



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



① Número de publicación: **2 347 515**

② Número de solicitud: 201030651

⑤ Int. Cl.:
C12M 3/00 (2006.01)

⑫

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN PREVIO

B2

⑫ Fecha de presentación: **03.05.2010**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **29.10.2010**

Fecha de la concesión: **10.05.2011**

⑮ Fecha de anuncio de la concesión: **20.05.2011**

⑯ Fecha de publicación del folleto de la patente:
20.05.2011

⑰ Titular/es: **Universidad Politécnica de Madrid
c/ Ramiro de Maeztu, 7
28040 Madrid, ES**

⑱ Inventor/es: **Fernández González, Jesús**

⑳ Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

㉑ Título: **Fotobiorreactor laminar para la producción de microalgas.**

㉒ Resumen:

Fotobiorreactor laminar para la producción de microalgas. La presente invención es un fotobiorreactor modular para producción de microalgas especialmente indicado para absorber gases de emisión de alto contenido en anhídrido carbónico (CO₂). Está basado en la recirculación continua de un medio líquido que contiene microalgas a través de láminas de tejido que facilitan la absorción de CO₂ y la iluminación de las microalgas. La invención permite que dichos gases se puedan aportar al cultivo desde el interior de la cámara. Presenta las ventajas de que ofrece alta eficiencia en la iluminación de las algas, permite el fácil intercambio de CO₂ desde los gases de emisión al cultivo y es aplicable a gran escala y con bajo coste.

ES 2 347 515 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 40.2.8 LP.

DESCRIPCIÓN

Fotobiorreactor laminar para la producción de microalgas.

5 Campo técnico de la invención

El fotobiorreactor laminar de la invención tiene aplicación en el campo de la producción de biomasa de microalgas a gran escala. La biomasa producida puede servir como materia prima para la obtención de biocarburantes, piensos y productos alimenticios, así como para futuras biorrefinerías. También puede utilizarse en funciones de sumidero de gases de efecto invernadero, principalmente dióxido de carbono (CO₂) y óxidos de nitrógeno procedentes de instalaciones industriales, con mínimo riesgo para operarios y para el entorno.

Antecedentes de la invención

15 La utilización de microalgas para la producción de biomasa es una idea antigua, que tuvo sus orígenes en la década de los 70 del pasado siglo, a raíz de la primera crisis del petróleo de 1973, realizándose trabajos de investigación en diversos laboratorios del mundo para tratar de producir biocombustibles líquidos o gaseosos. En este sentido resultó muy importante el trabajo desarrollado en EEUU entre 1978 y 1986, que concluía que ya en aquella época la producción de biocombustibles con microalgas era potencialmente viable desde un punto de vista técnico, aunque aún no desde un punto de vista económico.

20 En los últimos años la idea de producir biocombustibles a partir de microalgas ha resurgido con mucho ímpetu, con un incremento considerable en la publicación de trabajos dedicados a la producción de microalgas y captación de CO₂, la obtención de estirpes con características específicas o la obtención de productos de uso en diversas ramas de la industria y la salud. Este interés creciente por el cultivo de las microalgas viene motivado, entre otras causas, por considerarlos potenciales sumideros de CO₂ de origen industrial, por la inestabilidad de los precios e inseguridad en el suministro futuro del petróleo y por el descrédito que ha tenido ante la opinión pública el uso de materias primas de uso alimentario para la producción de biocarburantes.

30 A pesar del creciente interés por su cultivo todavía no se ha llegado a un sistema comercial capaz de producir biomasa de microalgas a precios competitivos para hacer viable desde un punto de vista económico la producción de biocombustibles. Para lograr una alta producción de biomasa de microalgas, hay que controlar los siguientes factores limitantes:

- 35 a) Iluminación adecuada de las microalgas, necesaria para realizar la fotosíntesis y que la energía de la radiación luminosa se transforme en energía química para obtener electrones activados, entre otros productos.
- b) Suministro continuo de CO₂ durante la fase de iluminación de las microalgas, necesario para aceptar los electrones activados y producir las moléculas iniciales del metabolismo fotosintético (azúcares).
- 40 c) Eliminación del oxígeno formado en la fotosíntesis para no afectar por fotorrespiración la capacidad fotosintética de las microalgas.
- d) Temperatura adecuada para el tipo de microalgas que se quiera cultivar (las hay psicrófilas, mesófilas y termófilas).
- 45 e) Nutrientes en proporción y cantidad adecuada.
- f) Características físico-químicas del medio de cultivo (principalmente pH, conductividad y salinidad).

50 Los sistemas empleados hasta ahora para el cultivo de las microalgas a gran escala son de dos tipos básicos, con diferentes variantes cada uno de ellos: Los canales o tanques abiertos a la atmósfera con o sin consumo energético para la recirculación del medio y los fotobiorreactores. En estos últimos el medio que contiene las microalgas está aislado de la atmósfera y es recirculado continuamente por el interior de estructuras transparentes de vidrio o de material plástico de diversas formas, como serpentines tubulares, tubos, bolsas o paneles verticales, paneles o tubos inclinados o combinaciones de éstos.

60 Los canales o tanques abiertos a la atmósfera tienen un coste de construcción razonable, pero también una relativamente baja productividad debido a la dificultad de proporcionar el CO₂ necesario al cultivo y a la dificultad de iluminar de forma uniforme todas las algas presentes en el medio cuando el cultivo está crecido. El CO₂ se transfiere al medio acuoso por difusión a partir del aire, donde la concentración de este compuesto es relativamente baja, del orden de 0,03%. En los canales con circulación forzada del agua se mitigan estos efectos pero el consumo energético encarece la producción haciéndola económicamente inviable para la producción de biocarburantes.

65 En los fotobiorreactores existentes hasta el momento, con el medio de cultivo confinado en el interior de estructuras transparentes, se pueden controlar bien los factores referentes a la temperatura, nutrientes y el medio de cultivo, incluso la iluminación de las microalgas, diseñando una geometría adecuada y/o utilizando iluminación artificial, pero el coste de producción para la obtención de biocarburantes no resulta hasta la fecha económicamente viable. Para aumentar la

concentración de CO₂ en el medio de los fotobiorreactores experimentales se recurre al uso de CO₂ comprimido, lo que resulta prohibitivo para la producción de biomasa a gran escala. Para lograr la eliminación del oxígeno formado en la fotosíntesis e impedir su efecto inhibitor, se utilizan sistemas abiertos de aireación, lo que también supone un coste muy elevado por tener que restituir continuamente el CO₂ comprimido. A pesar de que en teoría se pueden utilizar gases procedentes de combustión de combustibles fósiles de instalaciones industriales, hasta ahora no se han realizado instalaciones a nivel comercial que resulten económicamente viables.

