacto fluido.

La tabla siguiente compara los rendimientos de tres reactores fotosintéticos implantados bajo el paralelo 42º y que consiste en una canalización de reacción transparente de 215 m de largo y 76 mm de diámetro interior, con un contenido global de 1000 litros.

	Reactor de «columna con burbujas»	Reactor según la invención «a co-corriente»	Reactor según la invención «a contracorriente»
S= Superficie de contacto (m ²)	2	7	7
KL.a = Coeficiente de transferencia superficial (hora ⁻¹)	1	3	4
VM = Velocidad máxima de oxigenación del medio líquido (mg/L/hora)	44	44	44
VE = Velocidad de extracción de O ₂ (mg/L/h)	11	47	58
Eficacia = VE/VM (porcentaje)	25	107	132

5 El reactor con « columna de burbujas » corresponde al reactor del estado de la técnica descrito anteriormente y que comprende un gasosifón. Este reactor con « columna de burbujas » comprende una columna de burbujas de altura igual a 4 m y de diámetro igual a 76 mm idéntico al de la canalización de reacción.

10 El reactor « a co-corriente » corresponde al reactor en el cual un modo de circulación a co-corriente es establecido en la canalización de reacción, mientras que el reactor « a contracorriente » corresponde al reactor en el cual un modo de circulación a contra-corriente se establece en la canalización de reacción.

La velocidad VM máxima de oxigenación ha sido calculada para una clase de algas de crecimiento rápido en la actividad fotosintética más fuerte, es decir en periodo estival y a mediodía.

15 La Firma solicitante confirma así que la extracción de oxígeno por el reactor conocido con «columna de burbujas» es insuficiente y limita la eficacia del reactor, mientras que los reactores conformes a la invención, «a co-corriente» y «a contracorriente», cubren eficazmente las necesidades de extracción de oxígeno.

20 La transferencia de gas-líquido y por consiguiente la extracción de oxígeno es más eficaz con los reactores según la invención, donde la interfaz gas/líquido se realiza sobre la totalidad del recorrido de la canalización de reacción, que con el reactor conocido «con columna de burbujas», donde la interfaz de gas/líquido está limitada a las pequeñas burbujas y donde la extracción de oxígeno está localizada. Esto confirma la opinión de la Firma solicitante mencionada anteriormente según la cual el gas forma parte integrante de la reacción y debe ser admitido en el volumen de reacción al igual que el líquido.

25 Además, el modo de recirculación a contra-corriente proporciona más rendimiento que el modo de circulación a co-corriente. Las figuras 6 y 7 confirman este punto ilustrando simulaciones numéricas de los intercambios gaseosos en el caso de un cultivo de microalgas del tipo *Porphyridium cruentum* en un reactor que recibe un caudal de gas que contiene un 3% de CO₂, y 0% de O₂ inyectado de 6 litros por minuto con un modo de circulación a co-corriente (figuras 6a y 6b) y a contracorriente (figuras 7a y 7b), donde:

- la figura 6a ilustra la evolución del oxígeno disuelto O₂D (en mg/L) en función del tiempo (en días) para un reactor a co-corriente;
- la figura 6b ilustra la evolución del dióxido de carbono disuelto CO₂D (en mg/L) en función del tiempo (en días) para un reactor a co-corriente;
- la figura 7a ilustra la evolución del oxígeno disuelto O₂D (en mg/L) en función del tiempo (en días) para una reactor a contracorriente; y
- la figura 7b ilustra la evolución del dióxido de carbono CO₂D (en mg/L) en función del tiempo (en días) para un reactor a contracorriente.

35 Estas simulaciones numéricas confirman por consiguiente la eficacia superior del modo a contracorriente. El modo de circulación a co-corriente sigue siendo suficiente todo el tiempo para mantener el contenido en oxígeno por debajo de 20 mg/L, dicho de otro modo a co-corriente es suficiente si el umbral de toxicidad se sitúa en 20 mg/L.

40 Sin embargo, el recurso a la modalidad de contracorriente plantea problemas de regulación. En efecto, con el modo de a co-corriente, los fluidos (gas y líquido) circulan en el mismo sentido y su contacto se realiza durante algunos segundos antes de ser separados uno del otro debido a las diferencias de velocidad. Por el contrario, con el modo a contracorriente, los fluidos se separan inmediatamente para solo volver a encontrarse en contacto mucho más tarde.

De forma general, es posible jugar con el caudal gaseoso y con la velocidad de circulación del medio de cultivo líquido, así como con las variaciones de intensidad luminosa, para adaptarlas a las diferentes especies cultivadas: un fuerte caudal gaseoso es por ejemplo deseable con fuerte intensidad luminosa y cuando la especie de algas presenta un rápido crecimiento con el fin de aumentar los intercambios de gas-líquido. Sin embargo, es preciso tener en cuenta el hecho de que una variación del caudal gaseoso conlleva la del volumen de cultivo. Así, el aumento del caudal gaseoso provoca una disminución del volumen líquido que puede conducir a un achicamiento del último tramo horizontal 23 (el situado lo más alto) y a la interrupción de la circulación en la canalización de circulación 2.

Como se puede apreciar en la figura 3, el reactor 1 puede igualmente comprender uno o varios cuerpos de limpieza 10, conformados para circular por el interior de las canalizaciones de reacción 2 y de retorno 3 con el fin de limpiar el interior de estas canalizaciones 2 y 3. Para poder circular en bucle en el reactor 1, el o los cuerpos de limpieza 10 están igualmente conformados para pasar a través del o de los medios de puesta en circulación 4 del medio de cultivo líquido, dicho de otro modo a través de las palas de la hélice 40 en el modo de realización particular descrito anteriormente.

Los cuerpos de limpieza 10, de preferencia esféricos, presentan un diámetro sustancialmente igual al diámetro D_c interior de la canalización de reacción 2 y de sus tramos horizontales 23 y acodados 24; la limpieza de reactor 1 atañe esencialmente a la pared interna de la canalización de reacción 2 donde tiene lugar el cultivo de los microorganismos. Los cuerpos de limpieza 10 son de preferencia de material flexible con el fin de absorber por deformación las sollicitaciones mecánicas del medio de puesta en circulación 4, por ejemplo los impactos de las palas de la hélice 40 en su paso por el alojamiento 35.

