

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 568 622**

51 Int. Cl.:

C12M 1/02 (2006.01)

C12M 1/34 (2006.01)

C12M 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.09.2011 E 11757846 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.01.2016 EP 2616534**

54 Título: **Dispositivo de control de la temperatura de un fotobiorreactor solar de iluminación directa**

30 Prioridad:

13.09.2010 FR 1057285

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

03.05.2016

73 Titular/es:

UNIVERSITÉ DE NANTES (50.0%)

1, quai de Tourville

44000 Nantes, FR y

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE

SCIENTIFIQUE (CNRS) (50.0%)

72 Inventor/es:

GOETZ, VINCENT;

PRUVOST, JÉRÉMY;

LEGRAND, JACK y

PLANTARD, GAEL

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 568 622 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Dispositivo de control de la temperatura de un fotobiorreactor solar de iluminación directa.

5 **Campo de la invención**

La invención se refiere al campo de los fotobiorreactores. Más particularmente, la invención se refiere al campo de los fotobiorreactores que comprenden una cámara confinada de reacción. Se aplica en particular a los fotobiorreactores de flujo para el flujo en bucle cerrado de un líquido. Sin embargo, no está limitada a esta aplicación precisa y abarca también, por ejemplo, los reactores en células inmovilizadas, sin bucle de circulación, y los reactores en bucle abierto.

Técnica anterior

15 La producción de biomasa por cultivo de microorganismos fotosintéticos por medio de la utilización directa de la energía solar se inscribe totalmente en el ámbito del desarrollo sostenible. Esta producción es posible gracias a los fotobiorreactores de captación directa de la luz solar, en los que la luz del sol es captada por una superficie de captación y restituida a los microorganismos que consumen una parte de esta radiación solar para su fotosíntesis. La utilización de fotobiorreactores cerrados que comprenden una cámara confinada de reacción, en oposición a los reactores con tanque abierto, permite optimizar la producción gracias a la posibilidad de controlar las condiciones de crecimiento de los microorganismos (en particular el aporte de diversos gases y nutrientes).

20 Sin embargo, los fotobiorreactores de captación directa de luz solar cerrados son susceptibles de sufrir un calentamiento excesivo del cultivo de microorganismos. Esto es tanto más cierto cuando el volumen de cultivo por superficie de captación es bajo en este tipo de instalación (por ejemplo, pero no limitativamente, del orden de algunos litros por metro cuadrado de superficie iluminada). Asimismo, los microorganismos sufren las variaciones de iluminación solar (ciclo nictemeral y anual). Ahora bien, el dominio de la temperatura constituye un punto clave para el buen funcionamiento de los fotobiorreactores. Esta temperatura debe ser controlada con el fin de que se sitúe idealmente alrededor de la óptima de crecimiento del microorganismo cultivado (habitualmente situada entre 25°C y 40°C). Si la temperatura es demasiado elevada, esto puede causar la muerte de los microorganismos.

Existen soluciones que se refieren principalmente al problema de sobrecalentamiento del fotobiorreactor de captación directa de luz solar cerrado.

35 Una solución consiste en rociar regularmente con agua el fotobiorreactor. Otra solución consiste en sumergir parcialmente por lo menos el fotobiorreactor en un tanque de agua.

Tanto una como otra de estas soluciones adolecen del inconveniente consumir mucha agua debido al fenómeno de evaporación y de necesitar la construcción de tanques.

40 Además, la aspersion de agua sobre el fotobiorreactor provoca el ensuciamiento de las superficies de captación de la luz por depósito de sales minerales sobre estas superficies. El flujo luminoso que llega al cultivo se encuentra por lo tanto disminuido.

45 La inmersión en tanque provoca problemas de reflexión-absorción de una parte del flujo luminoso, disminuyendo también la eficacia de captación del fotobiorreactor.

El documento FR-A-2 914 315 describe así una instalación para la fotosíntesis de microorganismos de algas que comprende un dispositivo de pulverización de agua sobre unas canalizaciones, para reducir la temperatura del líquido de cultivo.

El documento US-2008/0160591 describe un fotobiorreactor dispuesto en un tanque de agua con fines de regulación térmica.

55 El documento WO-2008/008262 describe un fotobiorreactor que comprende un conjunto de transferencia térmica a base de medios de pulverización de agua o de una fuente.

Otras soluciones implican el aporte de energía eléctrica para el enfriamiento y/o el calentamiento activo(s) del cultivo. Ahora bien, en el caso de un cultivo de microorganismos para la producción de energía, es primordial y esencial minimizar todos los costes energéticos relacionados con la producción de los microorganismos.

60 Se encuentran unos ejemplos de tales soluciones en los documentos WO-2007/129327 (que divulga un sistema de regulación térmica que utiliza un intercambiador externo), el documento US-2008/0220515 (que prevé un intercambio térmico con un dispositivo de regulación externo), el documento FR 2 823 761 (que propone un fotobiorreactor que comprende una doble capa translúcida externa que permite la circulación de fluidos de termorregulación), el documento EP 1 928 994 (que recomienda una regulación térmica que utiliza unas barreras

5 térmicas asociadas a los tubos del reactor, a base de arena, SiO₂, vidrio, plástico o cerámica translúcida), el documento EP 0 647 707 (que describe un fotobiorreactor que comprende unas paredes térmicamente conductoras apropiadas para ser calentadas o enfriadas directamente), el documento US n° 4.233.958 (que describe una cúpula que se apoya en una base que forma un acumulador de calor), los documentos US-2009/0291490 y WO 98/18903 (que describen unos fotobiorreactores con una regulación térmica pasiva).

Presentación de la invención

10 Uno de los objetivos de la invención es paliar por lo menos uno de los inconvenientes de la técnica anterior descrita anteriormente.