Los primeros fotobiorreactores tubulares se patentaron a finales del siglo pasado, destacando entre éstos el desarrollado por el Dr. Otto Pulz y su equipo (WO1998/045409). Entre las patentes recientes relacionadas con este tipo de fotobiorreactores para el cultivo de microalgas cabe citar las siguientes:

La solicitud US 2009/0203116 A1 describe un reactor tubular en el que se refuerza la iluminación interior por medio de fibras ópticas. US 2009/0151241 A1 describe la utilización de una solución de “perfluorodecalina” y un surfactante emulsificados para aumentar la solubilidad del CO₂ en el medio y facilitar la eliminación del oxígeno formado en la fotosíntesis. US 2008/0286851 A1 describe a su vez un reactor cerrado, construido con materiales plásticos transparentes y ligeros, que puede ser desplegado en el campo. Todos ellos resultan relativamente costosos de inversión. Su coste de mantenimiento para la obtención de productos de bajo precio, como materia prima para producir biocarburantes, también es demasiado alto.

La presente invención da solución al problema de la iluminación de las algas al hacer discurrir éstas sobre una lámina soporte de geotextil, que permite una iluminación total y simultánea de todas las microalgas que discurren por dicha lámina. También permite eliminar fácilmente el oxígeno ya que la cara externa del geotextil está expuesta a la atmósfera mientras que la cara interna recibe el CO₂ por difusión en la proporción adecuada.

La solicitud internacional WO 2008/008262 A2 describe un sistema de fotobiorreactores lineales cerrados formados por canales con una cubierta transparente, por los que se hace circular el medio con las algas y la mezcla de gases enriquecidos en CO₂. Los canales cubiertos se pueden interconectar unos con otros. WO 2008/134010 describe un fotobiorreactor cerrado con cubierta de plástico y flotante sobre un canal, por cuyo interior se hace pasar una corriente del medio líquido con las microalgas y gases procedentes de emisiones de instalaciones industriales. WO 2007/011343 A1 describe un reactor tubular inclinado iluminado y conectado con otro tubo vertical opaco. Las microalgas se hacen pasar alternativamente por el tubo iluminado y el opaco. Estas tres solicitudes anteriores tratan de biorreactores cerrados, en los que la alta concentración de CO₂ produce “efecto invernadero” con el consiguiente calentamiento del medio de cultivo y mortandad de las algas. Es éste un problema resuelto por la presente invención, que evita dicho efecto invernadero al estar las microalgas y el medio en contacto directo con la atmósfera. Además, la invención disipa el calor de la radiación térmica que recibe gracias a la evaporación de una parte del agua del medio.

Para que la producción de biomasa de microalgas pueda desarrollarse a gran escala y contribuir sensiblemente a la reducción de las emisiones de las instalaciones industriales, es preciso desarrollar sistemas de bajo coste y fácil instalación que permitan implantarse en grandes extensiones de terreno. Así, para captar el 10% del CO₂ que se produciría en una planta convencional de electricidad de 100 MW que trabajara unas 8000 horas al año cuyas emisiones fueran a razón de 781 t de CO₂ por GWh_e producido, serían necesarias algo más de 600 ha de cultivo de algas, suponiendo que la fijación de CO₂ se produjera a razón de 150 t/ha año (para una producción de unas 80 t de materia seca por ha y año).

El problema que se plantea por tanto en la técnica es conseguir un proceso industrial en la producción de biomasa de microalgas eficiente tanto en capacidad como en coste. La solución que aporta la presente invención es un fotobiorreactor laminar con condiciones óptimas de iluminación y de suministro de CO₂ que consigue altas producciones de algas con bajos costes de inversión y mantenimiento.

Descripción de la invención

El fotobiorreactor de la invención para producción de microalgas está especialmente indicado para absorber gases de emisión de alto contenido en CO₂. Está basado en la recirculación continua de un medio líquido que contiene las microalgas a través de una o varias láminas superpuestas de tejido, facilitando la absorción de CO₂ y la iluminación de las microalgas.

El cuerpo de cada módulo del fotobiorreactor está constituido por un panel (Figuras 1, 2 y 3), que comprende un bastidor o marco (1) cuadrado o rectangular sobre el que se colocan por ambos lados una o varias láminas de tejido. En el interior del bastidor se coloca una tubería porosa (2) que se conecta al exterior por medio de una válvula (3) y que está sujeta a un soporte de plástico (4) fijo al marco del bastidor. El bastidor, de un cierto espesor, está cerrado por los lados delantero y posterior con lámina de malla ligera tipo mosquitera (5). Las mallas a ambos lados dejan una cámara de aire delimitada por las caras internas del marco del bastidor y las propias mallas. Las mallas deben ser de una luz lo suficientemente pequeña para que la tensión superficial del medio de cultivo con las microalgas haga que el líquido cubra totalmente dicha luz, y que al descender forme una película continua.

Sobre las láminas de malla del bastidor pueden colocarse láminas de tejido (6). Estas láminas de tejido, una vez humedecidas se adhieren directamente a las láminas de malla que recubren ambos lados del bastidor, y se fijan a

ES 2 347 515 B2

éste por medio de unos listones angulares (7) que se adaptan a sus esquinas. De esta manera, con el mismo bastidor-soporte, se pueden utilizar distintos tipos de láminas con diferentes propiedades en cuanto a la adherencia de las distintas microalgas.

5 El conjunto se coloca en posición vertical sobre una estructura soporte (Figuras 4 y 5), que lleva en su parte inferior, y a una cierta altura del suelo un canal (8) de una anchura ligeramente superior a la del bastidor y sobre el que reposa la parte baja del panel. Los laterales del panel se fijan sobre los laterales de la estructura (9).

10 De forma que la invención es un fotobiorreactor laminar para la producción de microalgas, que comprende un panel formado por un marco o bastidor tapado por ambos lados por al menos una lámina de malla por la que fluye en sentido descendente un medio líquido que contiene microalgas, y una cámara interior entre dichas láminas de malla y las paredes del marco o bastidor estanca al aire mediante cierre hidráulico. Dicha cámara está limitada por las paredes del bastidor y por las paredes laterales de tejido humedecidas de forma que las paredes humedecidas constituyen el cierre hidráulico a la salida del aire interior de la cámara.

15 Una realización del fotobiorreactor de la invención, es que dicha lámina de malla sea de material sintético, fibra de vidrio, fibra natural, material metálico, o combinaciones de ellos. Una realización preferente del fotobiorreactor es que dicha lámina de malla esté suplementada por al menos una lámina de tejido, y una realización más preferente aún es que dicha lámina de tejido sea de material sintético, fibras naturales, o combinaciones de ellos. La realización más preferente es que dicho material sintético esté seleccionado del grupo compuesto por pvc, poliestireno y polipropileno.

