

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 621 335**

51 Int. Cl.:

C12M 1/00 (2006.01)

C12M 1/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.04.2014 PCT/FR2014/050891**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.10.2014 WO14174182**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.04.2014 E 14722263 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.01.2017 EP 2989194**

54 Título: **Reactor con iluminación integrada**

30 Prioridad:

22.04.2013 FR 1353641

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.07.2017

73 Titular/es:

**Fermentalg (50.0%)
4 rue Rivière
33500 Libourne, FR y
PIERRE GUERIN S.A. (50.0%)**

72 Inventor/es:

**GARNIER, PATRICE;
GODART, FRANÇOIS;
CALLEJA, PIERRE;
GIRAUD, SAMUEL y
FELEZEU, DORU**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 621 335 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

Reactor con iluminación integrada

La invención se refiere a un reactor con iluminación integrada, especialmente adaptado para el cultivo de microorganismos fotosensibles. Puede tratarse de un biorreactor, pero también de un reactor químico o físico-químico.

5 El término biorreactor o reactor biológico, designa en la presente memoria un reactor en el seno del cual se desarrollan fenómenos biológicos, tales como un crecimiento de cultivos de microorganismos puros o de un consorcio de microorganismos (especialmente de microalgas), en campos muy variados, tales como el tratamiento de efluentes y la producción de biomasa que contiene biomoléculas de interés (es decir biomoléculas valorables). Este término engloba por lo tanto especialmente los reactores denominados fermentadores.

10 Un reactor comprende típicamente una cuba cerrada, en el seno de la cual está montado un elemento de mezclamiento o de agitación destinado a favorecer una homogenización del contenido de la cuba; dicho elemento de mezclamiento está constituido habitualmente por un árbol vertical que tiene paletas o turbinas cuyo movimiento, en el seno de la masa en curso de tratamiento en el reactor, asegura el mezclamiento y su homogeneidad.

15 Diversos tipos de condiciones de operación pueden ser necesarios para el crecimiento de las especies biológicas en el seno de dicho biorreactor o fermentador; se conocen así, especialmente, los regímenes de crecimiento heterótrofo (con aportes de fuentes carbonadas, tales como azúcares), de crecimiento autótrofo (o fotoautótrofo) con un aporte de luz (se habla también de fotosíntesis) o de crecimiento mixótrofo (con un aporte combinado de fuente carbonada y de luz). Un enfoque científico de este tema es abordado especialmente en el documento «*Astaxanthin production by Haematococcus pluvialis under illumination with LEDs*» de Katsuda et al., aparecido en *Enzyme and Microbial Technology* 35 (2004) 81-86, o en el documento «*Effects of using light-emitting diodes on the cultivation of Spirulina platensis*» de Wang et al., aparecido en *Biochemical Engineering Journal* 37 (2007) 21-25.

20 Ya se han propuesto diversas configuraciones para efectuar tal aporte de luz, en continuo o de manera cíclica (con ciclos cuya duración puede variar desde algunos minutos hasta varias horas), incluso bajo la forma de impulsos a manera de destellos (flashes), con un espectro que se aproxima al de la luz del día o por el contrario estrechamente centrado en una longitud de onda elegida. Los reactores adaptados a tal aporte de luz se denominan algunas veces fotorreactores o fotobiorreactores (cuando son el lugar de tratamientos biológicos).

25 Una configuración bien dominada consiste en suministrar la cuba con ventanillas, por ejemplo entre seis y doce según el tamaño de la cuba, que permite la penetración de una luz generada desde el exterior de la cuba. Tales ventanillas pueden tener en la práctica de 5 a 20 cm de diámetro. Un inconveniente de tal configuración es que las ventanillas limitan la superficie de iluminación y absorben o reflejan una parte significativa de los fotones emitidos por la fuente de iluminación.

30 Es por eso que se han propuesto otras configuraciones en las cuales las fuentes de luz están colocadas en el seno de la cuba.

