



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 370 546**

⑫ Número de solicitud: 200850013

⑬ Int. Cl.:
C12M 1/00 (2006.01)
B01D 53/84 (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

⑫ Fecha de presentación: **10.05.2007**

⑬ Prioridad: **10.05.2006 US 60/799,440**

⑭ Fecha de publicación de la solicitud: **19.12.2011**

⑭ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
19.12.2011

⑰ Solicitante/s: **Ohio University**
101 Research and Technology Center
Athens, Ohio 45701, US

⑱ Inventor/es: **Bayless, David, J.;**
Vis-Chiasson, Morgan, Lefay;
Stuart, Ben y
Kremer, Gregory, G.

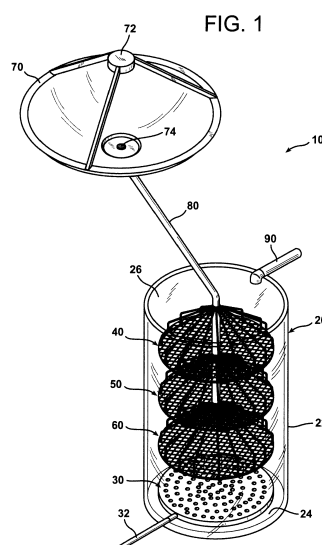
⑲ Agente: **De Elzaburu Márquez, Alberto**

⑳ Título: **Aparato y método para crecer organismos biológicos para combustible y otros propósitos.**

㉑ Resumen:

Aparato y método para crecer organismos biológicos para combustibles y otros propósitos.

Un aparato biorreactor en el que un contenedor tiene paredes laterales, un suelo y un techo que definen una cámara que contiene una suspensión de sólidos de agua, nutrientes y microorganismos fotosintéticos. Una pluralidad de fibras ópticas, cada una de las cuales tiene un primer extremo dispuesto fuera de la cámara y un segundo extremo en la mezcla. Un colector de luz espaciado del contenedor tiene luz incidente sobre él y focaliza la luz en los primeros extremos de la pluralidad de fibras ópticas, permitiendo de esta manera transmitir la luz a la mezcla para promover la fotosíntesis. Al menos una tobera está en comunicación fluida con una fuente de gas, tal como gas de escape de una planta generadora de energía de combustión de combustibles fósiles que contiene dióxido de carbono. La tobera está dispuesta en la mezcla por debajo de los segundos extremos de las fibras ópticas para inyectar el gas en la mezcla.



DESCRIPCIÓN

Aparato y método para crecer organismos biológicos para combustible y otros propósitos.

5 Antecedentes de la invención

1. Campo de la invención

Esta invención se refiere a un aparato y a un método para crecer microorganismos fotosintéticos, posiblemente a partir de gas de escape que contiene dióxido de carbono.

2. Descripción de la técnica relacionada

Es muy conocido que el suministro de los combustibles fósiles, tales como los combustibles derivados del petróleo, es limitado. Además, la combustión de dichos combustibles aporta una cantidad sustancial de carbono a la atmósfera. La liberación de carbono almacenado en dichos combustibles es el objeto de una preocupación global referida al cambio climático y a otros problemas medioambientales. Sin embargo, los combustibles fósiles son la mayor fuente de combustible para los automóviles y las instalaciones productoras de energía.

Los biocombustibles se obtienen de organismos vivos o de sus subproductos metabólicos pero contienen moléculas que contienen hidrógeno y carbono diferentes de las de los combustibles fósiles. Los biocombustibles contienen una entalpía suficiente para competir con los combustibles fósiles para la producción de combustible para los vehículos y de energía. La mayoría de los biocombustibles se consideran neutros en cuanto a su liberación de carbono a la atmósfera ya que los organismos vivos eliminan el carbono del aire, pero este carbono se libera posteriormente durante la reacción química que produce trabajo a partir de la energía solar almacenada.

Los biocombustibles son una fuente de energía renovable a diferencia de otros recursos naturales tales como petróleo, carbón y combustibles nucleares. Algunos biocombustibles pueden crearse en un marco convencional, tal como un campo agrícola, mientras que otros deben crearse en marcos únicos, controlados. Un biorreactor es un recipiente en el que se lleva a cabo un proceso químico que implica organismos o sustancias bioquímicamente activas procedentes de dichos organismos. Los biorreactores conocidos toman los gases de escape, por ejemplo, de plantas generadoras de energía basadas en la combustión de combustibles fósiles y utilizan el CO₂ de éstas para “estimular” el crecimiento de microalgas y de otros microorganismos fotosintéticos. Dichos biorreactores impiden que el carbono de la corriente de los gases de escape se libere al aire y producen biocombustible a partir de éste lo que proporciona una energía adicional. Los sistemas de biorreactores de tipo estanque abierto han existido durante algún tiempo pero no son adecuados por varias razones, especialmente debido a las grandes fuentes de CO₂.

Las microalgas tienen unas velocidades de crecimiento mucho más rápidas que los cultivos terrestres. Dependiendo del biorreactor y de la cepa, se estima que el rendimiento por unidad de área de aceite de las algas es muchas veces superior al mejor cultivo siguiente, que es el aceite de palma. El aceite de las algas se procesa en biodiesel tan fácilmente como el aceite obtenido de los cultivos terrestres. Las dificultades en la producción eficaz de biodiesel a partir de las algas se basan en encontrar un biorreactor rentable que sea el más adecuado para una cepa de alga que contiene suficientes lípidos.

Las investigaciones en algas para la producción a gran escala de combustible se centran principalmente en las microalgas, en comparación con las macroalgas (algas marinas). Las microalgas son organismos fotosintéticos que tienen un diámetro menor de 2 mm. Éstas incluyen las diatomeas y las cianobacterias. Esta preferencia hacia las microalgas se debe principalmente a que tienen una estructura menos compleja, velocidad de crecimiento rápida y alto contenido en aceite en algunas especies.

A pesar de las ventajas científicas de los biocombustibles y a la disponibilidad de biorreactores capaces de producir dichos combustibles, las desventajas económicas han restringido el grado de implementación de los biorreactores. Por ejemplo, una desventaja de los biorreactores convencionales es el hecho de que son factibles económicamente sólo cuando se utiliza luz natural. La capacidad de exponer microorganismos a una luz natural suficiente es una función del área superficial expuesta de los biorreactores convencionales. No siempre existe espacio disponible cuando se producen grandes cantidades de CO₂. Los biocombustibles producidos a partir de dichos biorreactores solo pueden competir con los combustibles basados en el petróleo si su producción es suficientemente alta para que exista economía de escala. Esto resulta difícil con los biorreactores convencionales.

Por lo tanto, existe una necesidad de un biorreactor que haga que la eliminación de carbono y la producción de biocombustible sea económicamente factible, lo suficiente como para que sea adoptado por la industria de producción de energía.

Resumen breve de la invención

La producción de microalgas como materia prima base para ser refinada en biodiesel requiere biorreactores que son capaces de una productividad máxima en un espacio mínimo y con una luz artificial y otros aportes energéticos mínimos. Los diseños actuales de los biorreactores están limitados a operar durante las horas de luz solar, debido

principalmente a que su diseño está basado completamente en la toma de luz del exterior y en que ésta penetre mediante transmisión a través de paredes transparentes en las algas. Un análisis económico sencillo muestra que la utilización únicamente de luz artificial es demasiado cara. Sin embargo, al no tener producción durante las horas nocturnas en las que no hay luz solar disponible, se pierde una productividad significativa.

El biorreactor de la invención se plantea los problemas significativos de los diseños de los biorreactores convencionales. En primer lugar, la invención utiliza dispositivos de recogida y transmisión de la luz solar de manera que la radiación fotosintéticamente activa pueda llegar a las microalgas en niveles óptimos. En segundo lugar, la invención utiliza un soporte de fibras de manera que las fibras de transmisión de la luz terminan en el interior del biorreactor, proporcionando de esta manera la aplicación directa de la luz sin un sistema de distribución adicional. En tercer lugar, la invención utiliza una suspensión de sólidos algal para incrementar la productividad sobre un sistema de biopelícula. La suspensión de sólidos circulante utiliza procesos de transporte para crear zonas oscuras en el interior del biorreactor para proporcionar tiempo para las reacciones en oscuridad y, por lo tanto, incrementar potencialmente en gran medida la productividad algal. Finalmente, el sistema de transmisión y distribución de la luz permite construir el biorreactor verticalmente, disminuyendo de esta manera la cantidad de espacio ocupada por la estructura respecto a un cultivador de tipo estanque o estanque con recirculación de agua.