20 Las láminas de tejido también pueden cubrirse por la parte externa con plástico transparente cuando se desee. Entre las láminas de tejido y el plástico transparente deberá existir una pequeña distancia de 1 ó 2 cm que permitirá proteger al cultivo de las bajas temperaturas, en su caso, o permitirá también la renovación del aire por convección y el arrastre del vapor de agua formado, lo que consigue automáticamente la refrigeración del panel, importante para temperaturas altas. De forma que otra realización de la invención es que el fotobiorreactor presente un cubrimiento de plástico transparente sobre dichas láminas en ambos lados.

25 Por la parte superior del bastidor y en toda su longitud se vierte por medio de una tubería perforada o acanalada (10) el medio de cultivo líquido que contiene las microalgas, el cual desciende por las láminas laterales formando una película continua. El líquido que desciende es recogido en un canal colector que vierte el medio con las microalgas sobre un sistema de depósito (11), del que una bomba (12) lo puede impulsar nuevamente a través de un conducto (13), dotado de una válvula de regulación del flujo (14) y de un indicador de caudal (15), a la tubería de la parte superior del bastidor (10).

30 De forma que en otra realización de la invención los bordes inferiores de dichas láminas entregan el medio líquido que contiene microalgas a un canal (8) que comunica con un sistema de depósito (11) situado en la parte inferior del fotobiorreactor.

35 En la presente solicitud se entiende por un “sistema de depósito” uno o varios depósitos dispuestos en serie. En caso de que el fotobiorreactor contemple sólo la recirculación del medio líquido será necesario un único depósito en la parte inferior del panel con la bomba de circulación. En el caso de que se desee la sedimentación de las microalgas se incluirá al menos un depósito decantador previo al anterior, que recoja directamente el vertido del líquido con microalgas y permita la sedimentación. El líquido sobrante de dicho depósito decantador será recogido por el depósito siguiente, que contendrá la bomba de circulación.

40 De forma que una realización preferible del fotobiorreactor de la invención incluye que el medio líquido sea recirculado a la parte superior del bastidor desde el sistema de depósito, y en otra realización más dicho sistema de depósito incluye un depósito decantador que permite la sedimentación de las microalgas. Otra realización contempla que dicha sedimentación se realice en presencia de floculantes.

45 En la parte externa del bastidor existe un conducto con una válvula (16) que conecta con la tubería perforada o porosa del interior del panel (2). Una realización del fotobiorreactor de la invención es que por dicha tubería se introduzca un gas al interior de dicha cámara. Una realización preferible es que dicho gas esté aislado de la radiación solar directa. La composición preferible de dicho gas es aire, anhídrido carbónico, gases procedentes de combustión o sus mezclas.

50 La transferencia del CO₂ al medio de cultivo de las microalgas se produce por difusión desde el interior de la cámara hasta las paredes de ésta, por las que discurre el medio de cultivo en flujo descendente. La parte externa de las láminas laterales está en contacto directo con el aire atmosférico.

55 La exposición directa de las láminas de tejido al aire ambiente favorece la evaporación continua del agua del medio que baña dichas láminas y produce la concentración de las microalgas en el medio, lo que consigue un ahorro energético a la hora de separar las microalgas de la fase líquida. En el caso de que no se desee que se evapore el agua del medio, se puede colocar un film de plástico transparente de polietileno, por ejemplo, adherido a la parte externa de las láminas del fotobiorreactor con continuidad por la parte superior de la tubería perforada situada por encima del bastidor, para evitar además la contaminación de cultivos monoespecíficos, actuando entonces el fotobiorreactor aislado del aire del exterior.

ES 2 347 515 B2

El fotobiorreactor (PBR) de la invención puede utilizarse para producir biomasa de algas, y permite también concentrar la biomasa de las microalgas y facilitar su cosecha. Para complementar y explicar la información anterior, se pueden considerar las siguientes modalidades de funcionamiento:

- 5 A) Como PBR de una fase, para la producción de las microalgas en el medio líquido trabajando en discontinuo. Para esta modalidad se utilizan las láminas de malla del PBR fabricadas en material de escasa o nula adherencia de las microalgas como por ejemplo tela metálica, tela de pvc o fibra de vidrio. Una vez conseguida la concentración adecuada de microalgas en el medio, se puede continuar el funcionamiento del PBR durante varios días sin reponer el agua que se evapora; de esta forma se concentran las microalgas en el medio líquido. Cuando se utilizan mallas laterales que presentan poca o nula capacidad de adhesión, el dispositivo sirve también como concentrador de microalgas en el propio medio líquido. Una vez retirada la cosecha de algas concentradas se añade nuevo medio al sistema de depósito inferior del fotobiorreactor (11) y se empieza un nuevo ciclo.
- 10
- 15 B) Como PBR de una fase, para la producción de las microalgas en el medio líquido trabajando en continuo. Para esta modalidad se utilizan las mallas del PBR igual que en el tipo A) pero la circulación de las microalgas puede suspenderse a voluntad; en especial durante los periodos nocturnos en que falta la iluminación. Durante los periodos de parada de la bomba de circulación se puede proceder a retirar del contenedor el medio con las algas crecidas y a su sedimentación sin afectar a aquellas microalgas que se encuentran retenidas en el líquido que embebe las mallas del fotobiorreactor. Posteriormente se rellena con medio de cultivo nuevo el contenedor hasta alcanzar el volumen deseado.
- 20
- C) Como PBR de células inmovilizadas y adheridas al tejido que proliferan “*in situ*” quedando atrapadas hasta formar una capa lo suficientemente gruesa como para que se pueda retirar junto con el tejido soporte. Para esta finalidad serían recomendables los tejidos de poliestireno tipo geotextil o tejidos de celulosa o fibras naturales, que se colocarían sobre las láminas de malla de los bastidores. Una vez que las microalgas hayan alcanzado la densidad adecuada sobre el tejido soporte se detendría el suministro del medio a la tubería perforada y, una vez secas las láminas al aire, se retiraría el tejido con las microalgas adheridas desecadas para ser sometido a un proceso de extracción adecuado según los productos que se deseen.
- 25
- 30 D) Como PBR de células inmovilizadas de crecimiento continuo con recolección por decantación. Se trata de un sistema análogo al descrito en C) pero dejando que continúe el crecimiento hasta que la capa de microalgas sea tan gruesa que se desprenda y caiga con el medio líquido al canal colector. Para este caso se necesita intercalar un depósito decantador antes del que contiene la bomba de circulación, para ir retirando las masas de microalgas decantadas.
- 35
- E) Como PBR mixto con poblaciones heterogéneas de microalgas, en el que algunas especies podrían quedar inmovilizadas y otras de menor tamaño o dotadas de flagelos o cilios podrían moverse en la corriente del agua sin ser atrapadas en el tejido de la lámina. Para esta finalidad se utilizarían láminas de tejido como las utilizadas en el tipo C) superpuestas sobre las mallas. Para la recolección de ambos tipos de algas se debería detener la circulación del medio y, una vez secas las láminas con las microalgas inmovilizadas, se retirarían para proceder al concentrado de aquellas incluidas en el medio líquido por circulación de este sobre las mallas del PBR.
- 40