35 Así, el documento WO/2002/086053, después de haber mencionado el caso de cubas provistas con ventanillas, describe un conjunto que comprende una cuba de crecimiento, una cuba de iluminación en comunicación con la cuba de crecimiento y provista con una fuente de luz, de preferencia situada en el interior de esta cuba de iluminación, con un sistema para poner en circulación los microorganismos de una cuba a otra; la cuba de iluminación es en la práctica tubular y comprende deflectores para asegurar que el flujo de los microorganismos sea turbulento; la fuente de luz es de preferencia concéntrica en la cuba de iluminación y puede estar constituida por una lámpara de halogenuro metálico, por ejemplo una lámpara de sodio, y a alta presión. Se recomienda que la cuba de crecimiento tenga igualmente una fuente de luz, que asegure una iluminación a través de las ventanillas que lleva la pared de la cuba o formada por tubos de vidrio sumergidos en la masa de microorganismos.

40 El documento US/2010/0190227 (correspondiente a la solicitud de patente internacional WO/2008/145719) se refiere a un biorreactor que comprende piezas de material de plástico moldeadas, en las cuales están integrados diodos electroluminiscentes (abreviadamente LED); se concibe que estas piezas sean placas o bandas cuando se trata de equipar las paredes internas de la cuba, pero se recomienda que estas piezas sean tubulares, de preferencia en haces, cuando estas fuentes luminosas están dispuestas en el interior del reactor, como es evidente de los ejemplos considerados, en cuyo caso los diodos son alimentados a través de la tapa de la cuba. Los diodos LED emiten por ejemplo en el dominio del rojo. El material plástico en el cual están implantados puede ser de silicona.

45 Por otra parte, el documento US7824904 describe un reactor cuyo dispositivo de agitación comprende paletas que llevan fuentes de luz, tales como lámparas, bombillas o varios LED.

Con respecto al documento WO/2011/154886, describe también un reactor que comprende un sistema de iluminación integral con un conjunto rotatorio.

50 Se desprende de estos diversos documentos que el hecho de generar la luz en el exterior de la cuba y de hacerla penetrar en el seno de la cuba se considera generalmente que no presenta una eficacia suficiente y que muy

generalmente se estima que una buena eficacia implica disponer las fuentes luminosas en el seno mismo de la masa contenida en la cuba, de preferencia en el conjunto rotatorio dispuesto en su interior; se proponen diversas soluciones para la conexión de estas fuentes con el exterior.

5 Se debe tener en cuenta que la utilidad de una iluminación en el seno de un reactor no se limita a los tratamientos biológicos; así, una radiación UV puede ser útil para esterilizar medios a tratar (véase por ejemplo el documento US/4456512); hay otros casos en los que una radiación de luz visible o no, puede favorecer las reacciones químicas o los tratamientos físico-químicos.

10 La invención tiene por objeto un reactor en la cuba cuyas fuentes luminosas están dispuestas de una manera que permita una iluminación eficaz de una masa que se ha de tratar contenida en la cuba y que minimice las modificaciones aportadas a esta cuba para la integración de estas fuentes luminosas.

15 La invención propone para este fin un reactor que comprende una cuba destinada a contener una masa a tratar y provista, por una parte, de un conjunto rotatorio alrededor de un eje destinado a asegurar un mezclamiento de esta masa a tratar, y por otra parte, de una pluralidad de fuentes de iluminación destinadas a favorecer el tratamiento de esta masa, teniendo esta cuba una pared interna en la cual están fijadas placas cuyos planos están orientados hacia el eje de rotación del conjunto rotatorio, y paralelamente al mismo, de modo de impedir la formación de un vórtice en el seno de la masa a tratar bajo la acción del conjunto rotatorio, siendo llevadas estas fuentes de iluminación por dichas placas que están encapsuladas, con al menos la parte de estas placas que las llevan, en un material compatible con la masa a tratar y de un espesor que permita difundir dicha luz hacia el interior de la cuba.

20 Se comprende que la masa a tratar sea líquida, pastosa o pulverulenta, es decir que tenga una fluidez suficiente para poder ser mezclada. Puede tratarse de una masa de microorganismos por la que se quiere, por ejemplo, favorecer el crecimiento y/o el enriquecimiento; pero esta masa puede ser también una masa muy fluida, o por el contrario granular, a la que se quiere, por ejemplo, asegurar una buena esterilización.