15 Para ello, la invención propone un fotorreactor que comprende una cámara confinada de reacción, estando la cámara separada del exterior por una pared de captación de luz, y otra pared, siendo la pared de captación y la otra pared paralelas entre sí;

20 caracterizado por que el fotorreactor comprende además una válvula térmica dispuesta contra la otra pared para controlar, de manera pasiva, el aumento del calor en el interior de la cámara debido a la radiación que atraviesa la pared de captación con el fin de mantener la temperatura en por lo menos una parte de la cámara bajo una temperatura umbral, estando la válvula térmica compuesta por un material con cambio de fase y un intercambiador térmico según la reivindicación 1.

Una ventaja de este fotorreactor de regulación térmica pasiva reside en que no necesita ni aporte de energía ni agua para permitir una regulación pasiva de la temperatura dentro del cultivo de microorganismos.

25 Otras características opcionales y no limitativas son las siguientes:

- el reactor es un fotobiorreactor;
- el material es una parafina; la cual tiene preferentemente un intervalo de temperatura de cambio de fase de 30 entre 25°C y 40°C.

Presentación de los dibujos

35 Otros objetivos, características y ventajas de la presente invención aparecerán con la lectura de la descripción detallada siguiente, en referencia a los dibujos dados a título ilustrativo y no limitativo, entre los cuales:

- la figura 1 es un primer ejemplo de realización de un fotobiorreactor;
- la figura 2 es un segundo ejemplo de realización de un fotobiorreactor;
- 40 - la figura 3 es un tercer ejemplo de realización de un fotobiorreactor;
- la figura 4 es un cuarto ejemplo de realización de un fotobiorreactor;
- 45 - las figuras 5a a 5d muestran cuatro diagramas que ilustran las curvas de temperatura diaria dentro del fotobiorreactor de la figura 1 en función de la masa de material con cambio de fase utilizada para la válvula térmica;
- 50 - las figuras 6a a 6c muestran tres diagramas que ilustran las curvas de temperatura diaria dentro del fotobiorreactor de la figura 1 en función de las condiciones de intercambio en la cara trasera;
- la figura 7a muestra una curva que ilustra la evolución de la densidad de potencia de irradiación durante un día normal del mes de julio en Nantes, tomado como día estándar para los diagramas de las figuras 5a a 5d y 6a a 6c;
- 55 - la figura 7b muestra una curva que ilustra la evolución de la temperatura durante un día normal del mes de julio en Nantes, tomado como día estándar para los diagramas de las figuras 5a a 5d y 6a a 6c;
- 60 - la figura 8 representa esquemáticamente una vista en sección vertical de una variante de realización de un fotobiorreactor de acuerdo con la presente invención, que comprende un intercambiador térmico; y
- la figura 9 representa un ejemplo de curva de transmisión de un vidrio que filtra la radiación infrarroja, susceptible de ser utilizada en el ámbito de la presente invención.

Descripción detallada

5 En referencia a las figuras 1 a 4, se describe a continuación un ejemplo de fotobiorreactor. El fotobiorreactor 1 permite el cultivo de uno o varios tipos/especies de microorganismos. El término "microorganismos" se utilizará a continuación en plural pero abarca también el singular.

El fotobiorreactor 1 comprende una cámara 15 confinada de reacción, en este caso una cámara de flujo para el flujo en bucle cerrado de un líquido.

10 La cámara 15 de reacción está comprendida entre dos paredes:

- una pared 11 de captación de la luz que la separa del exterior, por la cual atraviesa la radiación solar; y
- otra pared 12 que puede ser paralela a la pared 11 de captación.

15 La distancia entre la pared 11 de captación y la otra pared 12 se selecciona de manera que permita un flujo satisfactorio en la cámara 15 de reacción, entre estas dos paredes 11 y 12.

20 El flujo en bucle cerrado está garantizado por un mecanismo 14 de elevación de líquido, el cual puede ser objeto de numerosos modos de realización bien conocidos por el experto en la materia. Por ejemplo, el mecanismo 14 de elevación comprende una rampa de elevación de fluido cuyo extremo está situado aguas abajo del flujo del cultivo, en la parte inferior de la cámara 15, y el otro extremo está situado aguas arriba, en la parte superior de la cámara 15. El mecanismo 14 de elevación comprende también una bomba para hacer circular el líquido hacia la parte superior de la cámara 15 de reacción. La bomba ocasiona un flujo a lo largo de la rampa de elevación en un sentido contrario al flujo del cultivo. Un reactor de este tipo está descrito en la solicitud de patente francesa nº FR 09 568 70.

25 El fotobiorreactor 1 comprende además, según la invención, una válvula 13 térmica para mantener, de manera pasiva, la temperatura por debajo de una temperatura umbral T_s en por lo menos una parte de la cámara 15 de reacción. La válvula 13 térmica puede ser colocada contra la otra pared 12, posicionándola bien en el interior de la cámara 15 de reacción, o bien en el exterior.

30 La temperatura umbral T_s está determinada por los microorganismos presentes en el cultivo. Así, la temperatura umbral T_s se selecciona de manera que sea inferior a la temperatura máxima que puede soportar el conjunto de los microorganismos cultivados. La temperatura umbral T_s puede ser superior a la temperatura máxima que puede soportar un microorganismo no deseado dentro del cultivo.

35 En el ámbito de la presente invención, la válvula térmica 13 está formada a base de un material con cambio de fase orgánica o inorgánica cuya temperatura de cambio de fase está adaptada a la temperatura umbral T_s deseada.

40 El material que compone la válvula térmica 13 puede estar formado por ejemplo por parafina.

A título de ejemplo no limitativo y en el caso de una temperatura umbral T_s de 30°C, un material particularmente bien adaptado y disponible comercialmente está constituido por la parafina RT31 (Rubitherm), que presenta una zona de fusión de 27 a 31°C para una entalpía de fusión de 170 kJ/kg.

45 La eficacia de la transferencia térmica entre el cultivo y la otra pared 12 depende de las condiciones de flujo. La de entre la otra pared 12 y la válvula 13 térmica depende de un coeficiente de intercambio entre el material de la otra pared 12 y el de la válvula 13 térmica y de la conductividad térmica de la válvula 13 térmica.