El alojamiento 35 es ventajosamente de sección circular, al menos en el plano de rotación de la hélice 40, es decir el plano vertical perpendicular a la indicada hélice 40. Como se puede apreciar en la figura 3, esta sección circular del alojamiento 35 es de diámetro D_L ligeramente superior al diámetro de la hélice 40. Este diámetro D_L es igualmente superior al diámetro D_c de la canalización de reacción 2 y del tramo central 31 de la canalización de retorno 3 con el fin de que la hélice 40 pueda dejar paso a los cuerpos de limpieza 10. Como se ha indicado anteriormente, este aumento del diámetro se traduce por una disminución de las velocidades lineales del fluido y las velocidades de rotación de la hélice. En este caso, el diámetro D_L del alojamiento 35 restado del diámetro D_a del árbol de salida 42 del motor 41 debe ser al menos el doble del diámetro D_c de la canalización de reacción 2 para que los cuerpos de limpieza 10 puedan circular libremente, arrastrados por el medio de reacción líquido, incluso a través de la hélice 40, o sea:

$$D - D_a = 2.D_c.$$

En el modo de realización ilustrado en la figura 3, el diámetro D_L es igual al triple del diámetro D_c interior de la canalización de reacción 2 y el diámetro D_a del árbol de salida 42 es igual al diámetro D_c interior de la canalización de reacción 2. En esta configuración, los cuerpos de limpieza 10 de diámetro D_c pueden circular por la parte anular de idéntico ancho a D_c , extendiéndose entre la pared interna del alojamiento 35 y el árbol 42, y pueden así pasar más fácilmente entre las palas de la hélice 40.

Con el fin de reducir el obstáculo que las palas de la hélice 40 constituyen para estos cuerpos de limpieza 10 y para los microorganismos, estas palas se encuentran de preferencia en número limitado a uno (formando así una especie de tornillo de Arquímedes) o a dos. Con el fin de disminuir la superficie de barrido de las palas y los efectos mecánicos que se derivan del mismo, la velocidad de rotación de la hélice 40 será baja y de preferencia inferior a 100 vueltas por minuto.

La circulación de los cuerpos de limpieza 10 en los tramos horizontales 23 puede tener por efecto hacer las velocidades de circulación del gas y del medio líquido sustancialmente idénticas en estos tramos horizontales 23 ya que constituyen obstáculos para uno y otro fluido, y los obligan a progresar a la misma velocidad que los caudales de fuga.

Sin embargo, como se ha descrito anteriormente, la diferencia de velocidades entre la circulación gaseosa y la circulación líquida influye directamente sobre las transferencias de masa gas/líquido y debe ventajosamente ser mantenida al nivel más elevado posible. Es el motivo por el cual el cuerpo de limpieza no debe impedir el paso del gas. Para ello, el cuerpo de limpieza está conformado para dejar pasar al menos parcialmente el gas que circula por el interior de la canalización de reacción 2 estando adaptado para ser arrastrado por la circulación del medio de cultivo líquido. A este respecto, el o cada cuerpo de limpieza 10 se realiza en forma de un cepillo esférico que comprende un conjunto de pelos, cerdas, hebras o equivalentes, con una parte central portadora de estos pelos. Así, en los tramos horizontales 23, los pelos que emergen dejan pasar el gas a nivel del cielo de gas y la parte central sumergida y portadora de los pelos presenta un diámetro suficientemente grande para constituir un obstáculo al paso del líquido, de forma que el medio líquido arrastre con él el cuerpo de limpieza 10.

De la misma manera, el cuerpo de limpieza 10 puede ser realizado en forma de una esfera hueca de materia elastómera de la cual una parte substancial de la superficie está perforada con orificios que permiten dejar pasar el gas.

Una primera mejora del reactor 1 ilustrada en la figura 4 consiste en equipar al reactor 1 descrito anteriormente con:

- 5 - una canalización de cortocircuito 90 dispuesta en paralelo a la canalización de retorno 3 y que conecta dos puntos de conexión previstos en el reactor 1, cuyo primer punto de conexión 91 dispuesto en la canalización de reacción 2 y un segundo punto de conexión 92 situado en la canalización de retorno 3 o en la canalización de reacción 2 (el primer punto de conexión 91 es bien entendido distinto del segundo punto de conexión);
- dos válvulas 93, 94 situadas a uno y otro lado de dicho primer punto de conexión 91 con una de las válvulas 94 situada en la canalización de cortocircuito 90; y
- 10 - dos válvulas 95, 96 situadas a uno y otro lado de dicho segundo punto de conexión con una de las válvulas 96 situada en la canalización de cortocircuito 90.

En el modo de realización ilustrado en la figura 4:

- el primer punto de conexión 91 está situado en un tramo acodado 34 o sobre un tramo horizontal 23 situado por encima del primer tramo horizontal (el situado más bajo) y por debajo del último tramo horizontal (el situado más alto); y
- 15 - el segundo punto de conexión 92 está situado sobre la canalización de retorno 3, entre el extremo alto 22 de la canalización de reacción 2 y el medio de escape 6 para permitir el escape del gas en el bucle de cortocircuito, y en particular sobre el tramo superior 30;
- la válvula 93 está situada río arriba del primer punto de conexión 91 con relación al sentido de circulación del gas, justo después de este primer punto de conexión 91;
- 20 - la válvula 94 está situada en la canalización de cortocircuito 90, justo después del primer punto de conexión 91;
- la válvula 95 está situada entre el segundo punto de conexión 92 y el extremo alto 22 de la canalización de reacción 2, río abajo del segundo punto de conexión 92 con relación al sentido de circulación del gas; y
- 25 - la válvula 96 está situada en la canalización de cortocircuito 90, justo antes del segundo punto de conexión 92.

La manipulación de las válvulas 93 a 96, que son por ejemplo del tipo de válvula de aislamiento de paso integral, permite aislar la porción del reactor 1 situada entre los dos puntos de conexión 91, 92 por el lado de la canalización de reacción 2, y permite que la mezcla de gas/medio de cultivo líquido circule por un bucle de cortocircuito que comprende la porción del reactor 1 no aislada situada entre los dos puntos de conexión 91, 92 por el lado de la canalización de retorno 3 y la canalización de cortocircuito 90. La canalización de cortocircuito 90 se realiza en forma de un tubo rectilíneo, vertical y de sección circular de diámetro D_c igual al de los tramos horizontales 23 de la canalización de reacción 2.

En el modo de realización ilustrado en la figura 4, las válvulas 93 y 95 están cerradas mientras que las válvulas 94 y 96 se abren de forma que la mezcla circule por el bucle de retorno.