25 Así la invención aprovecha que un cierto número de cubas de reactor comprenden placas que se extienden desde su pared interna hacia el centro de la cuba, mientras permanece a distancia del conjunto rotatorio (las cubas son habitualmente cilíndricas de manera que estas placas están orientadas radialmente); tales placas se denominan con frecuencia contra-paletas, estando destinadas a evitar la aparición de vórtice en el interior de la cuba en caso de mezclamiento muy turbulento efectuado por el conjunto rotatorio, que habitualmente está provisto de paletas. El hecho de que las fuentes de iluminación sean llevadas por tales placas permite una mucho mejor relación S/V (superficie de iluminación con respecto al volumen de la cuba) que en las soluciones conocidas y empleadas.

30 Así, la configuración de la invención permite una mejor eficacia de la iluminación con respecto a una configuración donde la luz penetre por las ventanillas a partir de fuentes dispuestas en el exterior; por otra parte, las contra-paletas ofrecen una superficie de soporte muy superior a las de las configuraciones donde las fuentes de iluminación están dispuestas sobre el conjunto rotatorio o sobre las piezas tubulares que se sumergen en la masa a tratar, o incluso en el fondo o en el techo de la cuba. Además, la configuración de la invención permite obtener una relación S/V cuyo orden de magnitud puede ser conservado cuando se aumenta el tamaño de la cuba; así, si se aumenta la altura y dos dimensiones transversales de la cuba en una relación R y si se conserva la relación entre la dimensión transversal de las placas con relación a las dimensiones transversales de la cuba y ésta entre la altura de estas placas con relación a la altura de las cubas, la relación S/V se convierte en S/VR (una duplicación del volumen de la cuba no induce más que una disminución de 20% de la relación S/V; inversamente, es suficiente aumentar la relación entre la dimensión transversal de las placas y la de la cuba en 20% para conservar la relación S/V duplicando el volumen de la cuba); jugando con el número de placas que llevan las fuentes de iluminación, se puede notar que si se aumenta diez veces el volumen de una cuba, se puede conservar por lo menos aproximadamente la relación S/V con solo doblar el número de placas conservando al mismo tiempo la relación entre las dimensiones de estas placas y las de la cuba. Un diseñador de cubas puede entonces muy fácilmente, a partir de una cuba dada, extrapolar las dimensiones para dar a una cuba dimensiones más grandes para obtener un nivel dado de rendimientos. La configuración de la invención tiene pues como ventaja facilitar la concepción de cubas cada vez más grandes a partir de cubas más pequeñas, por ejemplo cubas que han servido de prototipos.

50 Se ha de observar que el hecho de que las fuentes de iluminación estén situadas cerca de la pared interna de la cuba (puesto que la bordean en un tramo) hace más sencilla la conexión de las fuentes con el exterior, con respecto al caso de una implantación en la masa a tratar, por ejemplo en el conjunto rotatorio.

El hecho de que las fuentes de iluminación sean llevadas por placas estáticas con respecto a la cuba evita modificar el tamaño de los elementos giratorios, su inercia o la potencia necesaria para su movimiento.

55 De hecho, parecía que, contrariamente a las preconizaciones de diversos documentos anteriores, el hecho de disponer las fuentes de iluminación aparte de la porción central de la cuba permite obtener una gran potencia de iluminación por unidad de volumen sin tener que utilizar fuentes de iluminación muy potentes; basta implantar un número suficiente de fuentes de iluminación incluso si su potencia individual es moderada; la configuración de la invención permite por lo tanto una buena iluminación para un coste de instalación más bajo que en las soluciones conocidas. En la práctica, el mezclamiento asegurado por el conjunto rotatorio es suficiente para garantizar que el

conjunto de la masa a tratar aproveche la iluminación. No obstante, el hecho de que las fuentes de iluminación estén dispuestas en las contra-paletas y no en la pared interna de la cuba optimiza la fracción de la masa a tratar que está en curso de mezclamiento en la proximidad de estas fuentes de iluminación.