50 En el ámbito de una válvula 13 térmica de material con cambio de fase, la eficacia de la transferencia térmica entre la válvula 13 térmica y la otra pared 12 mejora si el material con cambio de fase está dentro de una matriz de grafito.

55 Durante toda la duración del cambio de fase, la temperatura del material con cambio de fase es sustancialmente constante. Es decir, que si se debe calentar para alcanzar la temperatura de cambio de fase, que está preferentemente comprendida entre 25°C y 40°C, la temperatura del material, que no sufre todavía cambio de fase, aumentará progresivamente hasta alcanzar la temperatura de cambio de fase. A esta temperatura, el material con cambio de fase pasará de un primer estado a un segundo estado. Mientras quede material en el primer estado, la temperatura se mantendrá a la temperatura de cambio de fase. El aumento de la temperatura del material volverá a empezar sólo cuando el material se encuentre totalmente en el segundo estado.

60 Para la composición del material con cambio de fase que forma la válvula térmica 13, en el intervalo de temperatura 30°C, se pueden citar los productos siguientes:

- alcanos o parafinas: n-octadecano, nonadecano, productos comercializados bajo la denominación RT42, RT31 o RT27 (mezclas de parafina, productos de Rubitherm);
- materiales orgánicos diferentes de la parafina: ácido cáprico ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$), 1-dodecanol

(CH₃(CH₂)₁₁OH), tioglicolato de octadecilo, palmitato de metilo, estearato de metilo, estearato de etilo (y mezcla de estos tres últimos constituyentes), ácido láctico, estearato de vinilo;

- 5 - materiales inorgánicos: cloruro de calcio hexahidratado (CaCl₂·6H₂O), nitrato de manganeso hexahidratado (Mn(NO₃)₂·6H₂O), nitrato de litio trihidratado (LiNO₃·3H₂O), sulfato de sodio decahidratado (Na₂SO₄·10H₂O);
- 10 - eutécticos inorgánicos: cloruro de calcio con cloruro de magnesio hexahidratado; nitrato de calcio tetrahidratado con nitrato de zinc hexahidratado; cloruro de calcio, de sodio y de potasio con agua; sulfato de sodio decahidratado con agua.

La válvula 13 térmica de material con cambio de fase puede recubrir la totalidad de la otra pared 12. Así, la temperatura del cultivo se mantiene por debajo de la temperatura umbral Ts en toda la cámara 15 de reacción (véanse las figuras 1 y 3).

La válvula 13 térmica de material con cambio de fase puede recubrir sólo una parte de la otra pared 12, incluso estar en contacto con una parte del fotobiorreactor 1 que no esté en la cámara 15 de reacción, sino en una cámara 18 de seguridad aguas abajo del flujo del líquido que constituye el cultivo de microorganismos.

En las figuras 2 y 4, la cámara de seguridad 18 corresponde a un compartimiento situado en la parte baja del fotobiorreactor 1 y en el que es susceptible de acumularse el líquido contenido en la cámara de reacción 15, en caso de interrupción del flujo.

El fotobiorreactor 1 puede comprender también un regulador 17 de flujo para bloquear el mecanismo 14 de elevación y de este modo el bucle de flujo del líquido en el interior de la cámara 15 de reacción cuando la temperatura en la cámara 15 de reacción supera otra temperatura umbral Ts' inferior o igual a la temperatura umbral Ts. El líquido se acumula entonces aguas abajo del flujo, eventualmente en la cámara 18 de seguridad, si ésta está prevista. Así, cuando la temperatura en la cámara 15 de reacción supera la otra temperatura umbral Ts', el líquido se confina en un espacio de la cámara 15 de reacción o en la cámara 18 de seguridad, en donde está presente la válvula 13 térmica (véanse las figuras 2 y 4).

El material con cambio de fase sirve también de almacenamiento de energía. En efecto, al calentarse, y después al cambiar de estado, el material con cambio de fase almacena la energía solar (la que se debe a la radiación no consumida por la fotosíntesis) y la restituye cuando la radiación del sol se vuelve insuficiente (por ejemplo al final del día), garantizando el mantenimiento de la temperatura óptima de crecimiento de los microorganismos durante más tiempo.

El fotobiorreactor 1 puede ser un fotobiorreactor plano, como se ilustra en las figuras 1 y 2. En este caso, la pared superior 11 de captación y la otra pared inferior 12 son planas, paralelas entre sí e inclinadas con respecto al suelo, asegurando así un flujo por gravedad. La pared 11 de captación está entonces dispuesta por encima de la otra pared 12, siendo esta disposición impuesta por la geometría para poder captar directamente la luz solar. En la parte inferior, el fondo de la cámara de seguridad 18 comprende por otro lado un plano inclinado hacia abajo en dirección del punto de entrada del conducto de subida 14.

La cara delantera de captación 11 está formada típicamente por un acristalamiento de algunos mm de grosor.

La cara trasera 12 está formada por un panel de material apropiado, por ejemplo por metal, vidrio o polímero.

La válvula 13 térmica puede cubrir totalmente la otra pared 12, o bien por encima (en tal caso, la válvula 13 térmica está en el interior de la cámara 15 de reacción), o bien por debajo (véase la figura 1). La otra pared y la válvula 13 térmica están en contacto la una con la otra para permitir una transferencia térmica.

La válvula 13 térmica puede cubrir sólo una cámara 18 de seguridad prevista en el fotobiorreactor 1, o bien por encima, o bien por debajo (véase la figura 2). La válvula 13 térmica está posicionada en contacto con una pared de la cámara 18 para asegurar la transferencia térmica.