35 Este reactor mejorado, provisto de un cortocircuito, permite así explotar solo un subvolumen de reacción, correspondiente a la porción de la canalización de reacción 2 situada en el bucle de cortocircuito, y que puede representar aproximadamente 1/10 del volumen total de la canalización de reacción 2. En la figura 4, este subvolumen de reacción corresponde al volumen entre el extremo bajo 21 y el primer punto de conexión 91 que corresponde a dos tramos horizontales 23, en comparación con los veintiséis tramos horizontales de la canalización de reacción 2 dada a título de ejemplo.

40 El bucle de cortocircuito, o bucle reducido, tiene todas las funcionalidades del bucle grande (circuito completo como en el caso del reactor de la figura 1) ya que comprende:

- el tramo central 31 con el o los medios de inyección de líquidos 7 y el o los sensores 9;
- el medio de puesta en circulación 4;
- 45 - el medio de inyección de gas 5;
- el medio de escape 6; y
- un subvolumen de reacción que comprende al menos un tramo horizontal 23.

La utilización de un reactor de este tipo puede realizarse de la forma siguiente: una vez que la totalidad del reactor 1 haya sido llenada con medio estéril, las cuatro válvulas 92 a 96 son manipuladas para obtener la configuración ilustrada en la figura 4. En una primera fase, el subvolumen de reacción es inoculado y puesto en cultivo. En una segunda fase, cuando la concentración en microorganismos alcanza un nivel suficiente en el subvolumen de reacción, las cuatro válvulas 92 a 96 son basculadas al estado opuesto de tal forma que el resto de la canalización

de reacción 2 sea puesto en circulación e inoculado por el subvolumen de reacción. Se habla entonces de un reactor de inoculación por intraconexión.

En una variante no ilustrada de realización del reactor de inoculación por intraconexión:

- 5 - el primer punto de conexión 91 está situado sobre la canalización de reacción 2, sobre un tramo acodado 34 o un tramo horizontal 23 situado por encima del primer tramo horizontal y por debajo del último tramo horizontal; y
- el segundo punto de conexión 92 está situado igualmente sobre la canalización de reacción 2, por encima del primer punto de conexión 91 (con el fin de cortocircuitar la parte de la canalización de retorno situada entre los dos puntos de conexión).

10 En otra variante no ilustrada de realización del reactor de inoculación por intraconexión:

- el primer punto de conexión 91 está situado en la canalización de reacción 2, en un tramo acodado 34 o un tramo horizontal 23 situado por encima del primer tramo horizontal y por debajo del último tramo horizontal; y
- 15 - el segundo punto de conexión 92 está situado en la canalización de retorno 3, entre el medio de inyección de gas 5 y el extremo bajo 21 de la canalización de reacción 2 (con el fin de cortocircuitar la parte de la canalización de retorno situada entre su extremo bajo y el primer punto de conexión).

20 Como se ha ilustrado en la figura 5, la invención se refiere igualmente a un conjunto de reactores fotosintéticos que comprenden al menos dos reactores 1A, 1B a saber un primer 1A y un segundo 1B reactores, y que comprenden al menos una canalización de conexión 71, 72 que asegura una conexión fluidica entre el primer reactor 1A y el segundo reactor 1B y al menos una válvula 77, 78 situada sobre la indicada canalización de conexión 71, 72, con el fin de permitir la inoculación de un reactor por el otro reactor.

25 En el modo de realización ilustrado en la figura 5, el conjunto comprende dos canalizaciones de conexión 71, 72 entre los dos reactores 1A, 1B, cada una provista de dos válvulas respectivamente 77, 78 a nivel del primer reactor 1A, y de otras dos válvulas (no visibles y que forman las válvulas opuestas a las dos válvulas 77, 78) a nivel del segundo reactor 1B, del cual:

- una primera canalización de conexión 71 que conecta un punto de entrada 73 situado en el primer reactor 1A en el alojamiento 35 río arriba de la hélice (no visible) de dicho primer reactor 1A con un punto de salida 74 situado en el segundo reactor 1B río abajo de la hélice (igualmente no visible) de dicho segundo reactor 1B; y
- 30 - una segunda canalización de conexión 72 que conecta un punto de entrada 75 situado en el segundo reactor 1B en el alojamiento 35 río arriba de la hélice (no visible) de dicho segundo reactor 1B con un punto de salida 76 situado en el primer reactor 1A río abajo de la hélice (igualmente no visible) de dicho primer reactor 1A.

35 Los reactores 1A, 1B son ensamblados de forma paralela para constituir un conjunto productivo coherente. Con el fin de hacer posible la inoculación de un reactor por su vecino cuya concentración en microorganismos habría alcanzado una fase avanzada, el conjunto prevé interconectar estos dos reactores con las canalizaciones de conexión 71, 72 de tal forma que sus contenidos respectivos sean mezclados.

En el modo de realización ilustrado en la figura 5, los planos de rotación de las dos hélices se confunden en uno solo y un mismo plano P vertical.

40 Además, como se puede apreciar en la figura 5, cada punto de salida 74, 76 está situado en el extremo del convergente 37 correspondiente para beneficiarse de un efecto Venturi; estando los indicados convergentes 37 situados entre los alojamientos 35 respectivos y las partes rectilíneas 38 respectivas.

Además, cada punto de entrada 73, 75 está situado en el alojamiento 35 correspondiente de la hélice, de preferencia río arriba del plano de rotación P correspondiente.

45 Cada canalización de conexión 71, 72 comprende al menos una válvula 77, 78 que permite la conexión bajo asepsia de las dos canalizaciones de conexión 71, 72 que conectan de forma cruzada y simétrica los puntos de entrada y los puntos de salida de los dos reactores 1A, 1B a interconectar. Cada canalización de conexión 71, 72 puede igualmente comprender dos válvulas, una con su punto de entrada y una con su punto de salida.

50 La utilización de dicho conjunto puede realizarse de la forma siguiente: para proceder a la inoculación del segundo reactor 1B a partir del primer reactor 1A ya en servicio y cuya concentración en microorganismos ha alcanzado el nivel de explotación, las válvulas 77 y 78 y sus opuestas son cerradas en una primera fase y el segundo reactor 1B a inocular se llena de medio nutritivo estéril, y seguidamente se establece la circulación en el interior del segundo

reactor 1B. En una segunda fase, las válvulas 77, 78 y sus opuestas se abren y se establece un intercambio cruzado entre los dos reactores como se ha ilustrado por las flechas E de la figura 5.