5 Otra ventaja de disponer las fuentes de iluminación en las placas que sirven de contra-paletas es maximizar la superficie disponible para llevar tales fuentes de iluminación; en efecto, la pluralidad de fuentes de iluminación puede comprender fuentes de iluminación distribuidas en cada una de las caras de dichas placas.

Las placas que llevan las fuentes de iluminación pueden estar fijas.

10 No obstante, de manera ventajosa, las placas que llevan las fuentes de iluminación son desmontables con respecto a la pared de la cuba y por tanto extraíbles fuera de la cuba. Una ventaja es que de esta manera, las operaciones de mantenimiento de estas placas y de estas fuentes de iluminación, así como las de la cuba, se simplifican con relación a una configuración donde estas fuentes son llevadas por la pared interna. Otra ventaja es que una misma cuba puede estar equipada con diversas configuraciones de iluminación (es suficiente disponer de varios juegos de contra-paletas que comprendan un número diferente y/o una naturaleza diferente de fuentes individuales de iluminación); el hecho de disponer de varios juegos de contra-paletas que comprenden configuraciones de iluminación diferentes o no permite además minimizar las interrupciones de funcionamiento durante las operaciones de mantenimiento, ya que un juego de contra-placas puede estar en mantenimiento mientras que otro está en servicio; también, en caso de avería, la reparación puede hacerse, de manera fácil, después de contentarse eventualmente con reemplazar las placas por otras placas provistas con una pluralidad similar de fuentes de iluminación.

20 De manera preferida, las fuentes de iluminación son diodos electro-luminiscentes (abreviadamente LED); se trata de fuentes de luz bien controladas, tanto en su implementación como en sus aplicaciones. Tales fuentes pueden tener espectros de emisión muy diversos, ya que hay LED blancos (que simulan la luz solar), pero también LED con una gama espectral reducida (por ejemplo, centrados en una luz roja, azul o verde). Tales fuentes de iluminación generan menos calor que las bombillas o los focos; tienen además dimensiones suficientemente pequeñas para que se puedan implantar en las caras de las contra-paletas sin inducir un espesor excesivo que perjudique la función principal de estas placas.

25 El espectro de las fuentes de iluminación está ventajosamente en el campo visible, pero puede también, en función de las necesidades, estar en el exterior de este campo visible, por ejemplo en el UV (por ejemplo, para aplicaciones que impliquen una esterilización), o en los infra-rojos (por ejemplo, en aplicaciones dirigidas a generar calor en el seno de la masa a tratar).

Las fuentes de iluminación pueden tener regímenes de mando (se habla también de régimen de control o de dirección) muy variados.

35 Así, la pluralidad de fuentes de iluminación puede estar compuesta por varios sub-conjuntos, pudiendo tener las fuentes de iluminación de cada uno de estos sub-conjuntos un espectro específico de emisión. Complementaria o alternativamente, la pluralidad de fuentes de iluminación está formada por varios sub-conjuntos que tienen, cada uno, un mismo régimen de excitación, en continuo o de manera cíclica, con una intensidad constante o variable. Complementariamente con una u otra de las opciones antes mencionadas, o alternativamente, la pluralidad de fuentes de iluminación está conectada a un conjunto de control tal como al menos algunas de las fuentes de iluminación que pueden ser controladas en modo de iluminación o no (es decir que son encendidas o apagadas según los momentos), en régimen continuo, en régimen de destellos o de manera cíclica, y en espectro de emisión.

Como se ha mencionado, la cuba puede ser, de manera conocida en sí, cilíndrica y tiene entonces un diámetro dado; en este caso, es ventajoso que las placas que llevan las fuentes de iluminación tengan una dimensión radial comprendida entre 5% y 20% de este diámetro, de preferencia entre 7,5% y 15%, por ejemplo 10%.