45 El fotobiorreactor de la invención presenta las siguientes ventajas:

- a) es aplicable a gran escala y con bajo coste,
- 50 - b) consigue una alta eficiencia en la iluminación de las algas,
- c) permite el fácil intercambio de CO₂ desde los gases de emisión al cultivo,
- d) ofrece la posibilidad de realizar la sedimentación de las microalgas del medio líquido sin afectar a las que están embebidas en las láminas de geotextil, que siguen multiplicándose,
- 55 - e) posibilita recolectar las microalgas desecadas incluidas en una lámina de tejido,
- f) permite la concentración del cultivo de algas, y
- 60 - g) evita el calentamiento del cultivo al tratarse de un dispositivo con refrigeración natural continua que elimina el calor latente del agua evaporada de la capa más externa de la lámina de tejido, y por estar confinado el CO₂ en el interior de la cámara donde apenas llega radiación infrarroja.

65 Un PBR puede estar compuesto por varios módulos que vierten a un canal común y que reciben el medio de cultivo con las microalgas a través de un conducto también común, del que sale una toma para cada panel. Se trataría de un dispositivo modular por repetición de la misma estructura un número indefinido de veces de longitud variable

ES 2 347 515 B2

en función de los módulos que se conecten. De forma que la realización más preferible de la invención es un conjunto de al menos dos fotobiorreactores conectados en paralelo en una estructura de tipo modular.

5 Con la intención de mostrar la presente invención de un modo ilustrativo, aunque en ningún modo limitante, se aportan los siguientes ejemplos.

Ejemplos

Ejemplo 1

10

Fotobiorreactor modular

15 Se construyó un bastidor (Figura 1) con tubo hueco cuadrado de PVC (1) de 7 x 7 cm de sección exterior y 2 mm de espesor. El bastidor tenía unas medidas exteriores de 200 cm de largo, 150 cm de alto y 7 cm de espesor. La zona interior delimitada por el marco del bastidor tenía una longitud de 1,86 cm de largo, 1,36 cm de alto y 7 cm de profundidad, lo que resultaba en un volumen interno de 177 litros. En el interior del bastidor se colocó una tubería de caucho porosa (2) cuyos poros se abren a una presión interior a partir de 0,5 atmósferas, conectada al exterior a través del marco del bastidor (3) para unirse a la tubería que llevaba aire enriquecido con el CO₂. La tubería porosa se colocó sobre un soporte en H, fabricado con tubo de pvc (4). Se colocó una lámina de malla de plástico de tipo “mosquitera” de 1 milímetro cuadrado de luz a ambos lados del bastidor, que se tensó y se adhirió a éste con pegamento (5 de la Figura 2). Ambos lados del bastidor se recubrieron con un paño de geotextil (6 de la Figura 3) de 150 g/m² que se colocó sobre la malla y se fijó por medio de listones angulares de pvc (7) de 25 x 25 mm colocados sobre las esquinas exteriores de los tubos laterales que forman las paredes de dicho bastidor. El tejido geotextil humedecido se adhería perfectamente a la lámina de malla mosquitera.

25

El bastidor se colocó reposando sobre el fondo de un canal (8 de la Figura 4) de pvc de 10 cm de anchura, incluido en una estructura de acero protegido de la oxidación (9) a la que se fijó (Figura 5).

30 En la parte superior de las láminas se colocó una tubería (10) acanalada según una generatriz, por la que se hizo fluir el medio de cultivo con las microalgas. El líquido que escurre de las paredes del fotobiorreactor es recogido en el canal (8) y se vierte a un depósito colector inferior de plástico transparente (11), situado por debajo del canal, en cuyo interior hay una bomba sumergida (12) que eleva el agua a través de una tubería vertical (13) a la tubería acanalada de vertido (10) que riega la parte alta del bastidor. Una válvula intermedia (14) en el tubo de subida regula el flujo adecuado de vertido del medio sin que se produzcan ni excesos de fluido que no puedan ser absorbidos por el geotextil ni falta de flujo que deje secas las láminas. Se intercala en la tubería un indicador de flujo (15) para verificar el movimiento del líquido en su interior. Por el conector externo (16) de la tubería porosa (2) del interior del panel, se inyecta aire enriquecido en CO₂ no tóxico para las algas.

40 Ejemplo 2

Funcionamiento de fotobiorreactor modular en la modalidad de “producción discontinua”

45 Se utilizó el fotobiorreactor del ejemplo 1 con el bastidor cubierto únicamente por la lámina de malla mosquitera de polietileno, para la producción de biomasa de algas. Se preparó una cantidad de 120 litros de medio de cultivo, a base de compuestos minerales fabricado a partir de fertilizantes utilizados en fertirrigación, con una concentración molar de $8,8 \times 10^{-4}$ M de NO₃⁻ y $3,6 \times 10^{-5}$ M de PO₄³⁻, idóneo para el cultivo de microalgas. Este medio de cultivo se introdujo en el depósito inferior (11) del fotobiorreactor. Como inóculo se utilizó un cultivo poliespecífico de microalgas, con el predominio de *Chlorella sorokiniana*, que se añadió al medio de cultivo del depósito. La cantidad de inóculo añadida fue de 0,174 g de materia seca por litro de medio de cultivo (20,88 g para los 120 litros), lo que dio una medida inicial de densidad óptica de 0,541 a 580 nm de longitud de onda. El depósito (11), incorporaba en su interior una bomba sumergida (12) para impulsar el medio de cultivo con las microalgas hasta la tubería perforada que lo vertía sobre la parte superior del panel. El medio de cultivo con las microalgas que salía por el tubo perforado descendía por las láminas de malla de pvc que forman paredes laterales del fotobiorreactor (5) y se recogía en el canal inferior (8) que lo reconducía al depósito (11) para ser bombeado de nuevo a la tubería de pvc perforada, en un funcionamiento cíclico. El sistema se mantuvo en un ciclo natural de iluminación y oscuridad naturales. Por la toma externa de la tubería porosa situada en el interior del reactor se inyectó el gas procedente de un escape de motor de gasolina a razón de 1 litro de gas de escape por minuto, siendo su contenido medio en CO₂ del orden del 8% en volumen, lo que en Condiciones Normales proporcionaría aproximadamente 9,8 g de CO₂/hora. El ejemplo que se describe corresponde a un periodo de 12 horas, con lo que se proporcionaron al cultivo 117,6 g de CO₂ diariamente, cuyo contenido en carbono sería de 32 g.