5 Después de la apertura de las válvulas 77, 78 y de sus opuestas, las concentraciones se vuelven sustancialmente iguales en los dos reactores 1A y 1B y es posible aislarlos por el cierre de las válvulas 77, 78, y de sus opuestas. Para reducir la duración de este intercambio, una bomba (no visible) puede interponerse en una y/u otra de las canalizaciones de conexión 71, 72.

10 En el caso en que la puesta en circulación sea obtenida en los reactores por otros medios propulsivos al de la hélice, y cuando los reactores no presentan variación de diámetro que formen una convergente, el efecto Venturi no puede ser obtenido. En una configuración de este tipo no ilustrada, la interconexión entre los dos reactores se establece entre río arriba y río abajo de los dos medios de puesta en circulación, y la fuerza propulsiva establece la circulación de intercambio en el otro sentido al indicado en la figura 5.

15 Bien entendido, el ejemplo de realización mencionado anteriormente no presenta ningún carácter limitativo y otros detalles y mejoras pueden ser aportados al reactor según la invención, sin salir por ello del marco de la invención donde otras formas de canalización de reacción y/o de canalización de retorno y/o de medios de puesta en circulación pueden por ejemplo ser realizadas. Así, los tramos horizontales 23 pueden presentar una ligera inclinación con relación a la horizontalidad, por ejemplo de algunos grados alrededor de la dirección horizontal.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de cultivo de microorganismos fotosintéticos, particularmente de algas, que utiliza un reactor (1) fotosintético que comprende:

- 5 - al menos una canalización de reacción (2) fotosintética por la cual circula el medio de cultivo líquido y que está provista de al menos un tramo de reacción (23) sustancialmente horizontal y realizado al menos parcialmente en un material transparente a la radiación luminosa, presentando la indicada canalización de reacción (2) un extremo bajo (21) situado en la parte baja del reactor (1) y un extremo alto (22) situado en la parte alta del reactor (1) por encima del extremo bajo (21);
- 10 - al menos una canalización de retorno (3) que asegura la conexión fluídica entre el extremo bajo (21) y el extremo alto (22) de la canalización de reacción (2);
- al menos un medio de puesta en circulación (4) del medio de cultivo líquido;
- al menos un medio de inyección de gas (5) situado en el tramo de reacción (23) o río arriba de dicho tramo de reacción (23) con relación al sentido de circulación del gas, permitiendo el indicado medio de inyección de gas (5) inyectar gas en el reactor (1);
- 15 - al menos un medio de inyección de líquido (7) que permite inyectar líquido en el reactor (1); y
- al menos un medio de escape (6) situado en la parte alta del reactor (1) y que permite el escape del gas inyectado en el reactor (1);

comprendiendo el indicado procedimiento las etapas siguientes:

- 20 - inyección de un medio de cultivo líquido en el reactor (1) según un caudal controlado con el medio de inyección de líquido (7);
- inyección de un gas en el reactor (1) según un caudal controlado con el medio de inyección de gas (5);
- puesta en circulación del medio de cultivo líquido con el medio de puesta en circulación (4);
- 25 - control del medio de puesta en circulación (4) y del medio de inyección de gas (5) para establecer en el tramo de reacción (23) un régimen de circulación bifásico de gas/líquido horizontal del tipo de circulación estratificada o circulación con bolsas o con burbujas alargadas, donde el gas inyectado por el medio de inyección (5) sube hasta el medio de escape (6) circulando por la canalización de reacción (2), en un sentido de circulación que va del extremo bajo (21) hasta el extremo alto (22) de la canalización de reacción (2) de forma que el gas inyectado y el medio de cultivo líquido establezcan el indicado régimen de circulación bifásica de gas/líquido horizontal en el tramo de reacción (23) sustancialmente horizontal;
- 30 donde la puesta en circulación del medio de cultivo líquido no es realizada por un gasosifón o dispositivo elevador de gas, de forma que la transferencia de gas/líquido no se realiza en el interior de una columna de burbujas sino a lo largo de un tramo de reacción (23) sustancialmente horizontal en el cual la circulación sigue el indicado régimen de circulación bifásico de gas/líquido horizontal.

35 **2.** Procedimiento según la reivindicación 1, en el cual el medio de puesta en circulación (4) está situado en la canalización de retorno (3) y pone en circulación el medio de cultivo líquido en la canalización de reacción (2) desde el extremo bajo (21) hasta el extremo alto (22) de la indicada canalización de reacción (2), en el mismo sentido de circulación que el gas inyectado.

40 **3.** Procedimiento según la reivindicación 1, en el cual el medio de puesta en circulación (4) está dispuesto en la canalización de retorno (3) y pone en circulación el medio de cultivo líquido en la canalización de reacción (2) desde el extremo alto (22) hasta el extremo bajo (21) de la indicada canalización de reacción (2), en un sentido de circulación opuesto al sentido de circulación del gas inyectado.

4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 2 o 3, en el cual la inyección de gas se realiza con el medio de inyección de gas (5) situado en la parte baja del reactor (1), entre el medio de puesta en circulación (4) y el extremo bajo (21) de la canalización de reacción (2).

45 **5.** Procedimiento según la reivindicación 4, en el cual la canalización de retorno (3) presenta un desnivel (39) situado entre el medio de puesta en circulación (4) y el medio de inyección de gas (5), formando el indicado desnivel (39) una diferencia de niveles entre el medio de puesta en circulación (4) y el medio de inyección de gas (5), evitando que el gas inyectado por el medio de inyección de gas (5) se desplace en dirección al medio de puesta en circulación (4).