45 La materia en la cual están encapsuladas las fuentes de iluminación se elige en función de las restricciones tecnológicas que se deseen respetar. Así, se trata de preferencia de una materia termoplástica que tiene a la vez buenas propiedades de transmisión de la luz y del calor, además de su compatibilidad con la masa a tratar. Así, esta materia permite una buena evacuación del calor generado por las fuentes de iluminación hacia la masa a tratar que de este modo actúa como un pozo de calorías; en efecto, es ventajoso que la materia de encapsulación sea capaz de evacuar en la masa a tratar el calor generado por las fuentes de iluminación incluso cuando se trata de LED. Alternativamente, los circuitos de evacuación del calor (producido por los LED, o producido por un proceso exotérmico en el reactor) pueden estar previstos en el espesor de las contra-paletas. Es recomendable además que dicha materia pueda resistir las temperaturas elevadas, entre 100°C y 150°C, tales como las que pueden utilizarse durante las operaciones de esterilización o de descontaminación de la cuba. Tales operaciones de esterilización o de descontaminación pueden efectuarse en las placas o contra-paletas independientemente de la cuba, cuando estas placas o contra-paletas son desmontables.

55 Cuando la masa a tratar está formada por microorganismos, la materia de encapsulación de las fuentes de iluminación es de preferencia totalmente inerte con respecto al producto y sin liberación, de manera que se evite cualquier riesgo de contaminación de la masa por esta materia de encapsulación.

Una materia particularmente bien adaptada es la polisulfona que combina una buena compatibilidad con las normas alimentarias (comprendidas entre ellas las normas de EE.UU. de la Food and Drug Administration, o abreviadamente FDA), un buen coeficiente de transferencia térmica (que permite una evacuación de calor hacia la masa de microorganismos) y un carácter semitransparente que permite una buena transmisión de la luz si el material tiene un espesor elegido entre 1 mm y 5 cm; además este material conserva sus propiedades después de un eventual tratamiento térmico de esterilización o de limpieza con detergentes o con ácido. Si se modifica la combinación de características deseadas, se pueden elegir otros materiales, por ejemplo poliuretano, polipropileno, un material acrílico o un policarbonato.

En la práctica, las placas que llevan la pluralidad de fuentes de iluminación son de preferencia un número comprendido entre 4 y 10, estando repartidas regularmente alrededor del conjunto rotatorio; no obstante, en un momento dado puede estar en servicio un número inferior de placas.

Los objetivos, características y ventajas de la invención resultan de la siguiente descripción, dada a título de ejemplo ilustrativo no limitativo, a la vista del dibujo anexo en el cual:

- la figura 1 es un esquema en corte axial de un reactor conforme a la invención,

- la figura 2 es un esquema en corte transversal de este reactor, y

- la figura 3 es una vista en detalle de un ejemplo de placa que comprende una pluralidad de fuentes de iluminación.

Las figuras 1 y 2 representan de manera esquemática un reactor conforme a la invención; en dichas figuras se describe un tratamiento de una masa a tratar constituida por una biomasa formada por microorganismos, por ejemplo micro-algas; se comprende no obstante que la descripción que sigue se aplica igualmente a otros tipos de reactores, químicos o físico-químicos. Este biorreactor, o fermentador, está indicado por 10 en su conjunto; comprende principalmente una cuba 11 destinada a contener una masa de microorganismos (no representada), un conjunto 12 que gira alrededor de un eje Z-Z destinado a asegurar un mezclado de esta masa de microorganismos y una pluralidad de fuentes de iluminación 13 destinadas a favorecer el crecimiento de esta masa de microorganismos; esta cuba 11 tiene una pared interna en la cual están fijadas las placas 14 cuyos planos están orientados hacia el eje del conjunto rotatorio y paralelamente al mismo a fin de evitar la formación de un vórtice en el seno de la masa de microorganismos bajo la acción del conjunto rotatorio; dichas placas 14 se denominan comúnmente contra-paletas en referencia a las paletas 12A que comprenden habitualmente el elemento giratorio.

Dicho reactor, en función de su aplicación, puede comprender otros elementos (no representados) tales como, especialmente, una vía de entrada de un producto a tratar o a degradar por medio de la biomasa, o una vía de alimentación de reactivo o de elementos nutritivos, tales como azúcares, para la proliferación de la biomasa, una vía de llegada y de salida de aire o de gas, o una vía de retirada de microorganismos.