Descripción breve de las diferentes vistas de los dibujos

La Fig. 1 es una vista en perspectiva que ilustra una realización preferida de la presente invención.

La Fig. 2 es una vista en perspectiva que ilustra una vista del despiece de los componentes interiores preferidos de la realización preferida de la Fig. 1.

La Fig. 3 es una vista lateral que ilustra la realización de la Fig. 1.

La Fig. 4 es una vista superior que ilustra la realización de la Fig. 1.

La Fig. 5 es una vista lateral que ilustra la realización de la Fig. 1.

La Fig. 6 es una vista superior en sección que ilustra un soporte de fibras ópticas.

En la descripción de la realización preferida de la invención que se ilustra en los dibujos, se recurrirá a terminología específica por motivos de claridad. Sin embargo, no se pretende que la invención esté limitada al término específico seleccionado y debe entenderse que cada término específico incluye todos los equivalentes técnicos que operan de una manera similar para conseguir un propósito similar. Por ejemplo, se utiliza frecuentemente la palabra conectado o un término similar a éste. No están limitados a la conexión directa, sino que incluyen la conexión a través de otros elementos en la que se reconoce que dicha conexión es equivalente por los expertos en la técnica.

Descripción detallada de la invención

La realización preferida de la presente invención se muestra en la Fig. 1, en la que el biorreactor 10 se muestra en una configuración preferida. El contenedor 20 es un tubo cilíndrico que tiene una pared lateral 22 un suelo 24 y un techo 26. El contenedor 20 tiene preferiblemente un diámetro de aproximadamente 19 centímetros (cuatro pulgadas) y una altura de aproximadamente doscientos trece centímetros (siete pies). El contenedor 20 puede estar hecho de un material plástico, tal como acrílico o policarbonato transparente, o puede estar hecho de un metal opaco u otro material. El contenedor 20 no necesita ser transparente, pero puede serlo. Resultará evidente que el material del que está hecho el contenedor 20 debe ser lo suficientemente fuerte como para contener una mezcla de agua y algas, pero no necesita tener características de transmisión de la luz, aunque se contemplan dichas características. Por supuesto, se contemplan los materiales compuestos, cerámicas y otros plásticos para el material del que está hecho el contenedor 20. El contenedor 20 define una cámara que está preferiblemente llena de agua y de microorganismos en una suspensión de sólidos. En el contenedor 20 puede haber otros materiales, tales como nutrientes y contaminantes, pero éstos comprenden una pequeña fracción de los contenidos del contenedor 20.

En el suelo o cerca del suelo 24 del contenedor 20, se fija una tobera 30, preferiblemente mediante unión al suelo 24 o mediante una conexión rígida al conducto 32. El conducto 32 es preferiblemente un tubo que se extiende a través de la pared lateral 22 del contenedor 20 en un precinto hermético e impermeable. El conducto 32 está en comunicación fluida con una fuente de fluido, preferiblemente un gas, tal como CO₂, bien en forma pura o en una mezcla. La fuente de gas es preferiblemente a alta presión y el gas se transporta hacia la tobera 30 a través del conducto 32 para ser inyectado fuera de la tobera 30 en el fluido contenido en el contenedor 20. Esto se describe con más detalle a continuación. El interior del conducto 32 está preferiblemente en comunicación fluida con el contenedor 20, a no ser que se interponga una válvula (no mostrada) entre ellos para limitar la cantidad de gas que puede fluir en el contenedor 20.

La tobera 30 tiene preferiblemente una pluralidad de aberturas a través de las cuales el gas escapa de la tobera 30 y entra en el contenedor 20. Estas aberturas están distribuidas preferiblemente, como se muestra, alrededor de la tobera 30 para distribuir el gas alrededor de todo el área transversal del contenedor 20.

ES 2 370 546 A1

Los distribuidores de luz 40, 50 y 60 están montados en el contenedor 20 en intervalos espaciados a lo largo de la altura del contenedor 20. Los distribuidores están montados preferiblemente en la pared lateral 22, tal como mediante adhesivos o fijadores, tales como tornillos. Por supuesto, puede utilizarse cualquier fijador adecuado. Se prefiere que los distribuidores 40-60 estén espaciados aproximadamente en intervalos de 61 centímetros (24 pulgadas) a lo largo de la altura del contenedor 20, aunque esta distancia puede variar, dependiendo de las dimensiones y de las dinámicas del fluido del sistema. El distribuidor 60 está preferiblemente aproximadamente 30,5 centímetros (12 pulgadas) por encima de la tobera 30, aunque esta distancia puede variarse para un sistema de un tamaño diferente.

El colector de luz 70 tiene un espejo principal de recogida que dirige la luz incidente, tal como la luz solar, a un reflector 72 que refleja la luz al extremo 74 de un haz de fibras ópticas 80. Las fibras ópticas 80 se extienden en el contenedor 20, que está espaciado del contenedor 20 y preferiblemente se extiende a través de un precinto hermético e impermeable. Las fibras 80 están divididas en grupos más pequeños, cada uno de los cuales se extiende hacia uno de los distribuidores de luz 40, 50 y 60, como se describe adicionalmente a continuación. Cada fibra puede ser una fibra óptica convencional, tal como una fibra de vidrio de 3,0 milímetros de diámetro.

El colector de luz 70 está espaciado preferiblemente del contenedor 20 y está montado en el exterior de una construcción u otra estructura, tal como la construcción que alberga el contenedor 20. El colector 70 puede, por lo tanto, recoger radiación solar y focalizarla en las fibras 80 de manera que la radiación puede transmitirse al interior del contenedor 20. La plataforma 70 se controla preferiblemente para moverse durante el día para seguir la ruta del sol de una manera convencional con el fin de maximizar la cantidad de luz natural incidente en ésta. Un tipo de colector de luz que se contempla para utilizarse se vende con el nombre Solar Tracker de Sunlight Direct. Por supuesto, pueden utilizarse otros colectores de luz convencionales en lugar del colector de luz 70. La característica crítica es concentrar fotones del espectro visible en las fibras.

La salida de gas 90 está montada en el techo 26 del contenedor 20 en un precinto hermético e impermeable. La salida de gas 90 permite al gas que fluye en el contenedor 20 a través del conducto 32 fluir fuera del contenedor 20. El contenedor preferido 20 tiene una entrada (conducto 32) y una salida (salida 90) para cualquier fluido. Por otra parte, el contenedor 20 es preferiblemente impermeable a cualquier gas o líquido.

Los distribuidores de luz 40, 50 y 60 se muestran con detalle en la Fig. 2, que evidencia que los distribuidores son sustancialmente idénticos. Por lo tanto, sólo se describirá el distribuidor 40 y la descripción de éste es aplicable sustancialmente a los distribuidores 50 y 60.

Un grupo de fibras del haz de fibras 80 se extiende hacia el distribuidor de luz 40. Cada una de las fibras 42 en ese grupo está espaciada de cada una de las otras fibras del grupo, como se ilustra en la Fig. 2, alrededor del soporte 44 que soporta las fibras en esta configuración. Las fibras 42 también pueden estar insertadas en la región central del soporte, como se ilustra en la Fig. 6. El soporte 44 es preferiblemente una red de tela de nilón con aberturas a través de las cuales se extienden las fibras y se mantienen por fricción y por el hecho de que las fibras son tan rígidas que la curvatura es insuficiente para desplazar las fibras axialmente fuera de las aberturas. Las fibras se extienden preferiblemente por debajo del soporte 44 de manera que cuando el agua circula alrededor de las puntas de las fibras, las fibras se curvan y se desplazan radialmente. Este movimiento radial debido a la circulación del agua, y al impacto con otras fibras y la pared lateral del contenedor 22, ayuda a limpiar las puntas de las fibras de las que sale el rayo de luz y donde, por otra parte, las algas se acumulan y se unen. Existen muchas estructuras que pueden mantener a las fibras en la configuración espaciada deseada, incluyendo grapas, abrazaderas y mallas, que reconocerá el experto en la técnica a partir de la descripción de la presente memoria y que son demasiado numerosas para listarlas.