El fotobiorreactor 1 puede también ser un fotobiorreactor cilíndrico, como se ilustra en las figuras 3 y 4. En este caso, la pared 11 de captación y la otra pared 12 tienen una geometría cilíndrica y centrada sobre el mismo eje, preferentemente vertical. La pared 11 de captación está en el exterior mientras que la otra pared 12 está en el interior, siendo esta disposición impuesta por la geometría para poder captar directamente la luz solar. El flujo del líquido formado por el cultivo de microorganismo se realiza de arriba a abajo por gravedad.

La válvula 13 térmica puede cubrir totalmente la otra pared 12, o bien por el exterior del cilindro formado por la otra pared 12 (en tal caso, la válvula 13 térmica está en el interior de la cámara 15 de reacción), o bien por el interior del cilindro formado por la otra pared 12 (en tal caso, la válvula 13 térmica está en el exterior de la cámara 15 de reacción, véase la figura 3). La otra pared 12 y la válvula 13 térmica están en contacto la una con la otra para

permitir una transferencia térmica.

5 La válvula 13 térmica puede cubrir sólo una parte de la otra pared 12, o bien por el exterior (véase la figura 4), o bien por el interior, del cilindro formado por la otra pared 12. La válvula 13 térmica está posicionada en contacto con la parte baja de la otra pared 12 para asegurar la transferencia térmica y la función de seguridad en esta parte de seguridad. En efecto, cuando el mecanismo 14 de elevación está bloqueado, el líquido que constituye el cultivo fluye hacia abajo en la parte de seguridad 18.

10 El fotobiorreactor 1 puede comprender además un filtro parecido al infrarrojo y/o al ultravioleta sobre o debajo de la pared 11 de captación de la luz. El filtro es transparente a las longitudes de onda del campo visible. Prever un filtro es ventajoso porque no toda la radiación solar es útil. En efecto, sólo la parte de la radiación solar que corresponde a las longitudes de onda situadas en el campo de lo visible es útil para los microorganismos fotosintéticos con un rendimiento máximo del 15%. Una gran parte de la radiación solar que entra en el reactor tiene por lo tanto como consecuencia calentar la cámara 15 de reacción.

15 La eficacia de la transferencia térmica entre el cultivo y la otra pared 12 depende de las condiciones de flujo. La de entre la otra pared 12 y la válvula 13 térmica depende de un coeficiente de intercambio entre el material de la otra pared 12 y el de la válvula 13 térmica y de la conductividad térmica de la válvula 13 térmica.

20 En el ámbito de una válvula 13 térmica de material con cambio de fase, la eficacia de la transferencia térmica entre la válvula 13 térmica y la otra pared 12 mejora si el material con cambio de fase está dentro de una matriz en grafito.

25 El resto de la radiación puede ser nefasto (ultravioletas que representan el 5% de la densidad de potencia total del espectro solar estándar, es decir aproximadamente 50 W m^{-2}) o puede causar el sobrecalentamiento del fotobiorreactor 1 (similar al infrarrojo que representa el 52% de la densidad de potencia total del espectro solar estándar, es decir aproximadamente 515 W m^{-1}). Además, como la capacidad de la válvula 13 térmica de material con cambio de fase para mantener la cámara 15 de cultivo debajo de la temperatura umbral T_s depende de su masa, prever un filtro permite reducir la masa necesaria, ya que una parte de las radiaciones de calentamiento no entra en la cámara 15 de reacción.

30 La pared 11 de captación puede desempeñar el papel de filtro con respecto a la radiación que no es útil. Por ejemplo, una pared 11 de captación de vidrio convencional desempeña naturalmente el papel de filtro para la radiación ultravioleta comprendida en el espectro solar. Unos vidrios técnicos aseguran la función de filtro de la radiación similar al infrarrojo (longitudes de onda comprendidas entre 700 nm y 3000 nm). Se ha representado en la figura 9 anexa el porcentaje de transmisión de vidrios disponibles en el comercio destinados a la filtración de la radiación infrarroja y similar al infrarrojo. Se pueden utilizar otros materiales con el fin de acercarse idealmente a una transparencia perfecta a las longitudes de onda útiles para la fotosíntesis situadas en el campo de lo visible y una reflexión total a las longitudes de onda ultravioleta y sobre todo similares al infrarrojo.

40 Como se ha representado esquemáticamente en la figura 8, el fotorreactor 1 comprende un intercambiador 16 térmico. El intercambiador térmico 16 está dispuesto en contacto con la válvula 13 térmica cuando ésta está prevista en el exterior de la cámara de reacción 15. El intercambiador térmico 16 puede también estar dispuesto en contacto con la otra pared 12, en particular cuando la válvula 13 térmica está prevista en el interior de la cámara de reacción 15. El intercambiador térmico 16 permite aliviar la válvula 13 térmica asegurando un cierto enfriamiento de ésta.

45 Según otras variantes no reivindicadas, el intercambiador 16 térmico puede también tener otra posición, con tal de que pueda asegurar una transferencia térmica entre la cámara 15 de reacción y el exterior a través eventualmente de un elemento del fotobiorreactor 1.

50 El intercambiador 16 térmico puede ser un radiador de aletas.

55 Las figuras 5a a 5d ilustran los resultados de un cálculo teórico del calentamiento del cultivo dentro de la cámara 15 de reacción durante un día estándar cuando el fotobiorreactor 1 no comprende la válvula 13 térmica (figura 5a) o comprende una válvula 13 térmica de material con cambio de fase que tiene un grosor de 1 cm (figura 5b), 2 cm (figura 5c) y 3 cm (figura 5d).

60 Los cálculos que conducen a las figuras 5a a 5d se han efectuado para un fotobiorreactor 1 que comprende un filtro de vidrio que presenta una transmisión y una reflexión de la radiación solar de 0,5. Las condiciones de intercambios con el medioambiente, de las superficies 11 y 12 (figura 5a) o de la superficie de la válvula 13 térmica (figura 5b, 5c, 5d) consideradas para el cálculo, corresponden a un coeficiente de intercambio por convección natural de $5 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. La válvula térmica utilizada en la simulación comprende una superficie de $0,7 \text{ m}^2$, y es de material con cambio de fase formado por Rubitherm que tiene respectivamente unos grosores de 1 cm, 2 cm y 3 cm que corresponde a unas masas de 5 kg, 10 kg y 15 kg.