Las fuentes de iluminación 13 son llevadas por dichas placas que están encapsuladas, con al menos la parte de estas placas que las llevan de una materia (no representada) compatible con los microorganismos y de un espesor que permite difundir dicha luz hacia el interior de la cuba. De preferencia, las fuentes de iluminación distribuidas en una cara de una de tales placas están encapsuladas por un material que recubre la totalidad de esta cara.

La figura 3 representa, a título de ejemplo, un detalle de una placa 14. Se muestra un primer conjunto de fuentes de iluminación 13A esquematizadas en la forma de pequeños círculos y dispuestas en dos columnas de manera que una fuente de una columna esté dispuesta en un nivel intermedio entre los de las fuentes más próximas en la otra columna. Por supuesto, se puede tener un número más grande de columnas, y las fuentes pueden estar dispuestas en quince o de modo que forme grupos rectangulares.

En el ejemplo representado, se observa además un segundo conjunto de fuentes de iluminación 13B esquematizadas en la forma de pequeñas cruces, dispuestas según una configuración similar a la del primer conjunto; las fuentes de este segundo conjunto están dispuestas aquí de manera que alternan con las fuentes del primer conjunto, es decir que están dispuestas en dos columnas superpuestas, perpendicularmente al plano de la figura 3, alternando las fuentes de una columna de un conjunto con las fuentes de la columna correspondiente del otro conjunto. Como variante, las columnas del segundo conjunto pueden alternar con las columnas del otro conjunto y pueden estar en un número superior a dos, eventualmente diferente del número de columnas del primer conjunto.

Las fuentes de iluminación están distribuidas en las dos caras de las placas, las fuentes 13A que están situadas en una de las caras mientras que las fuentes 13B están situadas en la cara opuesta.

En efecto, puede haber, según las necesidades de iluminación, fuentes de un solo lado de una placa dada, o por el contrario fuentes repartidas en las dos caras de dicha placa. Las fuentes situadas en una cara pueden estar repartidas en función de la repartición de las fuentes en la otra cara, en superposición o por el contrario a manera de completarse; también puede haber fuentes dispuestas en las dos caras, independientemente una de la otra.

Cuando hay fuentes de iluminación en las dos caras de la placa, el material de encapsulación engloba

ventajosamente la placa en sus dos caras, lo que favorece una buena adherencia del material a la placa. Por la misma razón de buena adherencia mecánica, se comprende que, aún cuando las fuentes no estén dispuestas más que en una cara, puede ser ventajoso que el material englobe también la cara que lleva las fuentes de la otra cara restante desnuda.

- 5 De manera preferida, las fuentes de iluminación son diodos electroluminiscentes, también denominados abreviadamente LED. Dichas fuentes presentan especialmente un pequeño tamaño, un bajo consumo eléctrico generando al mismo tiempo un baja cantidad de calor, con respecto a otras fuentes de iluminación conocidas; cuando se trata de LED orgánicos (denominados también OLED), su espesor puede ser muy pequeño.
10 Alternativamente, estas fuentes de iluminación pueden estar constituidas por los extremos de grupos de fibras ópticas que se extienden desde una (o varias) fuente(s) dispuesta(s) en el exterior de la cuba.

Las fuentes de iluminación pueden ser todas idénticas teniendo un mismo régimen de excitación; se comprende no obstante que, alternativamente, las fuentes de iluminación contenidas en la cuba pueden estar repartidas en varios sub-conjuntos, pudiendo contener cada sub-conjunto una sola fuente de iluminación o varias fuentes de iluminación ventajosamente repartidas de manera homogénea, siendo controlados cada sub-conjunto individualmente según
15 varios parámetros operatorios: iluminación en todo o en nada, o iluminación continua con una intensidad eventualmente variable, no obstante puede ser más sencillo asignar a cada sub-conjunto un espectro de emisión específico, por ejemplo un sub-conjunto que emita luz blanca, otro sub-conjunto que emita en el azul, otro sub-conjunto que emita en el rojo, etc.; según las necesidades, el operador puede entonces elegir no excitar más que los sub-conjuntos que sean apropiados para el régimen de iluminación deseado.