El distribuidor de luz 50 tiene un grupo de fibras diferente del haz de fibras 80 y éstas están unidas al soporte 54 de una manera sustancialmente similar. El soporte 64 del distribuidor de luz 60 recibe y monta el tercer grupo diferente de fibras de una manera similar. Con la presente invención, cada uno de los distribuidores de luz 40, 50 y 60 tiene un único grupo de fibras ópticas, con los extremos espaciados axialmente entre sí, a través de los cuales la radiación solar se transmite desde el colector 70 hacia el interior del contenedor 20 y hacia las fibras mantenidas en cada soporte respectivo.

La tobera 30 está montada por debajo de los distribuidores y el gas entra en la tobera 30 por el conducto 32 como se ha indicado anteriormente. El gas contiene preferiblemente CO₂, pero puede ser cualquier gas. El gas se suministra preferiblemente a partir de los gases de escape de la combustión de combustibles fósiles, tales como planta generadora de energía basada en la combustión de carbón, planta generadora de energía basada en la combustión de gas natural, motor de combustión interna de gasolina, un reactor de agua y gas o cualquier otro aparato productor de gas con carbono. Alternativamente, la fuente de gas puede ser cualquier aparato que produce gas que contiene elementos y/o compuestos que pueden ser utilizados por los microorganismos fotosintéticos. El gas que entra en la tobera 30 sale de ésta y entra el agua en el contenedor 20 a través de las aberturas 34 a alta presión, formando de esta manera muchas burbujas pequeñas y creando turbulencia en el agua en el contenedor 20. Esta turbulencia agita la mezcla de agua y algas, causando de esta manera que muchas de las algas pasen cerca de los extremos de las fibras ópticas.

Por supuesto, se contemplan otras toberas como sustitutos de la tobera 30 ilustrada. Por ejemplo, aunque la tobera 30 tiene varias aberturas que están dirigidas hacia arriba, se contemplan toberas que tienen más aberturas. También pueden utilizarse toberas con menos aberturas, tal como una sola alrededor del perímetro del contenedor 20 como se muestra en la Fig. 5. En efecto, incluso menos aberturas o una única abertura podría sustituir a la tobera preferida 30.

Las aberturas de la tobera también pueden orientarse para inyectar gas en el agua en un ángulo horizontal respecto al eje del contenedor, tal como 45 grados, y las aberturas de la tobera pueden inyectar gas en un ángulo vertical respecto al eje. Dichas toberas anguladas pueden favorecer la circulación helicoidal u otra circulación ventajosa de la mezcla agua/algas.

Moviéndose brevemente por delante de los extremos de las fibras ópticas, las algas se exponen a la luz, lo que produce el crecimiento fotosintético. Además, debido a que las algas permanecen cerca de la luz durante un corto periodo, tal como aproximadamente una fracción de un segundo, y después pasan fuera de la luz, las algas están expuestas a un ciclo de luz y oscuridad, que incrementa más el crecimiento de las algas. Haciendo circular la mezcla agua/algas utilizando dióxido de carbono (CO_2) gas que las algas absorben, el crecimiento de las algas se incrementa.

La circulación de la mezcla agua/algas también hace que las fibras se muevan radialmente (lateralmente) hacia fuera y hacia dentro respecto a su punto de contacto con sus respectivos soportes. Este movimiento "lava" las puntas de las fibras, que es preferiblemente la única parte a través de la que pasa la luz al contenedor 20 y mantiene las puntas limpias. El movimiento también permite a las puntas ponerse en contacto con otras fibras y con la pared lateral 22 del contenedor 20 para limpiar más las puntas de las fibras.

Debido a que las algas convierten el CO_2 en O_2 en el proceso fotosintético, el gas que sale del contenedor 20 a través de la salida 90 contiene preferiblemente poco o sustancialmente nada de carbono. En cambio, las algas utilizan el carbono en su respiración normal para crecer, eliminando de esta manera el ingrediente del gas que es secuestrado convenientemente del gas liberado a la atmósfera. El gas de la salida 90, si contiene CO_2 , puede tratarse adicionalmente para eliminar el CO_2 u otros contaminantes, o puede liberarse a la atmósfera si está permitido. En efecto, el contenedor 20 puede formar parte de un sistema de reciclado en el que un gas se convierte en grandes volúmenes en un gas o unos gases más deseables.

Por lo tanto, la invención incluye un biorreactor con una columna de burbujeo en el que el gas fluye desde un cabezal inferior, en el que se inyecta en la suspensión de sólidos de agua y algas, hacia la parte superior, en la que se separa del líquido y sale del contenedor. La suspensión de sólidos líquida se fluidiza por el movimiento del gas y se hace circular para incrementar el grado de exposición de las algas a los ciclos luz-oscuridad. Puede utilizarse un bombeo para hacer fluir la suspensión de sólidos desde la parte superior hacia la inferior de una manera contraflujo respecto al gas para recircular la suspensión de sólidos.

El flujo de la suspensión algal se realiza en regiones de los haces de fibras, que están asegurados en localizaciones fijas en el biorreactor por los soportes. Las fibras terminan aproximadamente en la altura del soporte y emiten la radiación fotosintéticamente activa a la suspensión de sólidos. Como las algas se mueven por delante de los soportes, se mueven hacia regiones más oscuras, favoreciendo de esta manera las reacciones del ciclo de oscuridad, que pueden tener una duración menor de un segundo. El movimiento continuo de la suspensión de sólidos algal hacia y en dirección opuesta a las fuentes de luz estimula la fotosíntesis, asegura el transporte de nutrientes en el biorreactor y mantiene los extremos de las fibras sin acumulación de algas.

La luz que llega a las fibras 80 procede de dos fuentes posibles. La primera fuente y la principal es uno o más espejos de seguimiento como se ha descrito anteriormente. Un diseño alternativo para estos espejos es una disposición semejante a un canal, con un canal principal que focaliza la luz en un espejo secundario que focaliza la luz en las fibras 80. El canal es capaz de seguir al sol a lo largo del día, maximizando la radiación solar incidente. Las fibras de transmisión proporcionan un nivel de aproximadamente $200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ que evita la fotoinhibición y maximiza la eficacia en la utilización de fotones. Cuando no hay fotones solares disponibles, puede utilizarse la fuente secundaria de luz, una fuente artificial, permitiendo así la producción en todo momento. Dichas fuentes de luz son convencionales para biorreactores.

Los extremos de las fibras están montados donde las algas se mueven cerca de la luz y lejos de ella en aproximadamente la mitad de un segundo. Por supuesto, este tiempo puede modificarse según la velocidad del flujo, la presión y otros parámetros. Además, las fibras pueden influir en el flujo del agua. Por lo tanto, puede ser deseable localizar las fibras en el contenedor donde sea deseable tener una región con poco o ningún flujo (una "zona muerta") de manera que las algas se dirigen de manera ascendente por el gas inyectado y fluyen de manera descendente cuando la energía del gas se pierde o disminuye adecuadamente.

Se prefiere que las fibras posean una naturaleza hidrofóbica, es decir, las fibras deberían rechazar la adhesión a las fibras de moléculas de agua. Esta característica reduce la capacidad de las algas de adherirse a la superficie de las fibras donde la luz se proyecta hacia fuera. Aunque esta característica es frecuente en muchos plásticos, haciendo de esta manera a las fibras plásticas una alternativa atractiva al vidrio, puede no conseguirse tan fácilmente con las fibras de vidrio. Así, las algas se unirán sin duda a los extremos de las fibras donde se proyecta la luz. Por lo tanto, es deseable que haya alguna acción que desuna a las algas de las fibras. En la configuración del reactor preferida, como se ha indicado anteriormente, las fibras se agitan por el flujo del agua y el soporte permite, e incluso favorece, que las fibras se pongan en contacto con las paredes laterales del contenedor. Este contacto crea un impulso con el impacto que desunirá cualquier alga unida a la fibra.

Tres tipos de algas que están contempladas para utilizarse en el biorreactor son AMPHO 46 (Amphora (diatomea)), OOCYS 09 (Oocystis (alga verde, Chlorophyta)) y SYNEC 05 (Synecococcus (cianobacteria)). Por supuesto,

se contempla que pueden utilizarse otros microorganismos que existen en la naturaleza y que los organismos pueden modificarse para trabajar más eficazmente. Para la producción de biocombustibles, tal como biodiesel, es deseable utilizar algas que producen la mayor cantidad de lípidos tan rápido como sea posible. Por supuesto, para la producción de otros nutracéuticos, compuestos farmacéuticos u otros compuestos nutricionales, se contemplan diferentes microorganismos. Para la producción de etanol y butinol, entre otros, pueden ser más deseables microorganismos con alto contenido en almidón.