65 Se observa en la figura 5a que cuando el fotobiorreactor 1 no comprende la válvula 13 térmica (figura 5a), la temperatura dentro de la cámara 15 de reacción alcanza un máximo de 40°C entre las 12:00 y 13:00 y se mantiene

superior a 30°C durante cerca de siete horas.

5 Cuando el fotobiorreactor 1 comprende una válvula 13 térmica de material con cambio de fase de 1 cm (figura 5b), la temperatura dentro de la cámara 15 de reacción alcanza también un máximo de 40°C alrededor de las 13:00 horas y se mantiene superior a 30°C durante cuatro horas, es decir tres horas menos que en el caso ilustrado en la figura 5a.

10 Cuando la válvula 13 térmica es de 2 cm (figura 5c), la temperatura dentro de la cámara 15 de reacción sigue estando por debajo de 35°C a lo largo del día y superior a 30°C durante dos horas y veinte minutos aproximadamente, es decir cerca de cuatro horas y cuarenta minutos menos que en el caso ilustrado en la figura 5a. El pico de temperatura se desplaza alrededor de las 14:45 horas.

Por último, cuando la válvula 13 térmica es de 3 cm, la temperatura dentro de la cámara 15 de reacción sigue siendo constante por debajo de 30°C (figura 5d).

15 Estas comparaciones demuestran la eficacia de la válvula 13 térmica de material con cambio de fase.

20 Las figuras 6a a 6c ilustran el calentamiento del cultivo dentro de la cámara 15 de reacción durante un día estándar cuando el fotobiorreactor 1 comprende un filtro de vidrio, teniendo una válvula 13 térmica de material con cambio de fase un grosor de 1 cm sin intercambio térmico (figura 6a), y con un intercambiador térmico que desarrolla una superficie aletada (que comprende unas aletas) que permite aumentar la superficie de intercambio inicial (en este caso 0,7 m²) en un factor 2 (figura 6b) o en un factor 6 (figura 6c). Los cálculos presentados en la presente memoria a título ilustrativo se han efectuado en el caso de un intercambio en condiciones de convección natural que conducen a un coeficiente de intercambio de 5 W m⁻² K⁻¹.

25 La figura 6a corresponde a la figura 5b. Por lo tanto no se comentará más.

30 Cuando el intercambiador térmico en la cara trasera permite duplicar la superficie de intercambio (figura 6b), la temperatura dentro de la cámara 15 de reacción no supera los 35°C durante todo el día estándar y sigue estando por encima de 30°C durante menos de tres horas y veinte minutos, acercando el resultado obtenido al caso ilustrado por la figura 5c.

35 Cuando el intercambiador térmico en la cara trasera desarrolla una superficie seis veces mayor (figura 6c), la temperatura dentro de la cámara 15 de reacción no supera los 30°C durante todo el día estándar. El resultado se ve incluso mejorado con respecto al caso ilustrado por la figura 5d.

Así, se puede observar que la utilización de un intercambiador térmico en la cara trasera mejora los resultados obtenidos. Esto permite reducir la masa de material con cambio de fase necesaria.

40 La evolución de la temperatura de un día estándar tal como se considera en las simulaciones que conducen a los resultados de las figuras 5a a 5d y 6a a 6c se ilustra en la figura 7b. Esta evolución corresponde a la de un día normal del mes de julio en Nantes. La evolución durante el día de la densidad de flujo que corresponde a la radiación solar se ilustra en la figura 7a.

45 La descripción se ha realizado en referencia a un fotobiorreactor, pero puede también ser fácilmente adaptada para cualquier tipo de reactor de captación directa de luz solar, por ejemplo un fotorreactor que trabaja en el campo de la fotocatalisis para el tratamiento de líquidos. Asimismo, las geometrías pueden variar y el experto en la materia sabrá adaptar la enseñanza de la presente descripción a estas diversas geometrías.

50 Los aportes de gas A, en particular CO₂, y en nutrientes se realizan mediante unos conductos dedicados conocidos por el experto en la materia, por ejemplo a nivel del conducto 14. Asimismo, el trasiego para la recogida de los microorganismos se efectúa mediante cualquier medio adecuado conocido por el experto en la materia, por ejemplo con la ayuda de medios previstos para ello sobre el conducto 14, cuando se cumplen las condiciones.

55 El experto en la técnica apreciará, con la lectura de la descripción anterior, que la presente invención permite unas ventajas decisivas en cuanto a la regulación de temperatura, frente a la técnica anterior, mediante la utilización de un sistema de regulación pasiva que comprende una válvula térmica y un intercambiador térmico.