20 En la práctica, es ventajoso, no obstante, utilizar el conjunto de fuentes disponibles para obtener una iluminación suficiente.

Los principales regímenes posibles de excitación de las fuentes de iluminación son:

- un régimen de destellos a una frecuencia que puede ir, por ejemplo, de 1 a 150 kHz,
- un régimen continuo, que tenga eventualmente variaciones lentas de manera que simulen una iluminación
25 natural.

Cualquiera que sea el régimen, si hay variaciones, se pueden prever ciclos que van de 1 segundo a 24 horas.

Estos diversos regímenes consisten en alimentar las fuentes controlando su excitación, en un nivel elegido en función de las necesidades, entre 0% y 100% de su potencia nominal.

30 Estas fuentes son elegidas en la práctica para tener un poder de iluminación global comprendido entre 1 y 3000 micro-Einstein. Dicho intervalo permite englobar los tratamientos químicos y de esterilización.

Se comprende que en el caso de biorreactores para el crecimiento de micro-algas, se puede también, según las necesidades, simular especialmente uno u otro de los regímenes autótrofo o mixótrofo.

Así, se puede prever una descomposición homogénea en los tipos de fuentes de iluminación o por el contrario varias descomposiciones de la pluralidad de las fuentes de iluminación, eventualmente combinadas.

35 Según un primer ejemplo, la pluralidad de fuentes de iluminación puede estar compuesta de varios sub-conjuntos, teniendo las fuentes de iluminación de cada uno de estos sub-conjuntos un espectro específico de emisión con una intensidad constante o variable.

40 Según un segundo ejemplo, la pluralidad de fuentes de iluminación está compuesta de varios sub-conjuntos que tiene cada uno un mismo régimen de excitación, en continuo o de manera cíclica, con una intensidad constante o variable.

En un tercer ejemplo, la pluralidad de fuentes de iluminación está conectada a un conjunto de control tal que al menos ciertas fuentes de iluminación puedan ser controladas en modo de iluminación o no, en régimen de destellos, continuo con o sin ciclo.

45 A pesar de estas diversas posibilidades, se comprende no obstante que la opción que consiste en tener simplemente en una placa las fuentes de iluminación de un tipo único es de un gran interés práctico.

Un reactor conforme a la invención tiene una gran flexibilidad de funcionamiento y por lo tanto una gran polivalencia.

Las contra-paletas equipadas con fuentes de iluminación son ventajosamente idénticas de modo que pueden ser intercambiables; no obstante podría haber contra-paletas con fuentes y contra-paletas sin fuentes de iluminación.

50 La densidad de las fuentes de iluminación por unidad de superficie de placa contra-paleta puede ser elegida en función de las necesidades (en ciertas aplicaciones, esta densidad puede ser variable, reducida e incluso nula en los extremos y máxima a media altura; alternativamente, no hay fuentes de iluminación sino en una parte de la altura de

las placas, por ejemplo con la exclusión de los extremos); cuando estas fuentes son OLED, pueden estar dispuestas de modo de modo esencialmente adyacentes; en la práctica, las fuentes de iluminación están repartidas de manera regular con una distancia que puede ser elegida con una gran libertad, en el intervalo desde apenas algunos milímetros (por ejemplo 0,5 cm) hasta del orden de un metro (de altura y/o de anchura).

5 El funcionamiento de un reactor hace intervenir otros parámetros de operación, tales como la temperatura, el pH, el contenido de oxígeno disuelto, la velocidad de agitación, la presión, etc. No obstante, estos parámetros que no son modificados por la configuración de las fuentes de iluminación según la invención, no son detallados en la presente memoria.

10 Sobre todo cuando se trata de LED orgánicos, las fuentes pueden estar fijadas en las contra-paletas por simple pegamiento. De manera clásica en sí, la cuba y las contra-paletas son habitualmente de acero inoxidable o equivalente, pero se pueden elegir otros materiales en función de las necesidades.