El biorreactor tiene la máxima productividad algal para el propósito de producir una materia prima base con altos niveles de lípidos para el refinamiento biodiesel. Por supuesto, las algas u otros microorganismos fotosintéticos pueden utilizarse para otros propósitos, incluyendo, pero sin limitarse a, otros biocombustibles, nutrición y secuestro de carbono. El biorreactor se aprovecha de la energía solar distribuida para maximizar la productividad cuando hay luz del día y ofrece la posibilidad de emplear luz artificial para incrementar la productividad durante los momentos en los que no hay energía solar adecuada. El sistema también minimiza los problemas de disipación de calor de las ópticas de las fibras.

El biorreactor tiene muchas características ventajosas. Puede tomar un gas de muchas fuentes y convertirlo a gran velocidad en otros gases más deseables con un impacto medioambiental negativo pequeño o sin impacto medioambiental negativo. En efecto, el impacto medioambiental puede ser positivo, tal como en el caso del secuestro de carbono. Como un ejemplo adicional, el biorreactor puede formar parte de un sistema de reciclado de dióxido de carbono, por ejemplo para producir oxígeno donde el suministro de éste es limitado. El biorreactor también produce cantidades sustanciales de microorganismos fotosintéticos, también sin impacto medioambiental negativo. Dichos organismos pueden utilizarse para muchos propósitos, tales como alimentación animal, en la gasificación del carbón para hacer cera de hidrocarburo y combustible de reactor y como se ha indicado por otra parte en la presente memoria.

El tamaño del reactor que se ha discutido anteriormente es importante, aunque se contemplan otros tamaños. Debe haber regiones en el contenedor en las que recircule la suspensión de sólidos. Si el contenedor es sustancialmente mayor que el que se ha discutido anteriormente, las características del transporte de los fluidos pueden no incrementarse e incluso pueden empeorar sin una modificación sustancial del aparato de inyección del gas. En una realización preferida, hay una cantidad sustancial de gas que se mueve a través de un contenedor con un diámetro pequeño de manera que el gas eleva toda la suspensión de sólidos de algas/agua cuando el gas fluye de manera ascendente. Por supuesto, esto se puede conseguir añadiendo toberas a lo largo de la altura del contenedor 20. Por ejemplo, una realización alternativa que se contempla tiene una tobera que es sustancialmente idéntica a la tobera 30 por debajo de cada soporte. Así, si los soportes están espaciados 61 centímetros (24 pulgadas) verticalmente, las toberas también están espaciadas cada 61 centímetros (24 pulgadas) y 30,5 centímetros (12 pulgadas) del siguiente soporte adyacente. Esto formaría múltiples zonas de recirculación en el contenedor 20. Lo más deseable es tener un flujo continuo, consistente para que la mezcla circule lo más posible.

En la realización preferida, las algas pueden ponerse en contacto con los soportes donde las fibras se mantienen en su sitio. El gas fluye de manera ascendente en las aberturas de la tobera y continua ascendente alrededor del exterior del contenedor 20. Sin embargo, el gas ha perdido mucha de su energía en el momento en el que alcanza el soporte y, por lo tanto, para fluidizar las algas. Así, cuando las algas fluyen por encima de los soportes empieza a circular hacia atrás de nuevo, convenientemente alrededor del interior del contenedor 20, como se muestra mediante flechas en la Fig. 5.

En una realización contemplada de la invención, un edificio u otra construcción se llena con biorreactores similares al aparato 10 de la presente invención. Así, una amplia estancia contiene múltiples contenedores similares al contenedor 20, cada uno de los cuales tiene un haz de fibras ópticas que conducen a una fuente de luz externa, tal como un colector en el tejado de la construcción. Uno o múltiples colectores transmiten la radiación solar a través de las fibras a cada uno de los biorreactores. Cada uno de dichos biorreactores recibe una parte del gas que contiene CO₂ que procede de una fuente, tal como una chimenea de gases de escape de una planta generadora de energía, y cada biorreactor funciona como se ha descrito anteriormente para eliminar el CO₂ del gas. Así, con biorreactores suficientes, un sistema puede recibir los millones de metros 5 cúbicos por hora que produce una planta generadora de energía. Dichos biorreactores están espaciados entre sí tanto como sea necesario para proporcionar a los microorganismos el entorno correcto para crecer.

El tamaño del contenedor es una función de las dinámicas del fluido, de la eficacia deseada y de la presión del gas que se está inyectando. El diámetro óptimo del tubo es una función de la presión del gas de entrada y de su velocidad volumétrica de flujo. Por ejemplo, en la realización preferida, se ha determinado que el flujo global de gas en el punto de la inyección es óptimo entre aproximadamente 2 y aproximadamente 4 metros por segundo. Por supuesto, esta cantidad puede variarse a la vez que todavía se consigue algún crecimiento algal.

Se pretende que esta descripción detallada en conexión con los dibujos sea principalmente una descripción de las presentes realizaciones preferidas de la invención y no se pretende que represente la única forma en la que puede construirse o utilizarse la presente invención. La descripción muestra los diseños, funciones, medios y métodos para implementar la invención en conexión con las realizaciones ilustradas. Debe entenderse, sin embargo, que pueden conseguirse las mismas o equivalentes funciones y características mediante diferentes realizaciones que también se pretende que se estén englobadas en el espíritu y alcance de la invención y que pueden adoptarse varias modificaciones sin apartarse de la invención o alcance de las reivindicaciones siguientes.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato biorreactor que comprende:

- (a) un contenedor que tiene paredes laterales, un suelo y un techo que definen una cámara que alberga una suspensión de sólidos de agua y microorganismos fotosintéticos;
- (b) una pluralidad de fibras ópticas, teniendo cada una de las fibras un primer extremo dispuesto fuera de la cámara y un segundo extremo dispuesto en la mezcla de la que un haz de luz sale de la fibra;
- (c) un colector de luz espaciado del contenedor, teniendo el colector de luz luz incidente sobre él y focalizando la luz en los primeros extremos de la pluralidad de fibras ópticas; y
- (d) al menos una tobera en comunicación fluida con una fuente de gas que contiene al menos dióxido de carbono, estando la tobera dispuesta en la mezcla por debajo de los segundos extremos de las fibras ópticas para inyectar el gas en la mezcla y provocar que los microorganismos fluyan más allá de los segundos extremos de la fibras.

2. El aparato biorreactor según la reivindicación 1, que comprende además un soporte montado en las paredes laterales del contenedor y a través del cual se extienden los segundos extremos de las fibras ópticas para espaciar los segundos extremos de las fibras entre sí lateralmente y para estabilizar las fibras.

3. El aparato biorreactor según la reivindicación 1, en el que dicha al menos una tobera comprende además una primera tobera dispuesta en una región de la cámara y una segunda tobera dispuesta en una segunda región más alta de la cámara, en el que la primera tobera está por debajo de al menos algunos de dichos segundos extremos de las fibras y la segunda tobera está por encima de la primera tobera y por debajo de al menos algunos de los segundos extremos de las fibras.

4. El aparato biorreactor según la reivindicación 2, en el que el soporte mantiene los segundos extremos de las fibras en una posición axial sustancialmente fija.

5. Un método para crecer microorganismos, comprendiendo el método:

- (a) disponer una mezcla de agua y microorganismos fotosintéticos en un contenedor que tiene paredes laterales y un suelo que definen una cámara;
- (b) exponer a la luz una pluralidad de primeros extremos de una pluralidad de fibras transmisoras de luz, donde dichos primeros extremos están fuera de la cámara;
- (c) extender una pluralidad de segundos extremos de las fibras transmisoras de luz en la mezcla, donde los segundos extremos transmiten la luz a la cámara, creando de este modo regiones de luz en la cámara;
- (d) disponer una tobera en la mezcla por debajo de los segundos extremos de las fibras transmisoras de luz;
- (e) inyectar materia que contiene gas que es absorbido por los microorganismos a través de la tobera en la mezcla, provocando el gas inyectado que los microorganismos fluyan entre regiones de luz, que están próximas a los segundos extremos, y regiones más oscuras, que están separadas de los segundos extremos.