60 Debido a la evaporación que ocurre en los paneles, al cabo de 5 días de cultivo el volumen del líquido del depósito había pasado de 120 a 30 litros y la cantidad de microalgas contenida en dicho medio era de 234,12 g (expresada en materia seca) lo que supuso un incremento de 213,12 g en los 5 días (incremento medio de 42,6 g/día). Del volumen final (30 L), cuya concentración era de 7,8 g/litro de materia seca de microalgas, se retiraban 27 litros y se dejaba el resto para que sirviera de inóculo para el siguiente cultivo (23,4 g) procediéndose a completar el resto del volumen hasta los 120 litros con medio de cultivo recién preparado. Se repitió el ciclo durante otros 5 días y así sucesivamente.

ES 2 347 515 B2

Los 27 litros de cultivo concentrado de algas se concentraron por centrifugación de 120 a 30 litros (reducción de un 75%). Los 213,12 g de materia seca de microalgas producidas en los 5 días tenían un contenido en carbono de 85,25 g (40% de la materia seca) y el CO₂ suministrado en los 5 días procedente del escape del motor tenía un contenido en carbono de $32 \times 5 = 160$ g, por lo que la tasa de fijación de CO₂ respecto al CO₂ suministrado fue del 53,3%.

5

Ejemplo 3

Fotobiorreactor constituido por varios módulos conectados en paralelo

10

Tres unidades del fotobiorreactor del ejemplo 1 se combinaron de forma lineal utilizando el mismo canal de recolección para todas ellas (Figura 6). El suministro de aire enriquecido con CO₂ se realizó a través de una tubería principal (17) de la que se sacaron tomas para cada unidad de fotobiorreactor. El medio de cultivo con las microalgas impulsado por la bomba (12) sumergida en el depósito (11), se distribuyó a cada unidad de fotobiorreactor por medio de una tubería general (18) de la que salían las tomas para cada unidad. Es decir, las conexiones de cada unidad con las líneas de suministro de gases y del cultivo con las microalgas, se realizó “en paralelo”.

15

Breve descripción de las figuras

20

Figura 1.- *Bastidor soporte del panel fotobiorreactor.*

1. Marco del bastidor
2. Tubería porosa para suministro de gases al interior de la cámara del fotobiorreactor.
3. Válvula y conducto para la entrada de gases a la tubería porosa
4. Soporte de la tubería porosa en el interior de la cámara del fotobiorreactor.

25

30

Figura 2.- *Bastidor del fotobiorreactor cubierto en ambos lados por las láminas de malla.*

5. Lámina de malla ligera tipo mosquitera que cubre ambos lados del bastidor, dejando una cámara de aire entre ellas.

35

Figura 3.- *Bastidor del fotobiorreactor cubierto en ambos lados por láminas de malla y por una lámina de tejido.*

6. Lámina de tejido colocada sobre la lámina de malla del fotobiorreactor.
7. Listones angulares para la sujeción de las láminas de tejido al bastidor del fotobiorreactor.

40

Figura 4.- *Estructura soporte de un panel del fotobiorreactor.*

8. Canal sobre el que descansa el bastidor del fotobiorreactor que actúa como receptor del flujo de cultivo de microalgas que descienden por las láminas laterales de los paneles.
9. Soportes laterales de los paneles y del canal.
10. Tubería acanalada de vertido del medio de cultivo con las microalgas sobre la parte superior del bastidor del fotobiorreactor.
11. Sistema de depósito colector del medio de cultivo con las microalgas.
12. Bomba de circulación del medio de cultivo con las microalgas.
13. Tubería de subida del medio de cultivo con las microalgas.
14. Válvula de regulación del flujo del medio de cultivo con las microalgas.
15. Indicador de flujo.

45

50

55

60

Figura 5.- *Unidad modular de fotobiorreactor.*

16. Conducto de entrada de gases que conecta con la tubería porosa del interior de la cámara del fotobiorreactor, que contiene una válvula de regulación del caudal.

65

ES 2 347 515 B2

Figura 6.- *Visión de conjunto de un fotobiorreactor de 3 módulos.*

17. Conducto general de los gases que se van a introducir en el interior de las cámaras de cada unidad de fotobiorreactor.
18. Tubería general de conducción del medio de cultivo con las microalgas que se distribuye a cada panel a través de las respectivas tuberías perforadas situadas encima de cada bastidor.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

ES 2 347 515 B2

REIVINDICACIONES

1. Fotobiorreactor laminar para la producción de microalgas, que comprende:

- un panel formado por un marco o bastidor (1) tapado por ambos lados por al menos una lámina de malla (5) por la que fluye en sentido descendente un medio líquido que contiene microalgas, y
- una cámara interior entre dichas láminas de malla (5) y las paredes del marco o bastidor (1), estanca al aire mediante cierre hidráulico.

2. Un fotobiorreactor según la reivindicación 1, en el que dicha lámina de malla (5) es de material sintético, fibra de vidrio, fibra natural, material metálico, o combinaciones de ellos.

3. Un fotobiorreactor según las reivindicaciones 1 ó 2, en el que dicha lámina de malla (5) está suplementada por al menos una lámina de tejido (6).

4. Un fotobiorreactor según la reivindicación 3, en el que dicha lámina de tejido (6) es de material sintético, fibras naturales, o combinaciones de ellos.

5. Un fotobiorreactor según la reivindicación 4, en el que dicho material sintético está seleccionado del grupo compuesto por pvc, poliestireno y polipropileno.

6. Un fotobiorreactor según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que presenta un cubrimiento de plástico transparente sobre dichas láminas por ambos lados.

7. Un fotobiorreactor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los bordes inferiores de dichas láminas (5, 6) vierten el medio líquido que contiene microalgas a un canal (8) que comunica con un sistema de depósito (11) situado en la parte inferior del fotobiorreactor.

8. Un fotobiorreactor según la reivindicación 7, en que el medio líquido es recirculado a la parte superior del bastidor (1) desde dicho sistema de depósito (11).

9. Un fotobiorreactor según una de las reivindicaciones 7 u 8, en el que dicho sistema de depósito (11) incluye un depósito decantador que permite la sedimentación de las microalgas.