6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual la puesta en circulación del medio de cultivo líquido se realiza con el medio de puesta en circulación (4) que es un medio de propulsión mecánica situado en la canalización de retorno (3).
- 5 7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual el medio de escape (6) está situado río arriba del medio de puesta en circulación (4) del medio de cultivo líquido con relación al sentido de circulación del gas, evitando que el gas circule a través del indicado medio de puesta en circulación (4) y no perjudique a su funcionamiento.
- 10 8. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende la circulación de al menos un cuerpo de limpieza (10) por el interior de las canalizaciones de reacción (2) y de retorno (3) y a través del medio de puesta en circulación (4) del medio de cultivo líquido.
- 15 9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual el reactor (1) comprende:
- una canalización de cortocircuito (90) situada en paralelo a la canalización de retorno (3) y que conecta dos puntos de conexión (91, 92) previstos en el reactor (1), del cual un primer punto de conexión (91) situado en la canalización de reacción (2) y un segundo punto de conexión (92) situado en la canalización de retorno (3) o en la canalización de reacción (2);
 - dos válvulas (93, 94) situadas a uno y otro lado de dicho primer punto de conexión (91) con una de las válvulas (94) situada en la canalización de cortocircuito (90); y
 - dos válvulas (95, 96) situadas a uno y otro lado de dicho segundo punto de conexión (92) con una de las válvulas (96) situada en la canalización del cortocircuito (90);
- 20 y el procedimiento comprende una etapa de manipulación de las válvulas (93, 94, 95, 96) para aislar la porción de reactor (1) situada entre el primer (91) y el segundo (92) puntos de conexión por el lado de la canalización de reacción (2) de forma que la mezcla de gas/medio de cultivo líquido circule por la canalización del cortocircuito (90) y por la porción del reactor (1) no aislada entre el primer (91) y el segundo (92) puntos de conexión por el lado de la canalización de retorno (3).
- 25 10. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual el procedimiento es puesto en práctica en un conjunto de reactores (1A; 1B) fotosintéticos adaptados para el cultivo de microorganismos fotosintéticos que comprende al menos dos reactores (1A; 1B) conformes a una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, a saber un primero (1A) y un segundo (1B) reactores, y que comprenden al menos una canalización de conexión (71, 72) que asegura una conexión fluidica entre el primer reactor (1A) y el segundo reactor (1B), y al menos una válvula (77, 78) situada en la indicada canalización de conexión (71, 72).
- 30 11. Procedimiento según la reivindicación 10, en el cual el conjunto comprende dos canalizaciones de conexión (71, 72) entre los dos reactores (1A, 1B), cada uno provisto de al menos una válvula (77, 78), del cual:
- una primera canalización de conexión (71) que conecta un punto de entrada (73) situado en el primer reactor (1A) río arriba del medio de puesta en circulación (4) de dicho primer reactor con un punto de salida (74) situado en el segundo reactor (1B) río abajo del medio de puesta en circulación (4) de dicho segundo reactor (1B); y
 - una segunda canalización de conexión (72) que conecta un punto de entrada (75) situado en el segundo reactor (1B) río arriba del medio de puesta en circulación (4) de dicho segundo reactor (1B) con un punto de salida (76) situado en el primer reactor (1A) río abajo del medio de puesta en circulación (4) de dicho primer reactor (1A).
- 40 12. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el cual la etapa de control comprende una etapa de control de la velocidad de circulación del líquido en la canalización de reacción (2) entre 0,1 y 0,2 m/s con el fin de establecer un régimen de circulación bifásico del tipo de circulación estratificada.
- 45 13. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el cual la etapa de control comprende una etapa de control de la velocidad de circulación en la canalización de reacción (2) entre 0,2 y 1 m/s con el fin de establecer un régimen de circulación bifásico del tipo de circulación con bolsas o con burbujas alargadas.
- 50 14. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual la etapa de control comprende una etapa de control de la velocidad de circulación del gas entre 0,5 y 0,8 m/s.
15. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual el medio de puesta en circulación (4) comprende una hélice (40) accionada en rotación por un motor (41) y en el cual la velocidad de rotación de la hélice es inferior a 100 vueltas por minuto.