6. El método según la reivindicación 5, que comprende además estabilizar al menos una parte de dicha al menos una fibra transmisora de luz respecto al contenedor.

7. El método según la reivindicación 5, que comprende además disponer un colector de luz fuera de la cámara, focalizar la luz en el primer extremo de dicha al menos una fibra transmisora de luz y desplazar el colector de luz para maximizar la luz incidente sobre él.

8. El método según la reivindicación 5, que comprende además disponer una primera tobera en una región de la cámara y una segunda tobera en una segunda región más alta de la cámara.

9. El método según la reivindicación 5, en el que la etapa de inyectar el gas comprende además desplazar la fibra lateralmente, que contacta de esta manera con la pared lateral.

10. El método según la reivindicación 5, en el que el método comprende además colocar el contenedor dentro de una construcción de un aparato generador de energía que crea gas de escape.

ES 2 370 546 A1

11. El aparato biorreactor según la reivindicación 1, que comprende además un aparato generador de energía que tiene una construcción y crea gas de escape de la combustión de combustible fósil, y en el que el contenedor está dispuesto dentro de la construcción.

5 12. El biorreactor según la reivindicación 11, que además comprende:

- (a) una pluralidad de contenedores que tienen paredes laterales, un suelo y un techo que definen una cámara que alberga una suspensión de sólidos de agua y microorganismos fotosintéticos, estando dispuesto cada uno de dichos contenedores en la construcción; y
- (b) una pluralidad de toberas en comunicación fluida con el gas de escape, estando dispuesta una de dichas toberas en cada uno de los contenedores, inyectando las toberas el gas de escape en la mezcla de un contenedor respectivo.