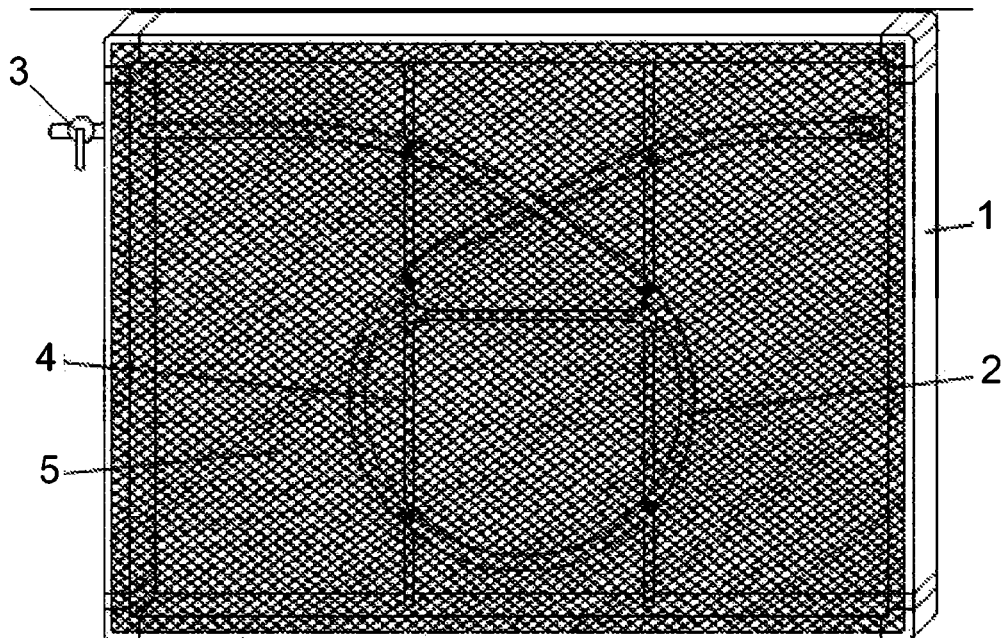
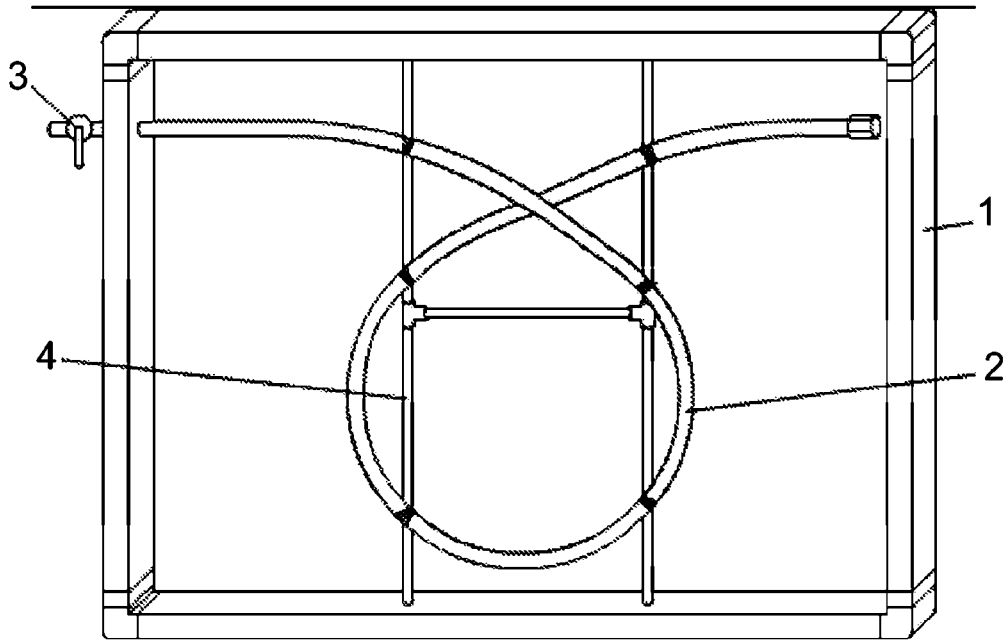
10. Un fotobiorreactor según la reivindicación 9, en el que dicha sedimentación se realiza en presencia de floculantes.

11. Un fotobiorreactor según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que se introduce un gas al interior de dicha cámara.

12. Un fotobiorreactor según la reivindicación 11, en el que dicho gas está aislado de la radiación solar directa.

13. Un fotobiorreactor según las reivindicaciones 11 ó 12, en el que dicho gas es aire, anhídrido carbónico, gases procedentes de combustión, o sus mezclas.

14. Conjunto de al menos dos fotobiorreactores según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, conectados en paralelo en una estructura de tipo modular.