60 No es necesario disponer de una bomba sobre el conducto 14 cuando el líquido es puesto en movimiento por otros medios, por ejemplo como se conoce en sí mismo, por la presión estática diferencial que resulta de la inyección de gas en la cámara de reacción 15.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Fotorreactor (1) que comprende una cámara (15) confinada de reacción, estando la cámara (15) separada del exterior por una pared (11) de captación de luz y otra pared (12), siendo la pared de captación y la otra pared paralelas entre sí;
- 10 el fotorreactor (1) comprende además una válvula (13) térmica dispuesta contra la otra pared (12) para controlar, de manera pasiva, el aumento de calor en el interior de la cámara (15) debido a la radiación que atraviesa la pared (11) de captación con el fin de mantener la temperatura en por lo menos una parte de la cámara (15) bajo una temperatura umbral (Ts), estando la válvula térmica (13) compuesta por un material con cambio de fase;
- 15 caracterizado por que el fotorreactor (1) comprende un intercambiador (16) térmico dispuesto contra la válvula (13) térmica, llegado el caso, en la parte opuesta con respecto a la otra pared y que asegura un intercambio térmico entre la válvula (13) térmica y el exterior.
- 20 2. Fotorreactor (1) según la reivindicación 1, caracterizado por que el reactor es un fotobiorreactor.
3. Fotorreactor (1) según la reivindicación 1 o 2, en el que el material es una parafina.
- 20 4. Fotorreactor (1) según la reivindicación 3, en el que el material es una parafina con un intervalo de temperatura de cambio de fase próximo a 30°C.
- 25 5. Fotorreactor (1) según la reivindicación 1 o 2, en el que el material se selecciona de entre los productos siguientes:
- 30 - alcanos o parafinas: en particular n-octadecano, nonadecano,
- 30 - materiales orgánicos distintos de la parafina: en particular ácido cáprico; 1-dodecanol, tioglicolato de octadecilo; palmitato de metilo, estearato de metilo, estearato de etilo, y mezcla de estos tres últimos constituyentes; ácido láctico; estearato de vinilo;
- 35 - materiales inorgánicos: en particular cloruro de calcio hexahidratado; nitrato de manganeso hexahidratado; nitrato de litio trihidratado; sulfato de sodio decahidratado;
- 35 - eutécticos inorgánicos: en particular cloruro de calcio con cloruro de magnesio hexahidratado; nitrato de calcio tetrahidratado con nitrato de zinc hexahidratado; cloruro de calcio, de sodio y de potasio con agua; sulfato de sodio decahidratado con agua.
- 40 6. Fotorreactor según una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la pared (11) de captación y la otra pared (12) son planas y están inclinadas con respecto al suelo asegurando así un flujo, estando la pared (11) de captación dispuesta por encima de la otra pared (12).
- 45 7. Fotorreactor (1) según una de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende además un medio que forma un filtro que deja pasar únicamente las radiaciones útiles.
8. Fotorreactor según una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el intercambiador (16) térmico es un radiador de aletas.
- 50 9. Fotorreactor según una de las reivindicaciones 1 a 8, en el que la válvula (13) térmica está dispuesta aguas abajo del flujo, y que comprende además un regulador (17) de flujo para cortar el bucle (14) de flujo del líquido en el interior de la cámara (15) de reacción cuando la temperatura en la cámara (15) de reacción supera otra temperatura umbral (Ts'), acumulándose el líquido aguas abajo del flujo.