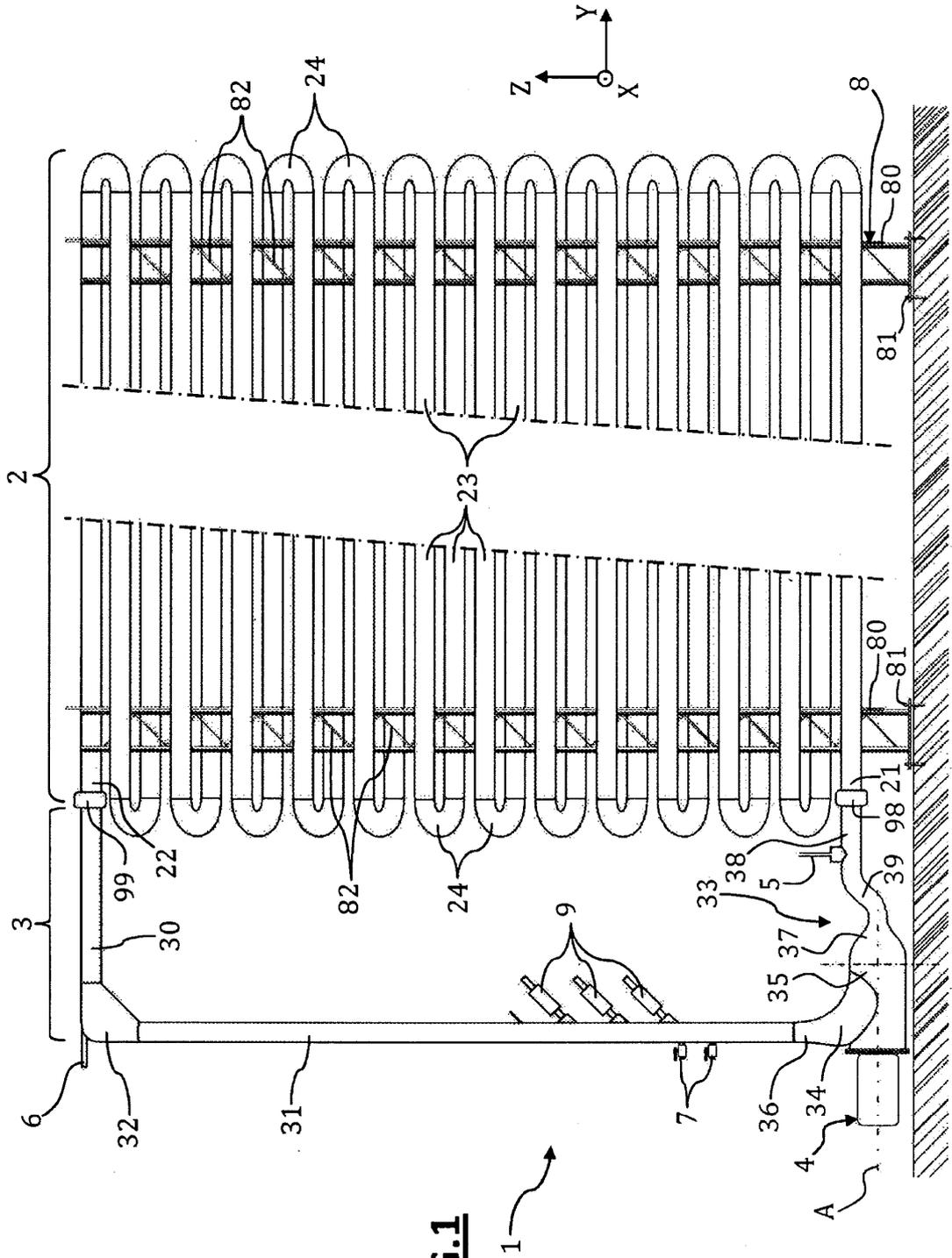


FIG.1

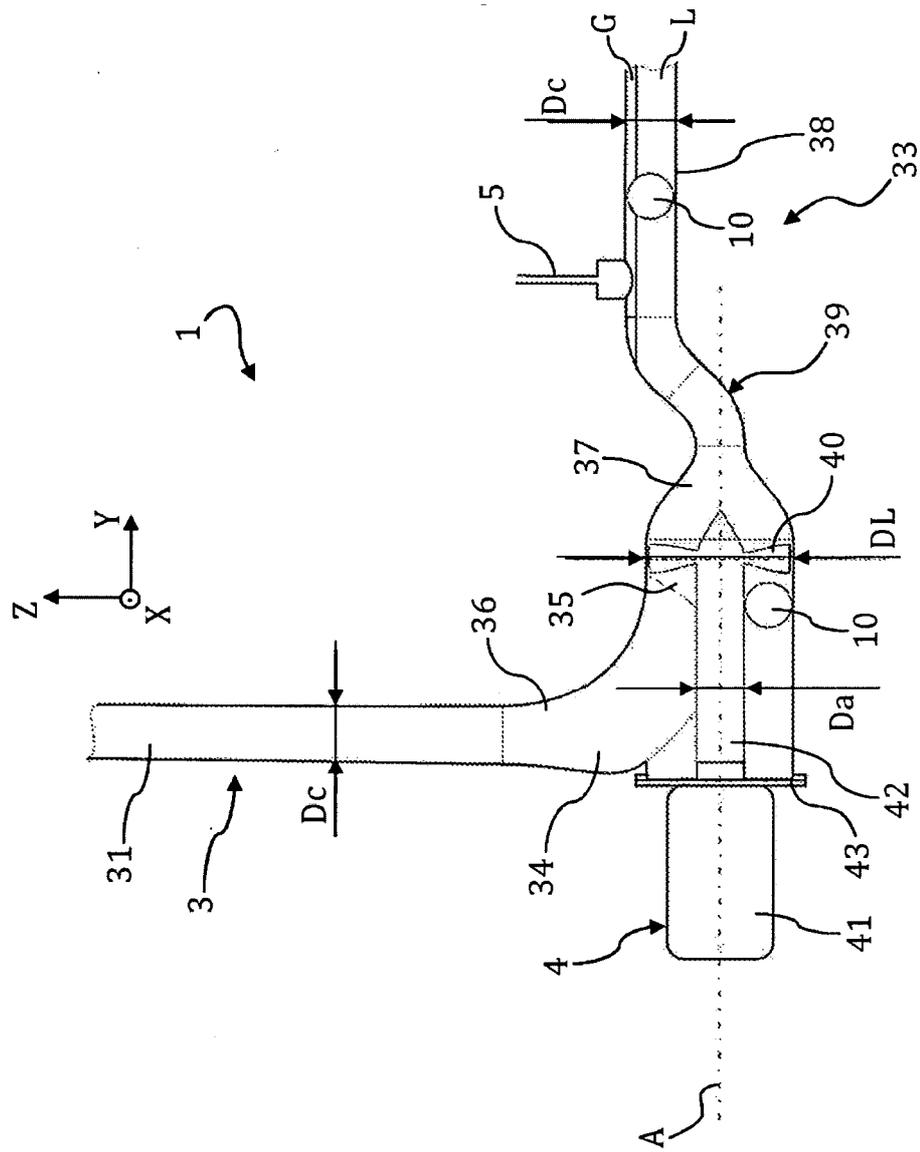


FIG. 2

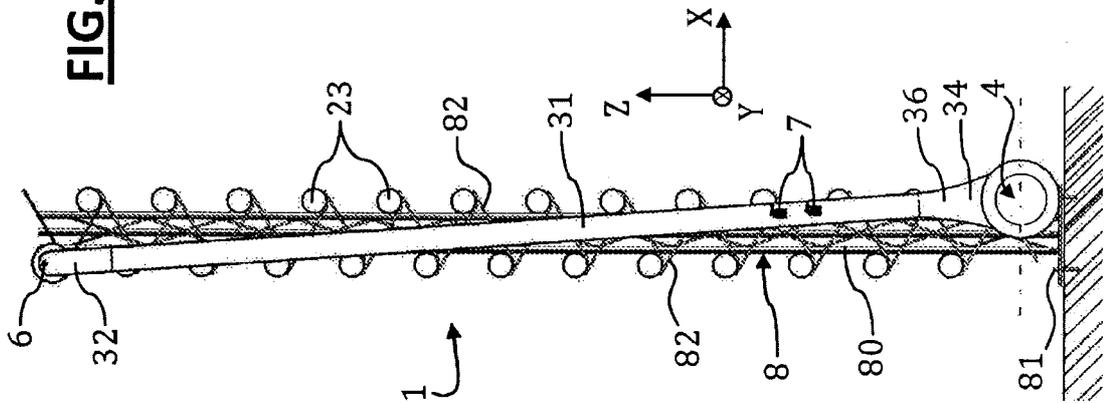


FIG. 3

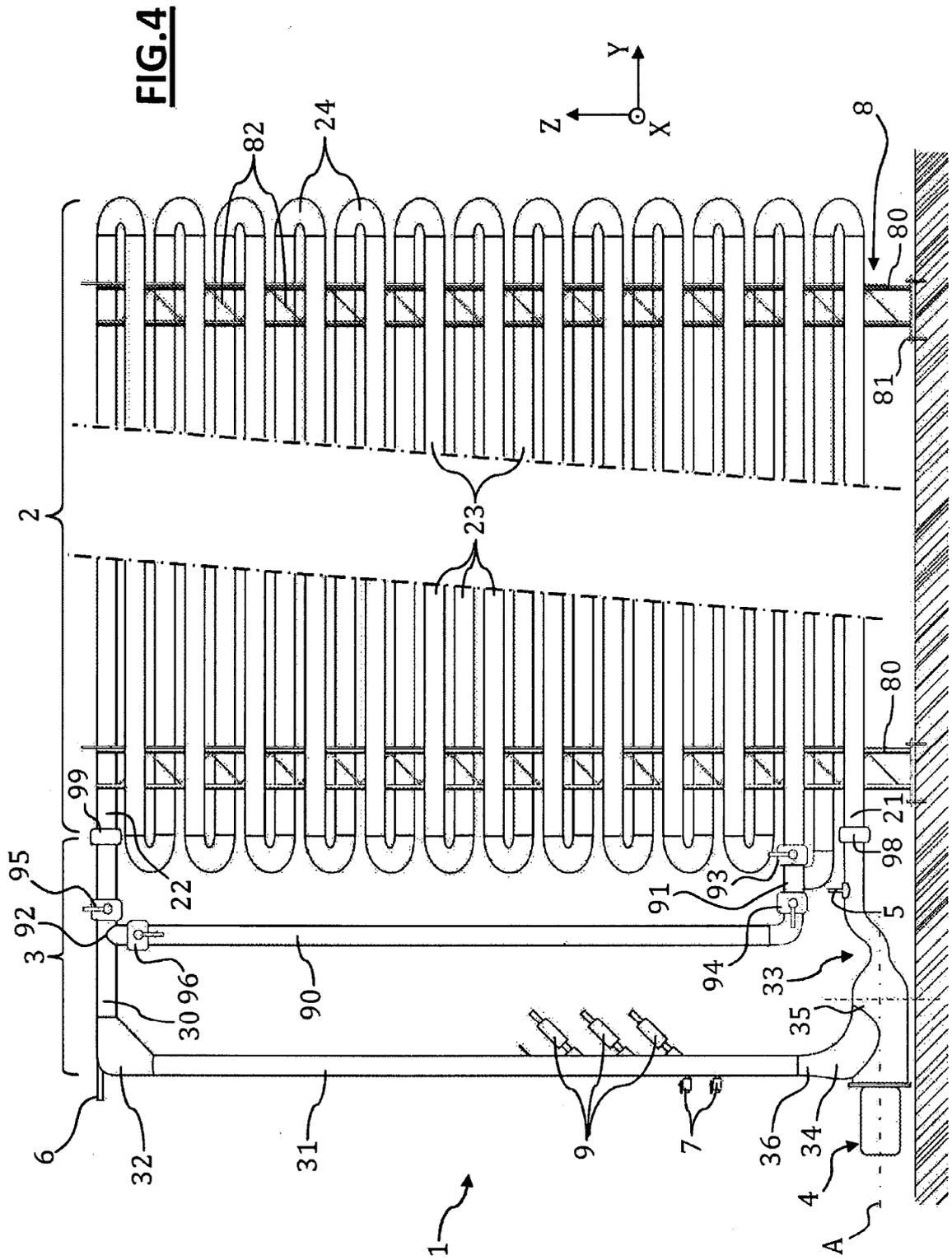