FIG. 1

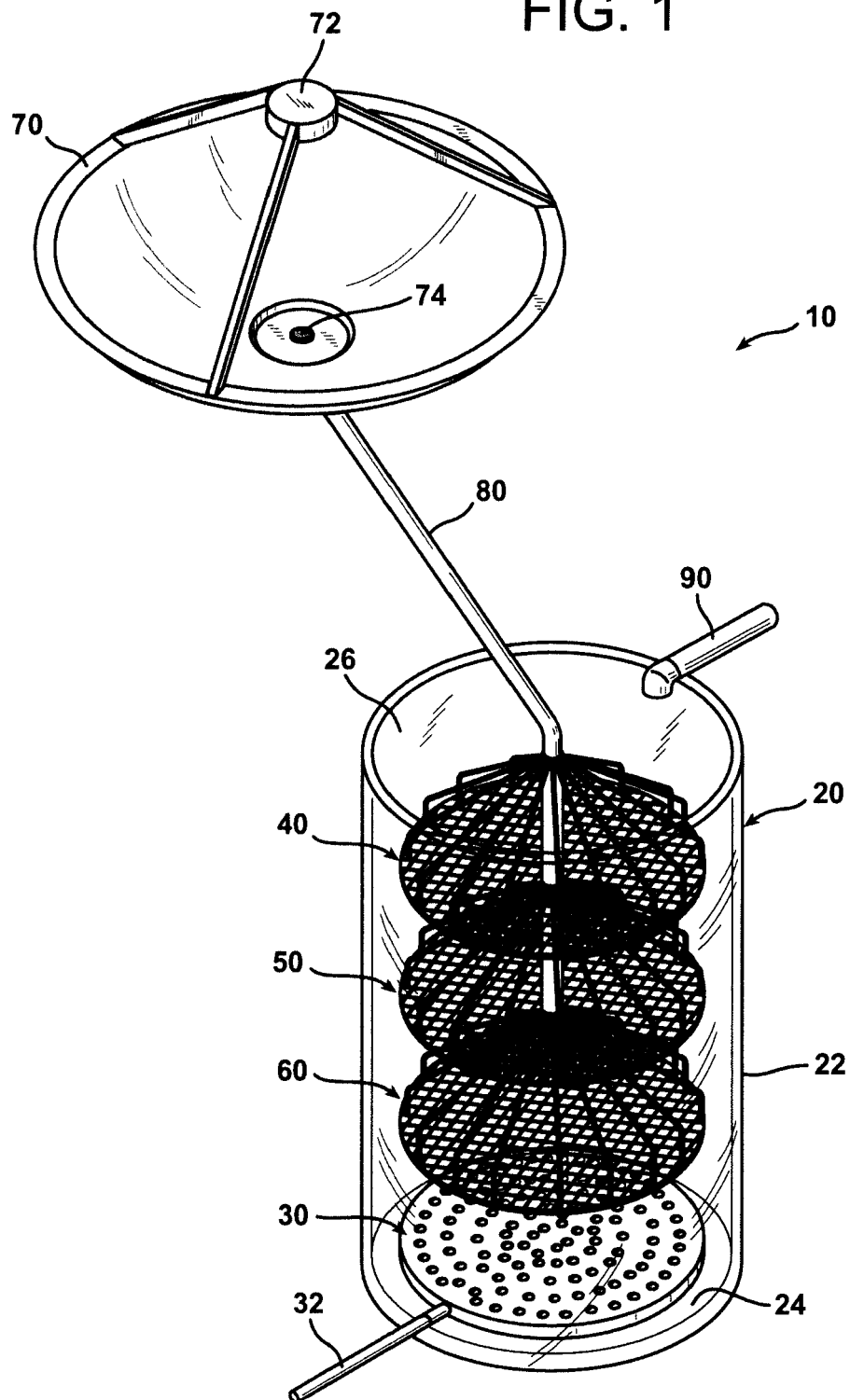


FIG. 2

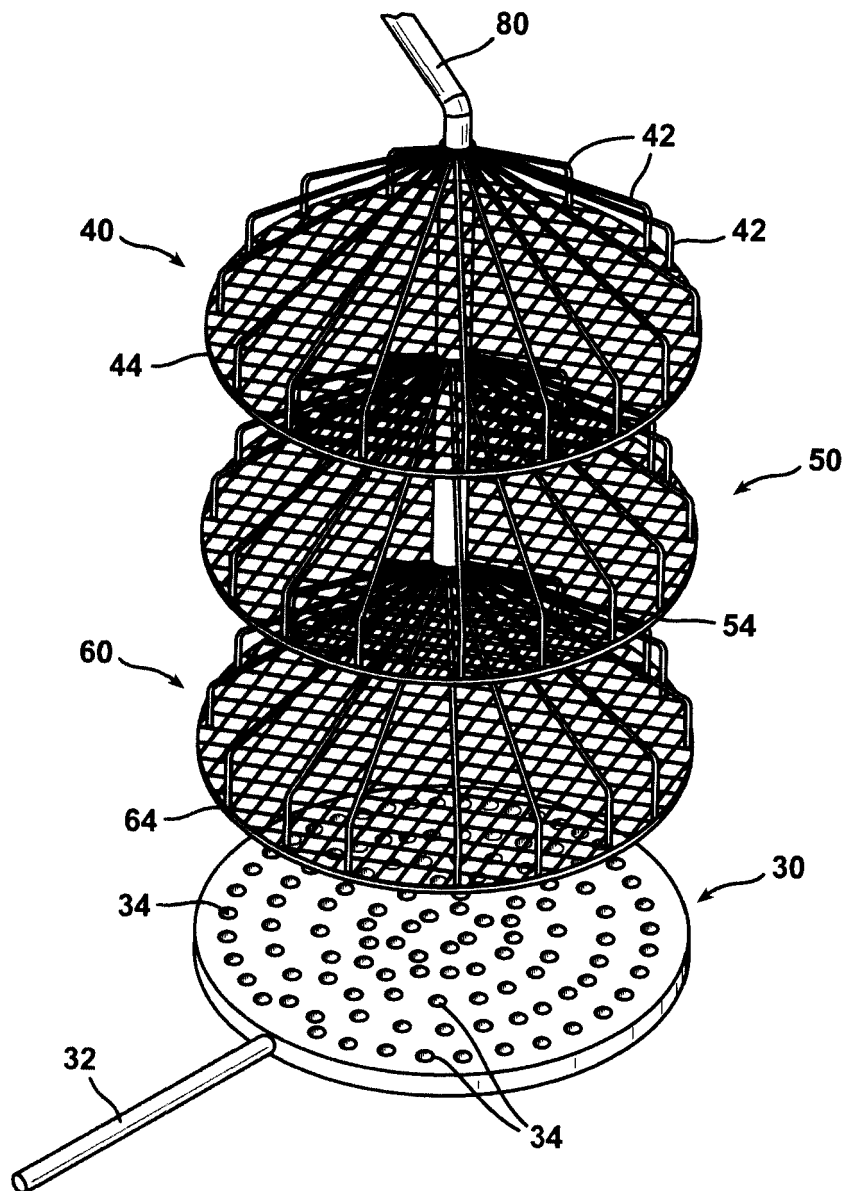
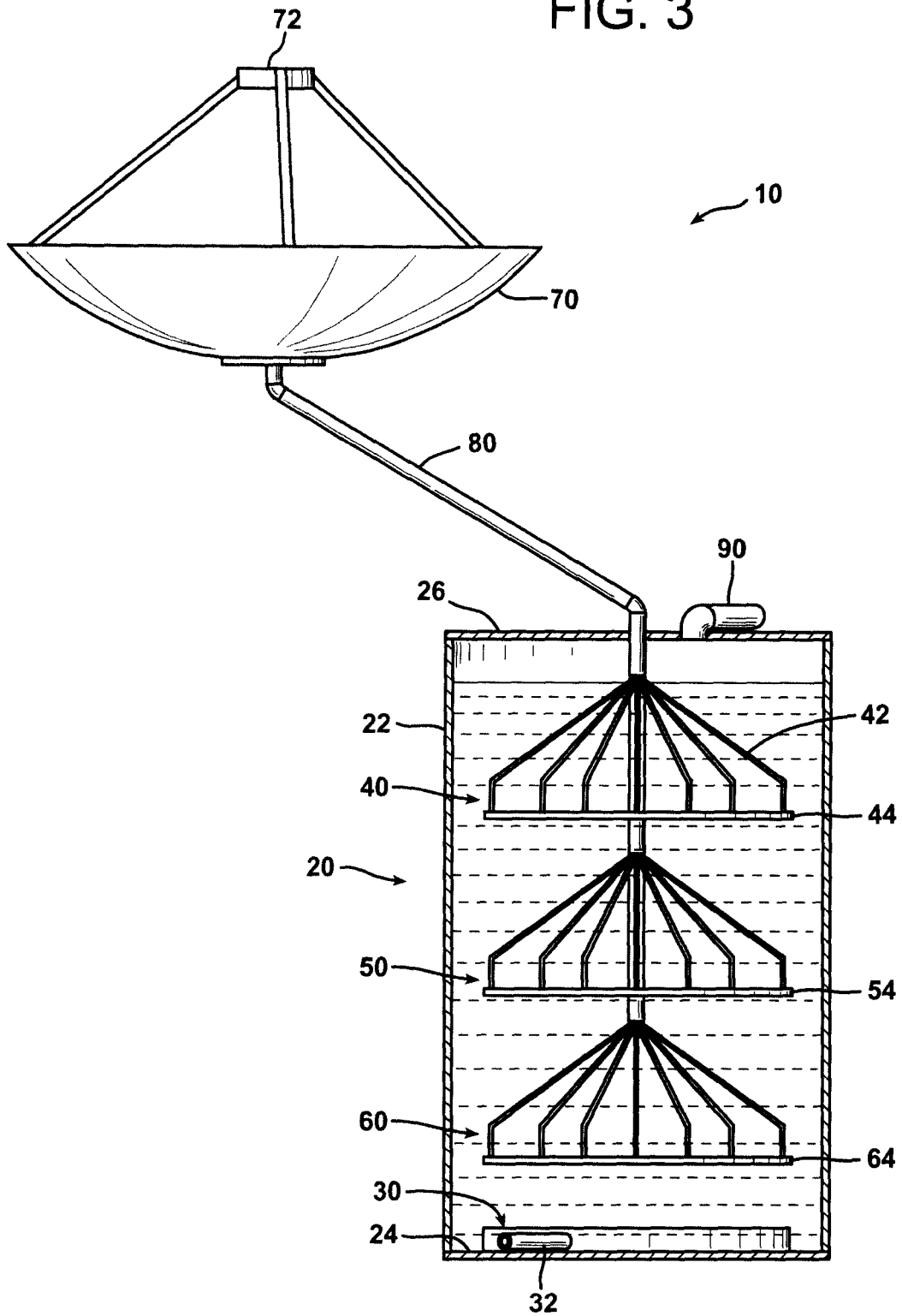