FIG. 1

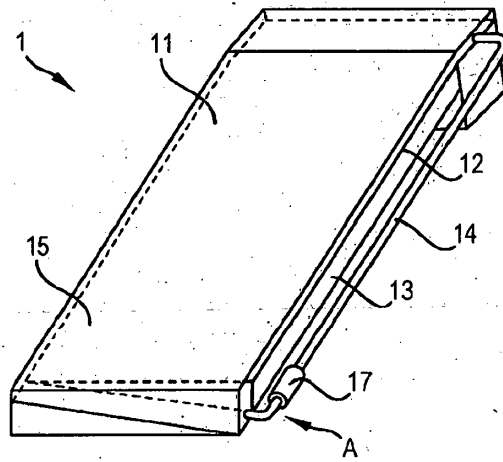


FIG. 2

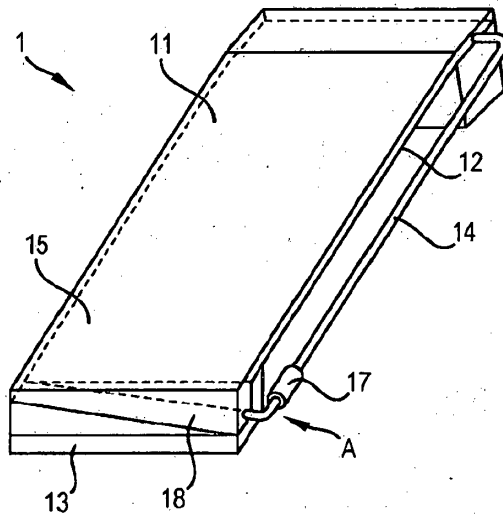


FIG. 3

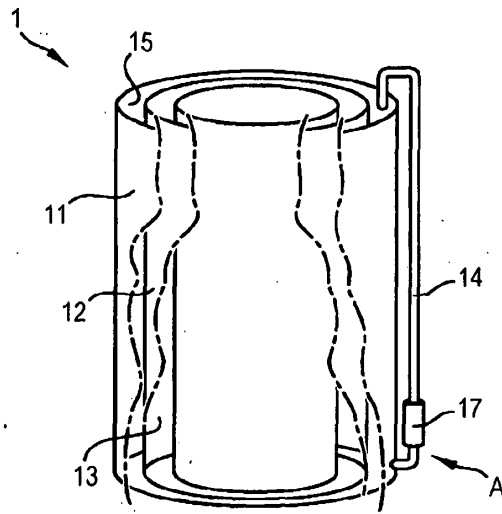


FIG. 4

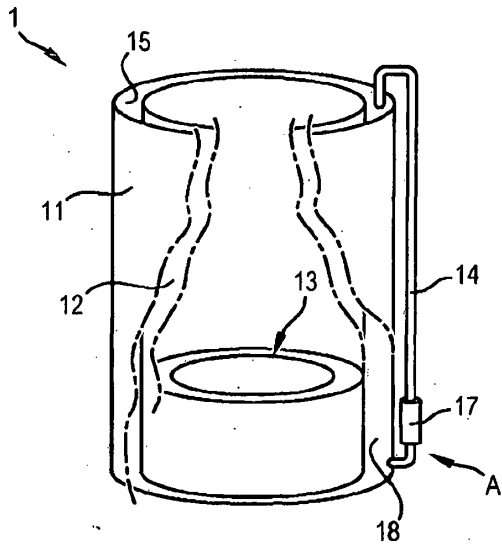


FIG. 5a

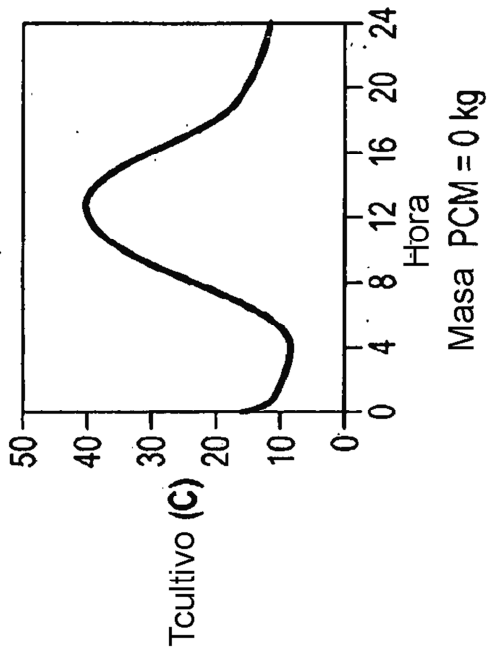


FIG. 5b

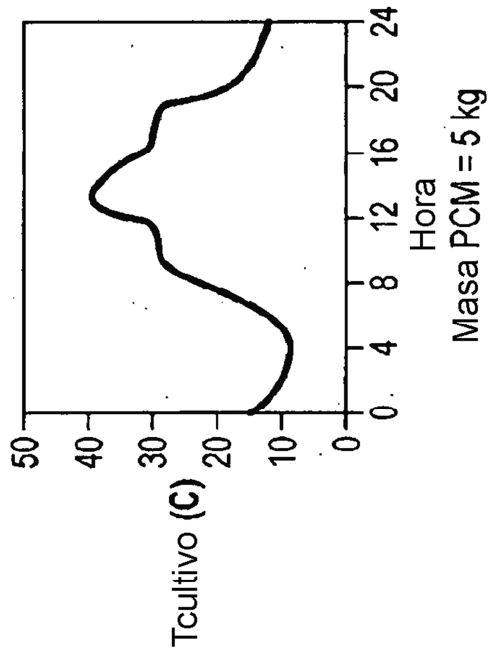


FIG. 5c

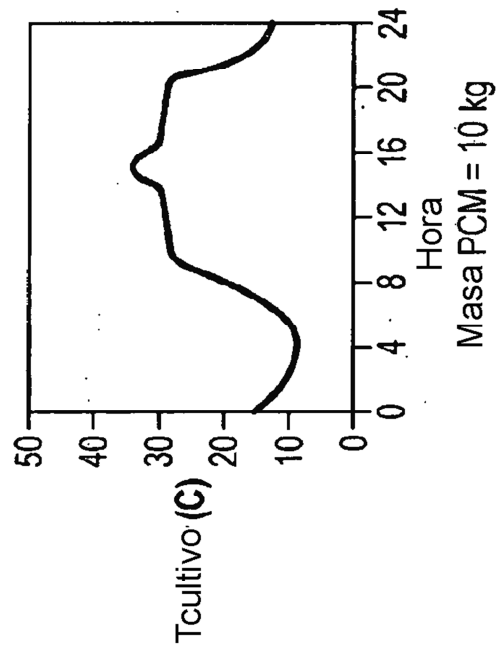


FIG. 5d