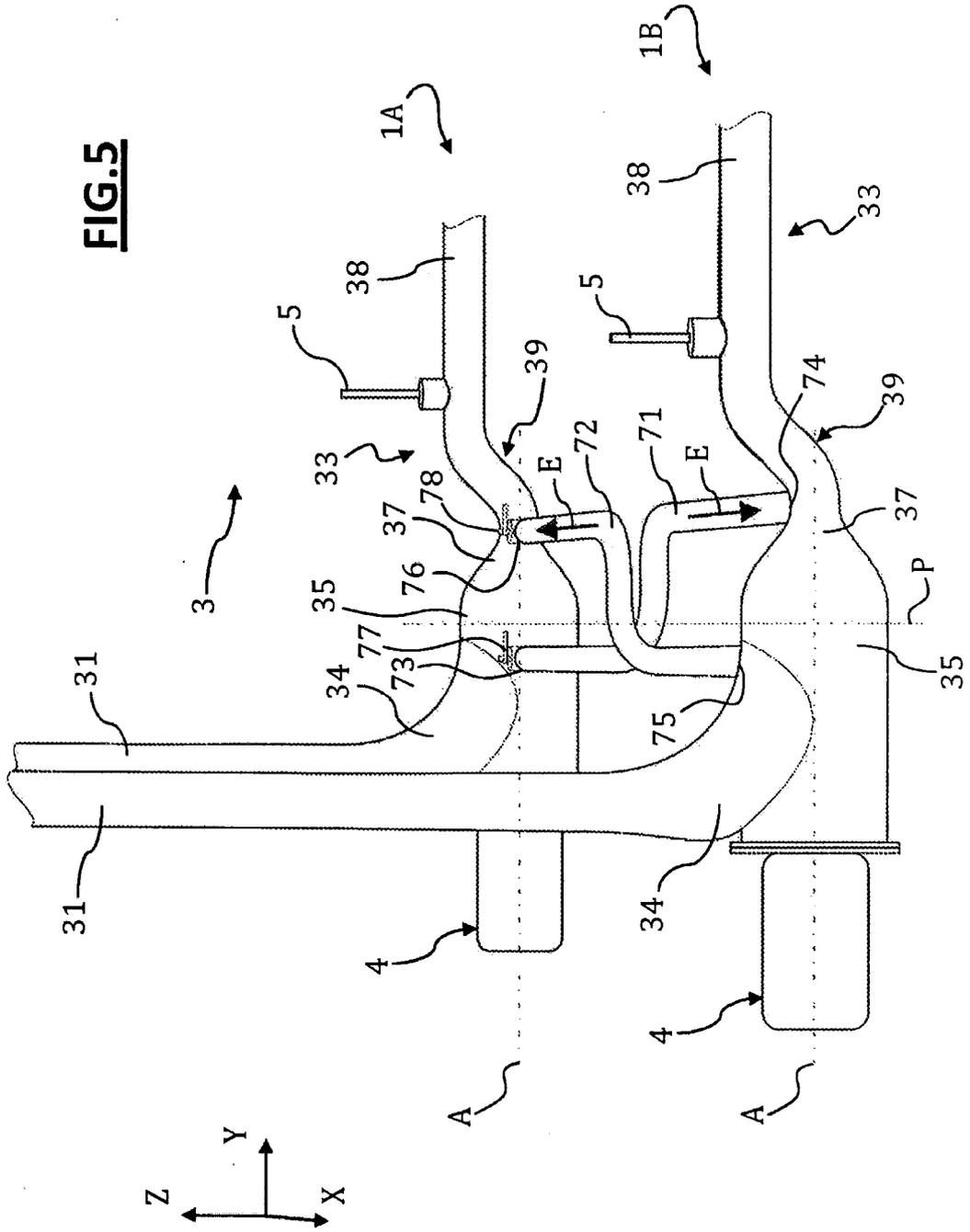
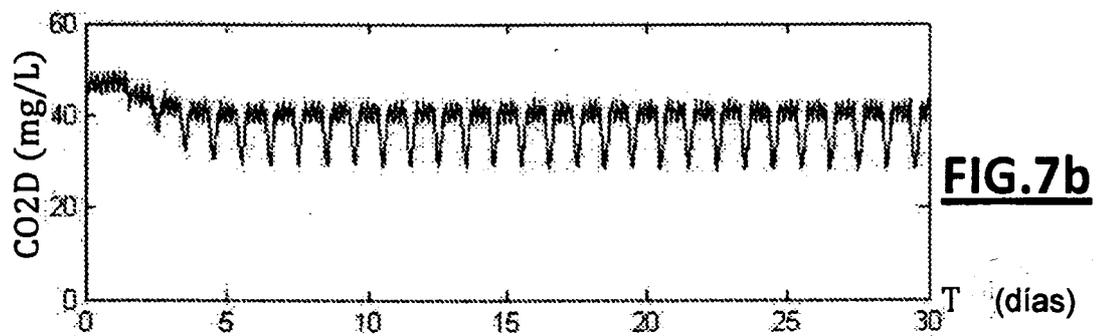
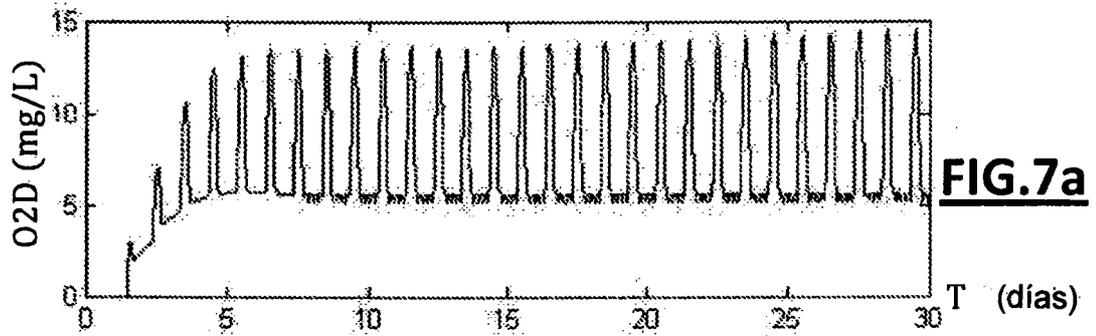
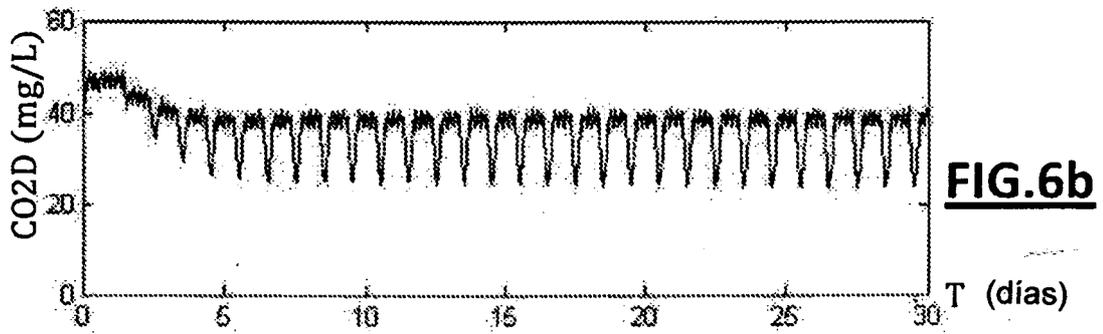
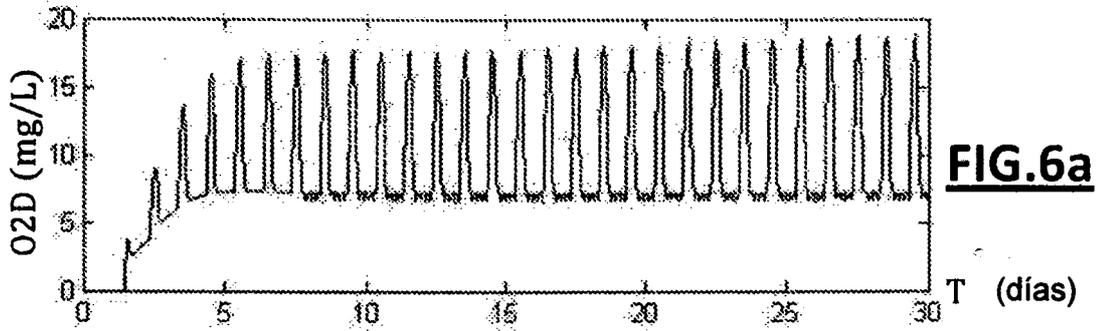


FIG.5





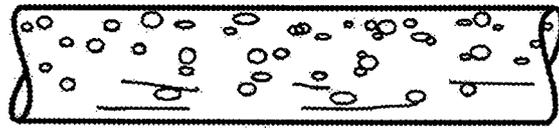


FIG. 8a

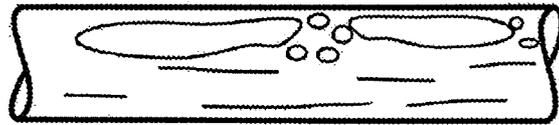


FIG. 8b

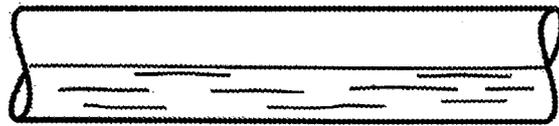


FIG. 8c



FIG. 8d



FIG. 8e

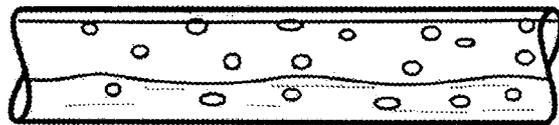


FIG. 8f