FIG. 3



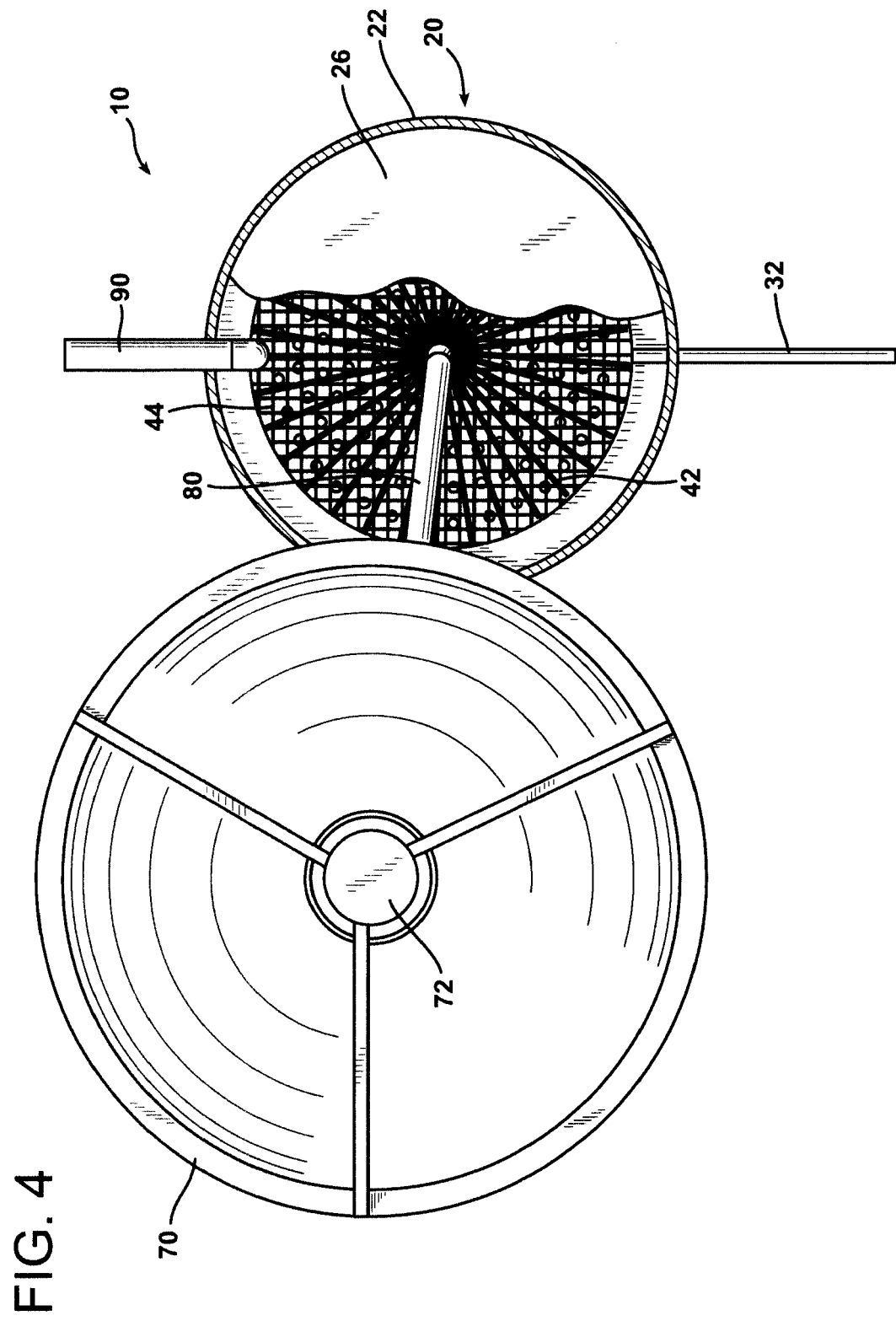


FIG. 5

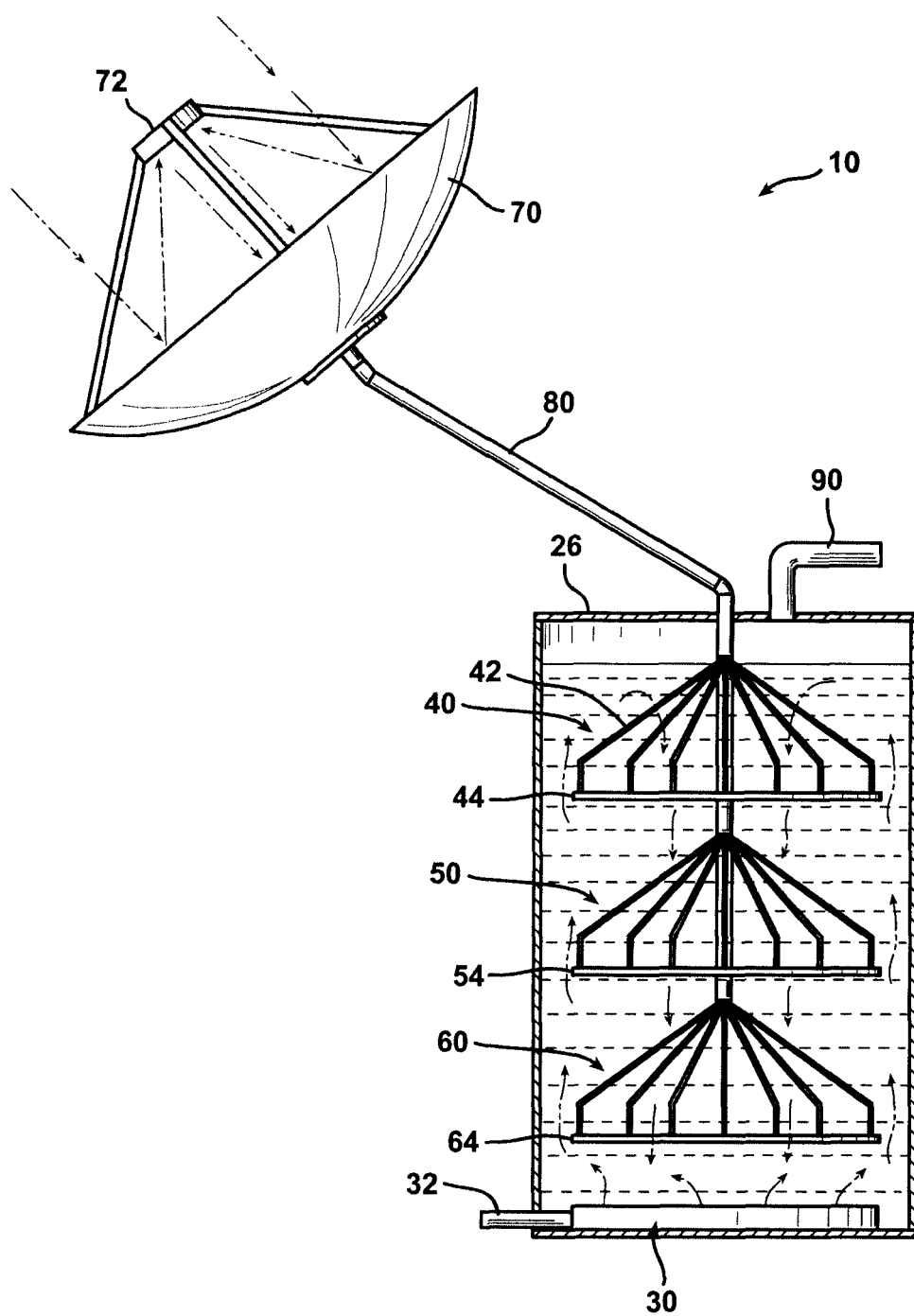
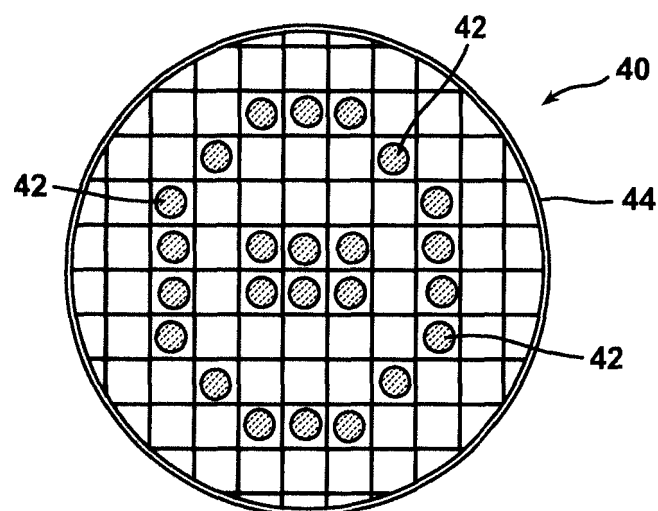


FIG. 6





OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 200850013

②② Fecha de presentación de la solicitud: 10.05.2007

③② Fecha de prioridad: **10-05-2006**

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: **C12M1/00** (2006.01)
B01D53/84 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	AN, J-Y et al. Biological desulfurization in an optical-fiber photobioreactor using an automatic sunlight collection system. Journal of Biotechnology, Vol. 80, No 1, 9 junio de 2000, páginas 35-44 [en línea], [recuperado el 15.10.2011]. Recuperado de Internet <URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168165600002352 > <DOI: 10.1016/S0168-1656(00)00235-2>	1,2,4
Y		3,5-12
Y	US 6156561 A (KODO et al.) 05.12.2000, resumen; columna 4, líneas 14-24; figura 3.	3
A		9
Y	GB 1509630 A (BIO KINETICS INC) 04.05.1978, página 1, líneas 38-60; página 3, línea 103 – página 4, línea 87.	5-12
A	US 6083740 A (KODO et al.) 04.07.2000, resumen; columna 1, línea 5 – columna 2, línea 58; columna 3, línea 29 – columna 4, línea 22.	10-12

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 23.11.2011	Examinador A. Figuera González	Página 1/6
--	-----------------------------------	---------------

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

C12M, B01D, L01D

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, TXTEN, XPESP, Internet

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 23.11.2011

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 3, 5-12	SI
	Reivindicaciones 1, 2, 4	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones	SI
	Reivindicaciones 1 - 12	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 se publica.

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	AN, J-Y et al. Biological desulfurization in an optical-fiber photobioreactor using an automatic sunlight collection system. Journal of Biotechnology, Vol. 80, No 1.	09.06.2000
D02	US 6156561 A (KODO et al.)	05.12.2000
D03	GB 1509630 A (BIO KINETICS INC.)	04.05.1978
D04	US 6083740 A (KODO et al.)	04.07.2000

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**REIVINDICACIONES 1, 2 y 4**

Las reivindicaciones 1, 2 y 4 carecen de novedad de acuerdo con el artículo 6 de la Ley de Patentes ya que el documento D01 divulga el objeto de dichas reivindicaciones.

En efecto, a continuación se analiza la correspondencia entre el objeto de cada reivindicación 1, 2 y 4 y el fotobiorreactor descrito en el documento D01.

Reivindicación 1*Un aparato biorreactor*

En D01 se describe un fotobiorreactor que utiliza bacterias fotosintéticas para convertir H₂S en azufre elemental o sulfato. Por lo tanto se trata de un biorreactor. Véase D01, apartado "1.Introduction", páginas 35 y 36.

- (a) *un contenedor que tiene paredes laterales, un suelo y un techo que definen una cámara que alberga una suspensión de sólidos de agua y microorganismos fotosintéticos;*

En D01 se puede observar que el fotobiorreactor tiene paredes laterales, un suelo y una tapa. Véase D01, apartado 2.2 "Reactor system and operation", en la página 37 y figura 1. En el fotobiorreactor de D01 circula agua (véase apartado 2.2., página 37 y figura 1) que contiene *Chlorobium limicola forma thiosulfatophilum*, que son bacterias capaces de realizar una fotosíntesis anoxigénica. Así pues el fotobiorreactor de D01 alberga una suspensión de microorganismos fotosintéticos en agua.