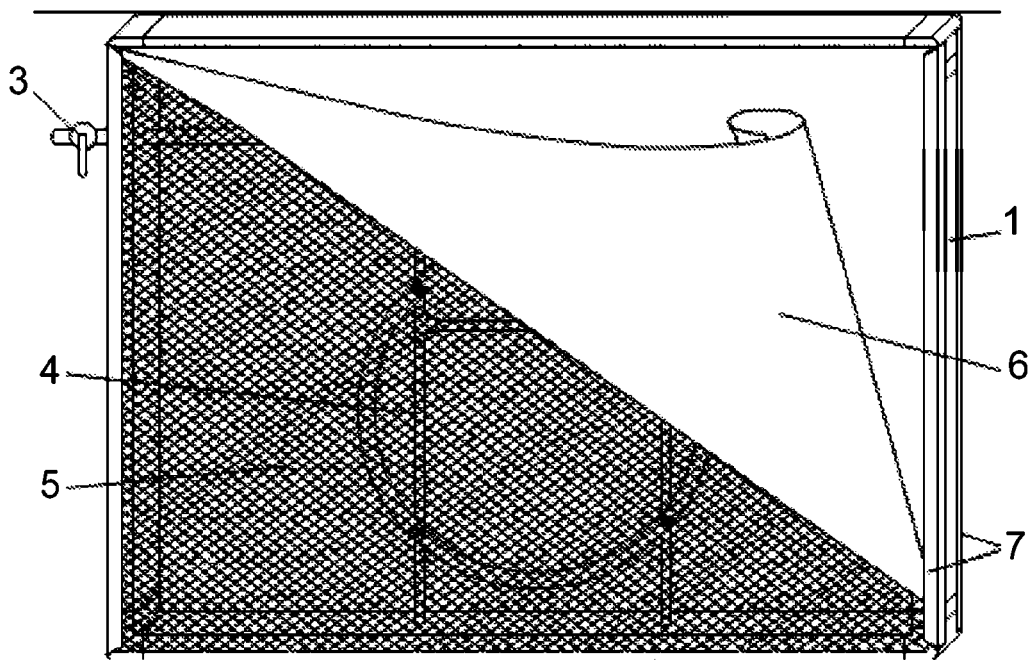


FIG. 3

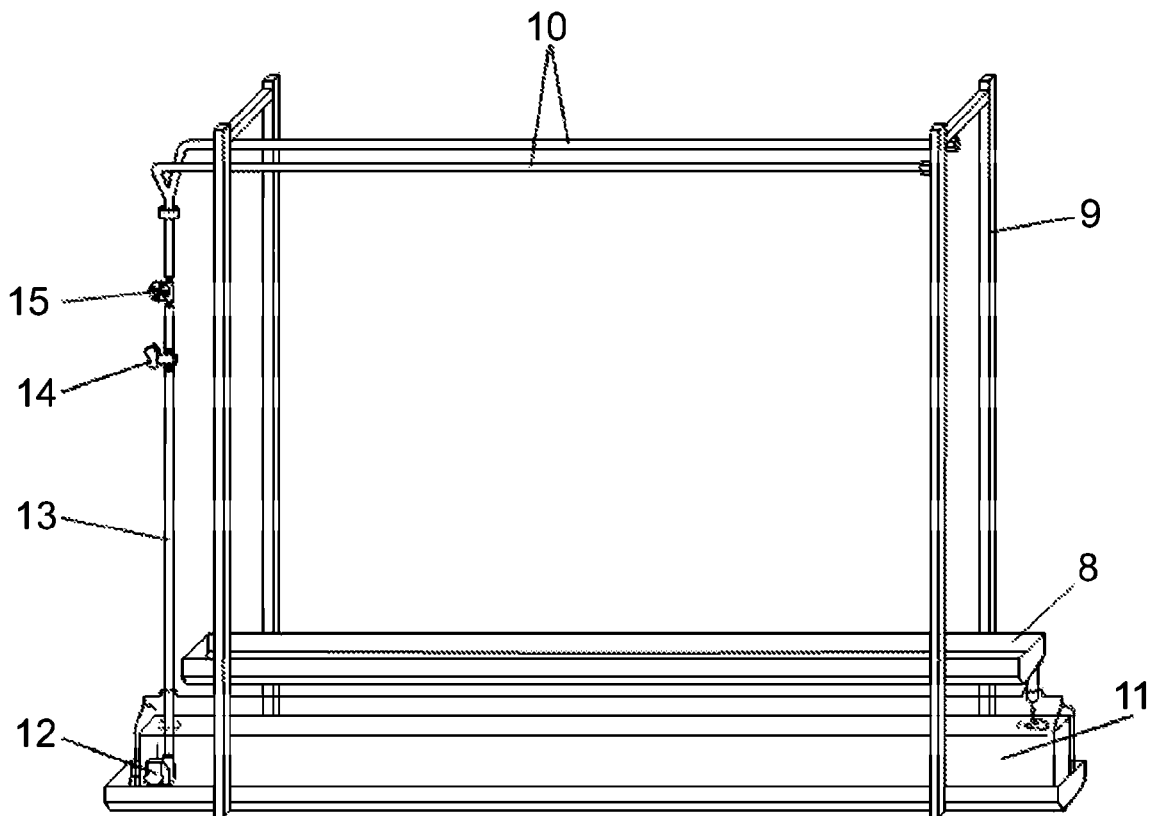


FIG. 4

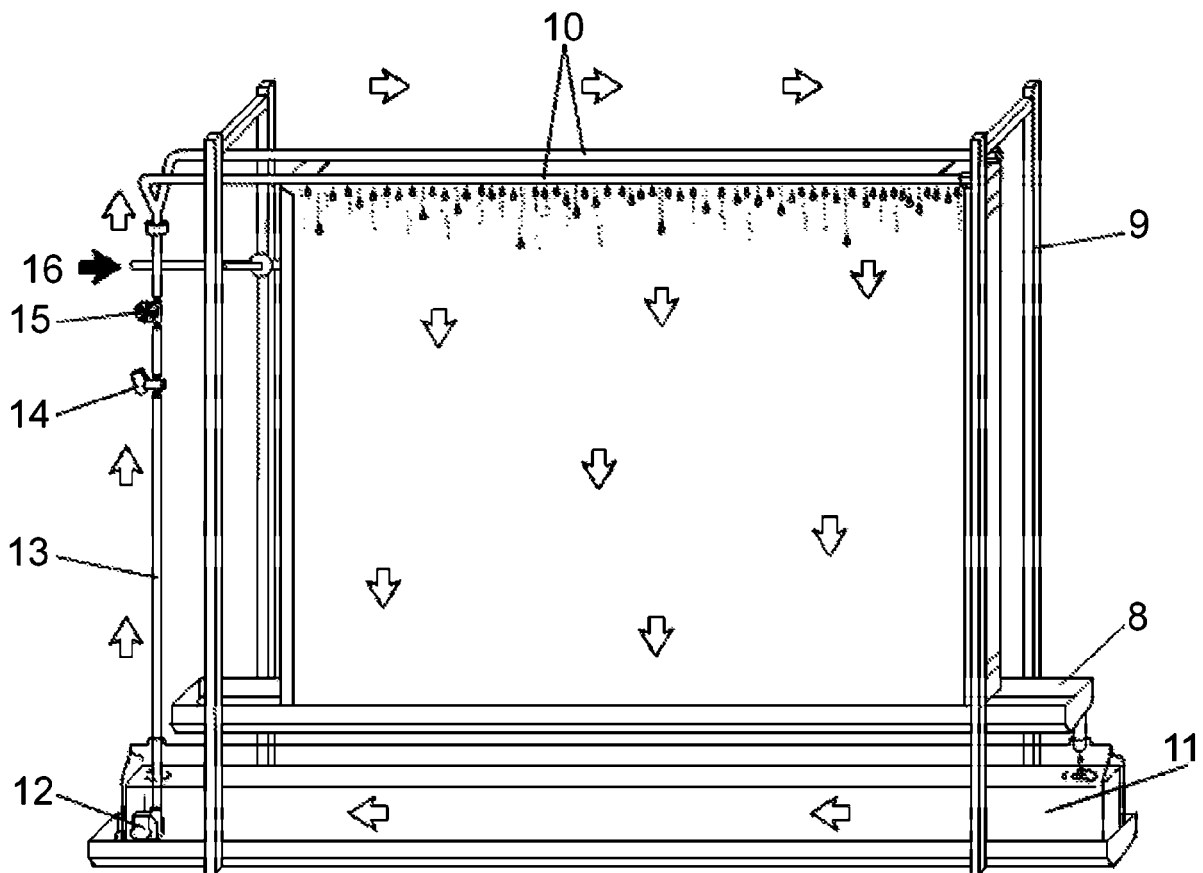


FIG. 5

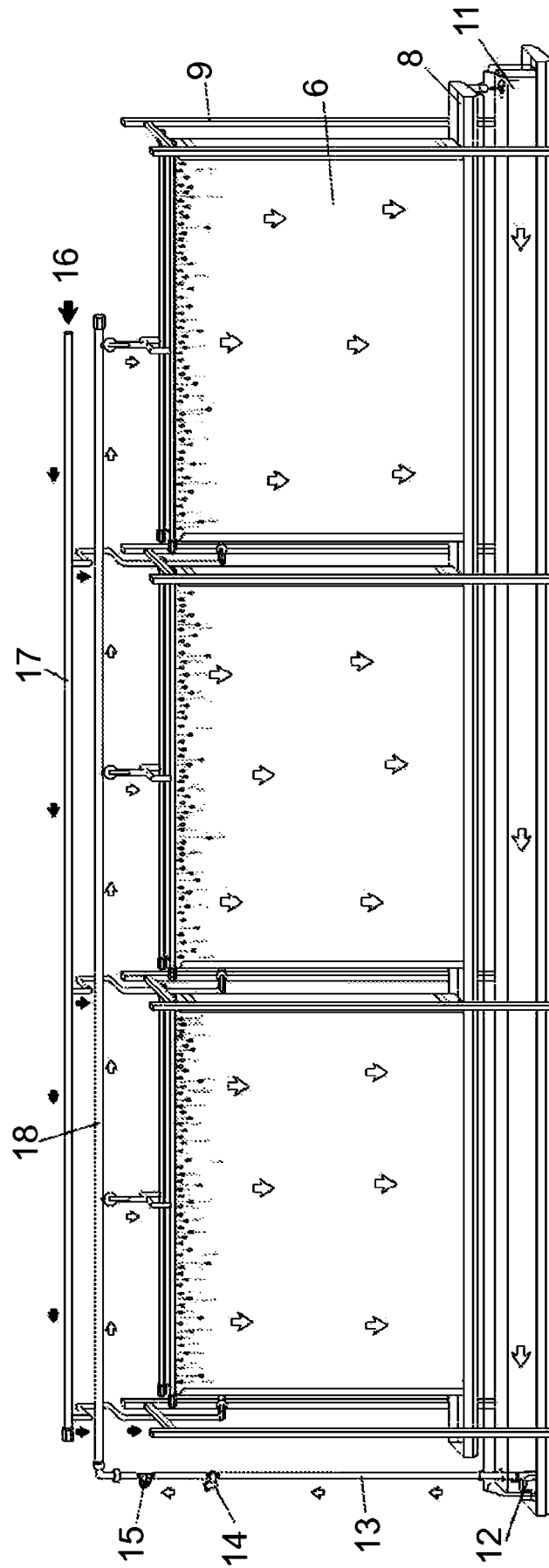


FIG. 6



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① ES 2 347 515

② Nº de solicitud: 201030651

③ Fecha de presentación de la solicitud: 03.05.2010

④ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤ Int. Cl.: C12M 3/00 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 5585266 A (PLITT et al.) 17.12.1996, columnas 4-8; figuras 1-3.	1-7
A	US 2002072109 A1 (BAYLESS et al.) 13.06.2002, descripción; figuras 1-4.	1-13
A	WO 2004074423 A2 (UNIV FIRENZE; TREDICI MARIO; RODOLFI LILIANA) 02.09.2004, descripción.	1-6,14
A	WO 2005006838 A2 (UNIV BEN GURION; BOUSSIBA SAMMY; ZARKA ALIZA) 27.01.2005, descripción.	1-6,14

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe

18.10.2010

Examinador

J.C. Moreno Rodríguez

Página

1/5

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

C12M

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC,WPI

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 18.10.2010

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-14	SÍ
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-14	SÍ
	Reivindicaciones	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de **aplicación industrial**. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión:

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como ha sido publicada.

1. Documentos considerados:

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	US 5585266 A	17-12-1996
D02	US 2002072109 A1	13-06-2002
D03	WO 2004074423 A2	02-09-2004
D04	WO 2005006838 A2	27-01-2005

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

El objeto de la invención recogido en la reivindicación independiente 1 es un fotobioreactor laminar para la producción de microalgas que comprende un panel formado por un marco o bastidor tapado por ambos lados por al menos una lámina de malla por la que fluye en sentido descendente un medio líquido que contiene microalgas y una cámara interior entre dichas laminas de malla y las paredes del marco o bastidor, estanca al aire mediante cierre hidráulico.

El documento D01 divulga un birreactor para el desarrollo y obtención de células y subproductos de estas, que puede emplearse para la producción de microalgas que comprende un panel formado por un marco o bastidor (11,12,13 y 14) tapado por sus lados por paredes transparentes de plexiglás (17,18), con superficies de soporte celular (22) de tejido de fibras naturales o artificiales dispuestas dentro de la cámara interior (20) definida entre el marco o bastidor (11,12,13 y 14) y las paredes de plexiglás (17,18), estanca al aire y al agua. (Columnas 4-8, figuras 1-3).