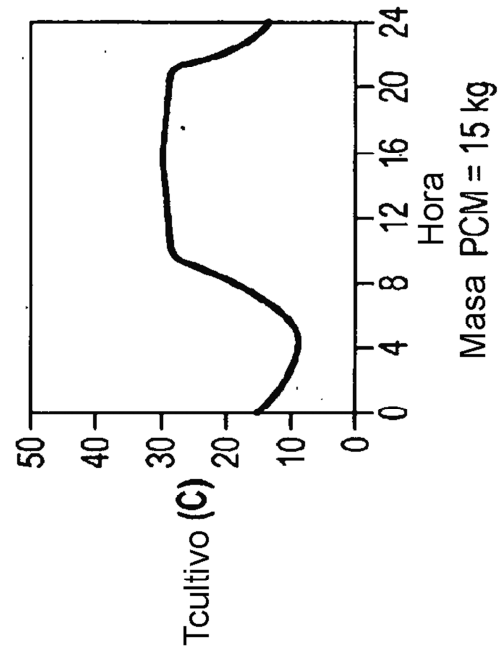


FIG. 6a

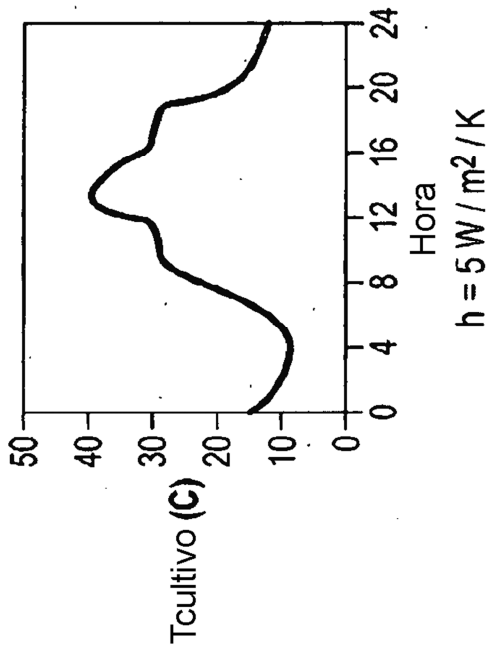


FIG. 6b

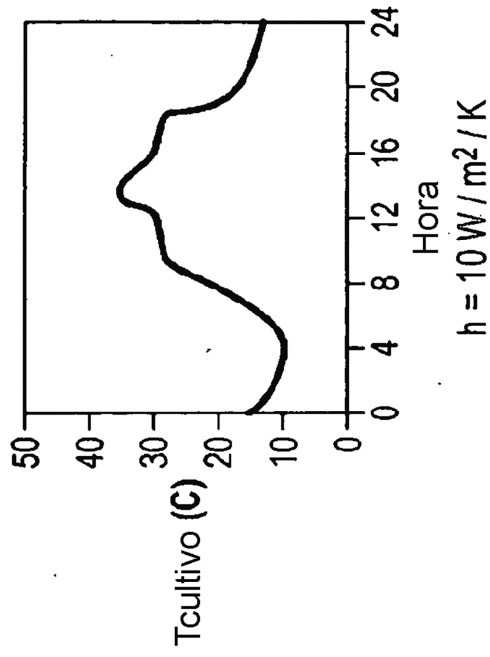


FIG. 6c

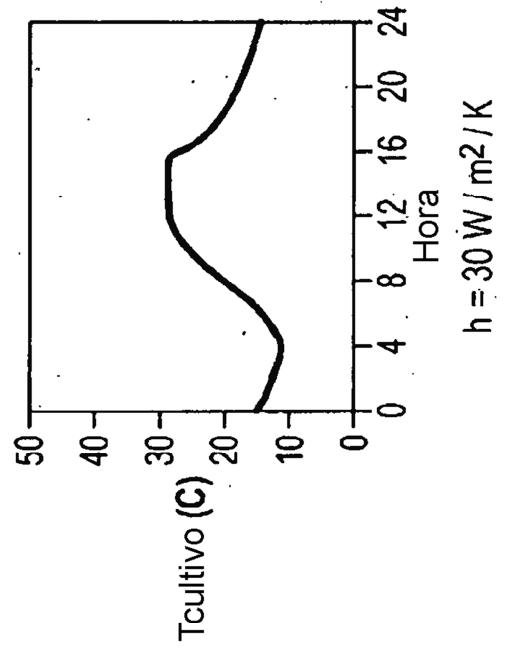


FIG. 7a

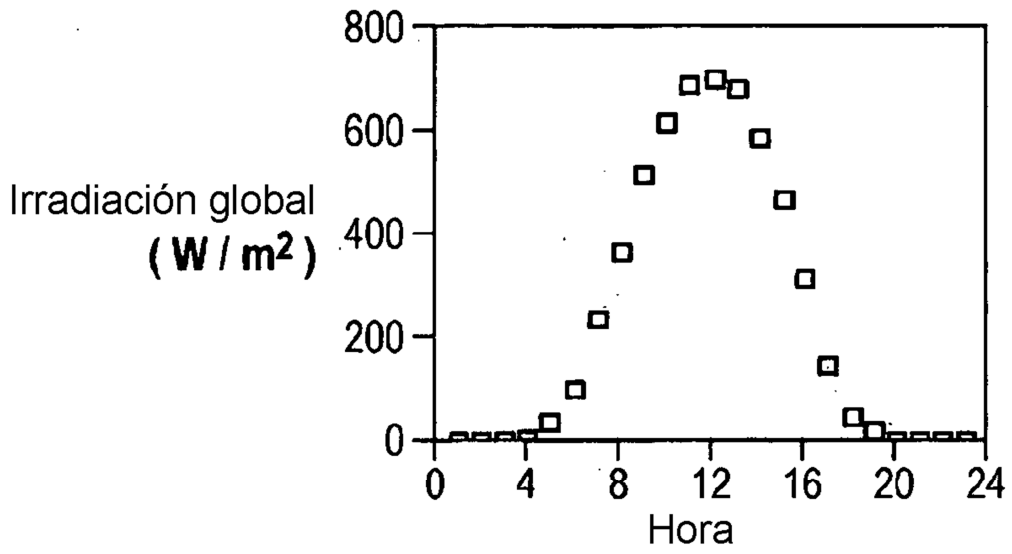


FIG. 7b

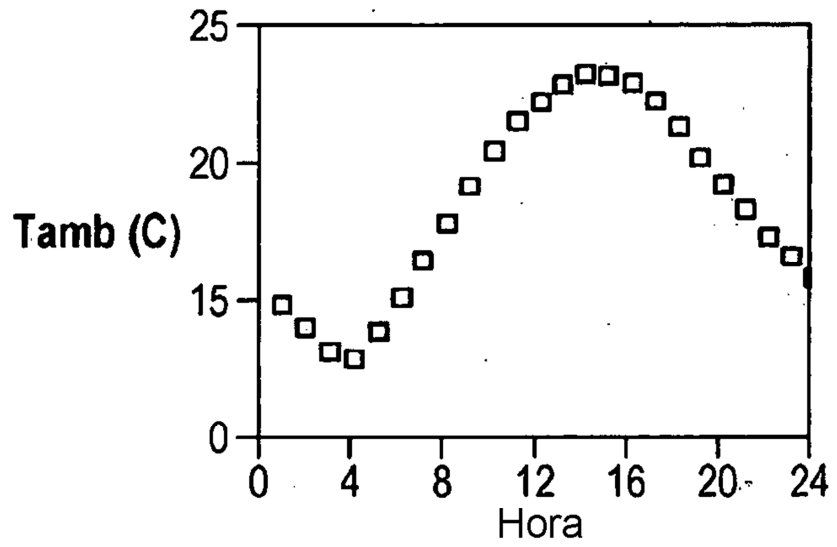


FIG. 8

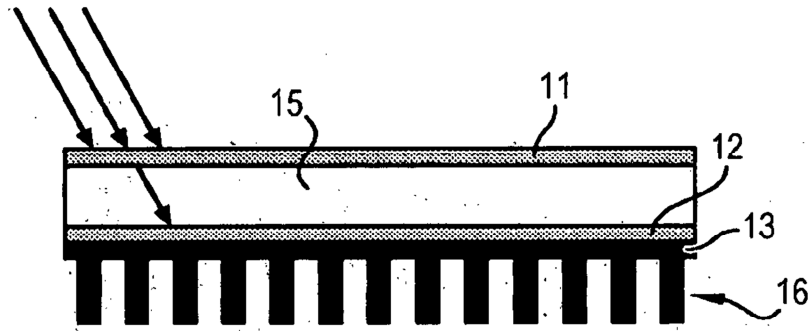


FIG. 9