- (b) *una pluralidad de fibras ópticas, teniendo cada una de las fibras un primer extremo dispuesto fuera de la cámara y un segundo extremo dispuesto en la mezcla de la que un haz de luz sale de la fibra;*
- (c) *un colector de luz espaciado del contenedor, teniendo el colector de luz incidente sobre él y focalizando la luz en los primeros extremos de la pluralidad de fibras ópticas;*

En D01 se describe cómo un manojo de fibras ópticas de PMMA revestidas de plástico introduce en el interior del fotobiorreactor luz procedente de un colector de luz solar exterior al reactor. Véase D01, apartado "2.3. Configuration of optical fiber, light collection system, and measurement of light intensity", página 37 y figura 1.

- (d) *al menos una tobera en comunicación fluida con una fuente de gas que contiene al menos dióxido de carbono, estando la tobera dispuesta en la mezcla por debajo de los segundos extremos de las fibras ópticas para inyectar el gas en la mezcla y provocar que los microorganismos fluyan más allá de los segundos extremos de la fibras.*

En D01 se describe el uso de un difusor (sparger) en el fondo del reactor, por debajo de las fibras ópticas, para la favorecer la difusión de los gases de alimentación que proceden de una fuente de gas (véase D01, apartado 2.2., página 37 y figura 1). La agitación causada por el difusor, como es conocido en el estado de la técnica, puede perfectamente provocar un movimiento de la suspensión que se encuentra en el reactor de forma que las bacterias fluyan más allá de las puntas de las fibras ópticas. El gas de alimentación contiene CO₂ (véase D01, apartado 2.2., página 37).

Para la **reivindicación 2**, dependiente de la reivindicación 1, se exige que el biorreactor comprenda además *“un soporte montado en las paredes laterales del contenedor y a través del cual se extienden los segundos extremos de las fibras ópticas para espaciar los segundos extremos de las fibras entre sí lateralmente y para estabilizar las fibras.”* Para la **reivindicación 4**, dependiente de la reivindicación 2, se exige además que el soporte mantenga *“los segundos extremos de las fibras en una posición axial sustancialmente fija”*

Pero en el documento D01 se describe como las fibras se introducen dentro del reactor en tubos de vidrio que están sujetos a las paredes (véase D01, apartado 2.3., página 37 y figura 1) en una posición axial fija. Así pues estos tubos y los medios por los que se fijan a las paredes pueden considerarse con un soporte que espacia los extremos de las fibras entre sí y las estabiliza manteniéndolas en una posición axial fija.

REIVINDICACIÓN 3

En el documento D02 se describe un fotobiorreactor en el cual un manojo de fibras ópticas 8 que suministra luz solar al cultivo está formado por fibras ópticas 80 de diferente longitud de forma que los extremos 81 que irradian la luz solar se distribuyen de forma uniforme en el sentido de la profundidad del tanque 3. Véase D02, columna 4, líneas 14 a 24 y figura 3.

Así pues el situar los extremos de las fibras ópticas a diferentes alturas dentro del reactor es una solución técnica conocida para procurar una distribución eficiente de la luz en el reactor cuya incorporación al reactor del documento D01 hubiera resultado obvia para el experto en la materia. De la misma manera el situar un difusor debajo del segundo nivel de fibras ópticas, repitiendo la configuración descrita para un solo nivel en el documento D01, no plantea aparentemente ningún problema técnico y produce el efecto predecible de solucionar el mismo problema técnico que se solucionaba al poner un difusor por debajo del primer nivel de fibras ópticas

Por lo tanto se considera a la vista de las enseñanzas de los documentos D01 y D02 que la reivindicación 3, dependiente de la reivindicación 1 que carece de novedad, carece de actividad inventiva de acuerdo con el artículo 8 de la Ley de Patentes.

REIVINDICACIÓN 5

En la reivindicación independiente 5, el objeto es un método en el que los apartados (a) hasta (d) se corresponden con los apartados (a) a (c) del aparato de la reivindicación 1 para los que ya se ha analizado que carecen de novedad en base a lo divulgado en el documento D01. El apartado (e) de la reivindicación 5 se corresponde con el apartado (d) de la reivindicación 1 ya analizado pero añade la exigencia de que el gas inyectado provoque *“que los microorganismos fluyan entre regiones de luz, que están próximas a los segundos extremos, y regiones más oscuras, que están separadas de los segundos extremos”*

No obstante en D03 se describe un método para el crecimiento de algas unicelulares utilizando una aireación mediante aire y CO₂ y exponiendo la mezcla a periodos de luz y oscuridad de forma cíclica para que se produzca fotosíntesis (véase D03, página 1, líneas 38 a 60 y página 3, línea 103 a página 4, línea 87).

Así pues para el experto en la materia, hubiera sido evidente que al retirar el recubrimiento de las fibras ópticas para conseguir una iluminación adecuada tal y como se indica en D01, página 37 y (*“optical fibers were inserted in every tube after physical scratching until the desired light intensity was measured in the water”*) sería deseable dejar en el fotobiorreactor zonas de oscuridad para que los microorganismos circulen de forma alternativa por zonas iluminadas y zonas sin lumínar lo que mejora la fotosíntesis de acuerdo con las enseñanzas de D03.

Por lo tanto se considera, a la vista de las enseñanzas de los documentos D01 y D03, que la reivindicación independiente 5 carece de actividad inventiva de acuerdo con el artículo 8 de la Ley de Patentes.

REIVINDICACIONES 6 a 10

Tal y como se analizó para la reivindicación 2, en el documento D01 se utilizan unos tubos de cristal para estabilizar las fibras con respecto al reactor.

En el documento D01 también se utiliza un colector solar siendo del conocimiento común que existen colectores solares que pueden desplazarse para maximizar la captación de luz solar.

En el documento D01 se describe el uso de un difusor (sparger) para la mezcla del gas. El uso de un segundo difusor a una altura superior es una solución técnica evidente si lo que se desea es mejorar la mezcla a lo largo de la altura del reactor.

En D01 se explica el problema de que se adhieran elementos a las fibras ópticas y disminuya su luminosidad y se resuelve introduciendo las fibras en tubos de vidrio (véase D01, página 39). El experto en la materia hubiera podido dar una solución alternativa consistente en dejar una cierta libertad de movimiento a los extremos de las fibras de forma que gracias a dicho movimiento se evite la adherencia. La posibilidad de dejar una parte de la fibra libre en el medio se ilustra por ejemplo en el D02 (véase figura 3). Es evidente que con una configuración en que la punta de la fibra esté libre, si el medio se mueve por efecto del difusor (sparger) situado debajo las puntas de las fibras, estas se moverán y se disminuirá la posibilidad de que sufran adherencias.

El colocar un sistema que requiere una alimentación de un gas que contiene CO₂ dentro de una construcción en el que se genera dicho gas en forma de gas de escape de otro equipo es una solución obvia al problema de minimizar el transporte del gas de alimentación y no parece plantear ningún problema técnico. De hecho el uso de gases de escape en un fotobiorreactor está ilustrado en el documento D04 (véase resumen y columna 1, línea 5 a columna 2, línea 31).

Así pues, las reivindicaciones 6 a 10, dependientes de la reivindicación 5 que carece de actividad inventiva no aportan ninguna característica técnica adicional que no sea o bien conocida o bien obvia para el experto en la materia por lo que carecen a su vez de actividad inventiva.

REIVINDICACIÓN 11

Puesto que en el fotobiorreactor del documento D01 se utiliza como alimentación un gas que contiene CO₂ resulta evidente el interés de disponerlo dentro de una construcción que contenga un generador de energía que produzca un gas de escape de combustible fósil que contiene CO₂. La posibilidad de usar gases de escape como alimentación de un fotobiorreactor se ilustra en el documento D04 (véase resumen y columna 1, línea 5 a columna 2, línea 31).

Así pues la reivindicación 11, que se refiere al biorreactor que carece de novedad de la reivindicación 1, no añade ninguna característica técnica que no sea evidente para el experto en la materia por lo que se considera que carece de actividad inventiva.

REIVINDICACIÓN 12

El uso de una pluralidad de elementos similares en paralelo para lograr un mismo fin y sin que exista aparentemente ningún problema técnico que resolver ni ninguna modificación necesaria de los mismos, es una solución obvia para el problema de aumentar la capacidad de una instalación.

Por lo tanto se considera que la reivindicación 12, dependiente de la reivindicación 11 que carece de actividad inventiva, carece a su vez de actividad inventiva.