En este caso el medio líquido con las células a desarrollar discurren por las superficies de soporte celular (22) y no por las paredes (17, 18) que definen el perímetro de la cámara interior (20), no presentando esta estanqueidad por cierre hidráulico. Esta diferencia técnica puede tener implicaciones en cuanto a la facilidad con la que se produce el suministro de CO₂ a la muestra de microalgas, que ya no es por difusión como lo es en el caso del objeto de invención de la reivindicación 1 y la eliminación del oxígeno formado en la fotosíntesis de dichas microalgas, que en el caso de D01 se produce mediante salidas de gas (36) dispuestas en el birreactor y no como consecuencia del contacto directo de la muestra con el exterior como ocurre en el caso del fotobioreactor divulgado en la reivindicación 1.

Por ello el documento 1 es solo un reflejo del estado de la técnica en relación al objeto de la invención recogido en las reivindicaciones 1-7.

El documento D02 divulga un procedimiento y un fotobioreactor para la eliminación del CO₂ que se genera como consecuencia del uso de combustibles fósiles. El fotobioreactor divulgado comprende una cámara (16) en cuyo interior se disponen una serie de membranas (14) fijadas por marcos (12) por las que fluye en sentido descendente un medio líquido que contiene algas suministrado por unos pulverizadores (19) dispuestos sobre dichas membranas (14) (descripción y figuras 1-4).

En este caso el medio líquido no está en contacto directo con el exterior, por lo que se hace necesario un medio (20) que proporcione la luz necesaria a las algas para la realización de la fotosíntesis, y además no se hace mención a la eliminación del oxígeno generado.

Por ello el documento D02 es solo un reflejo del estado de la técnica en relación al objeto de la técnica recogido en las reivindicaciones 1-13.

El documento D03 divulga un fotobioreactor para el cultivo industrial de organismos biosintéticos, en el que no se produce un contacto directo entre la muestra de trabajo y el exterior, por lo que este documento representa solo un reflejo del estado de la técnica de cara a las reivindicaciones 1-6 y 14.

El documento D04 divulga un fotobioreactor laminar en el que el medio de cultivo se encuentra confinado en una bolsa transparente, no estando este en contacto con el exterior, por lo que este documento es solo un reflejo del estado de la técnica de cara a las reivindicaciones 1-6 y 14.

Hoja adicional

Así pues, los documentos citados solo muestran el estado general de la técnica, y no se consideran de particular relevancia. No sería obvio para una persona experta en la materia aplicar las características incluidas en los citados documentos y llegar a la invención como se revela en la reivindicación primera. Por lo tanto, el objeto de esta reivindicación principal cumple los requisitos de novedad, actividad inventiva y aplicabilidad industrial.

Las reivindicaciones segunda a decimocuarta, dependientes de la primera, delimitan características adicionales, y como la reivindicación principal, cumplen también los requisitos con respecto a novedad, actividad inventiva y aplicabilidad industrial.