15 De manera conocida en sí, la cuba es ventajosamente cilíndrica. Si D es su diámetro y H su altura, las placas que llevan las fuentes de iluminación tienen de preferencia una dimensión radial comprendida entre 7,5% y 15%, por ejemplo del orden de 10% (típicamente entre 9% y 11%). Esto es compatible con la función de contra-paleta asegurada por estas placas.

De manera particularmente ventajosa, las placas que llevan las fuentes de iluminación son desmontables respecto a la pared de la cuba. Resulta de ello una gran facilidad de mantenimiento, pero también una gran facilidad para adaptar una cuba dada a una aplicación dada, eligiendo las placas que tengan la buena densidad de fuentes de iluminación, o haciendo variar el número de placas que lleven dichas fuentes de iluminación.

20 En el ejemplo de las figuras 1 y 2, la cuba está provista de cuatro placas 14 que sirven de contra-paletas. Se comprende que este número puede ser modificado; puede ser más pequeño (una sola contra-placa ya permite asegurar un efecto de contra-paleta, por lo menos parcial), incluso mayor; no obstante es interesante elegirlo en el intervalo de 2 a 10 (por ejemplo, 4 a 10) precisándose que este número puede ser tanto mayor cuanto más aumenta el diámetro de la cuba para conservar el papel de anti-vórtice. Estas placas en la práctica están repartidas regularmente alrededor del conjunto rotatorio.

25 De preferencia, todas las placas que sirven de contra-paletas están equipadas con fuentes de iluminación, pero se puede prever que una parte solamente de las placas contra-paletas sirvan de soporte para las fuentes de iluminación; esto depende de las utilidades.

30 La materia en la cual las fuentes de iluminación están encapsuladas sirve para proteger estas fuentes frente a los microorganismos que la cuba puede llegar a contener, favoreciendo la unión en el transcurso del tiempo de estas fuentes a su placa de soporte. La elección de esta materia depende de los usos posibles de la cuba considerada; de manera general, esta materia debe ser compatible con los microorganismos permitiendo una buena difusión hacia el exterior de la luz generada por las fuentes y, de preferencia, una buena difusión de calor; se comprende no obstante que esta capacidad depende no solamente del material sino también del espesor de la materia que recubre las fuentes (por tanto el papel de encapsulación puede ser obtenido con un pequeño espesor, no es necesario que el material sea intrínsecamente transparente; puede ser solo parcialmente transparente).

40 En el caso de la fermentación de micro-algas, parecía que la polisulfona era un material particularmente apropiado, siendo compatible con las micro-algas de acuerdo con las normas alimentarias, siendo semi-transparente y siendo capaz de resistir los tratamientos de esterilización a alta temperatura y de limpieza con detergentes y ácido; se comprende no obstante que se pueden elegir otros materiales en función de las propiedades buscadas. Es interesante señalar que, variando los dos parámetros que son el ancho de las contra-paletas con respecto al diámetro de la cuba y el número de estas contra-paletas, se puede obtener una superficie de iluminación por unidad de volumen que permanezca sensiblemente constante en el seno de un amplio intervalo de volumen, como es evidente de la tabla siguiente, donde:

45 * «V» designa el volumen útil de la cuba (en m³),

* «H» designa la altura de la virola (en m),

* «Di» designa el diámetro interno de la cuba (en m),

«CP» designa las contra-paletas,

* «CP/Di» designa la relación entre la dimensión radial de las contra-paletas y el diámetro de la cuba,

50 * «S(CP)» designa la superficie total de las dos caras de una contra-paleta (en m²),

* «N (CP)» designa el número de contra-paletas equipadas con fuentes de iluminación,

* «Stot» designa la superficie total de las contra-paletas (en m²)

* «Scp/V» designa la superficie de iluminación por unidad de volumen de la cuba (en m²/m³).

Se observa que, haciendo variar la relación CP/Di entre 7% y 13% y haciendo variar el número de contra-paletas equipadas con fuentes de iluminación entre 1 (para las cubas prototipos) y 10, la superficie de iluminación por unidad de volumen puede ser mantenida en el intervalo de 0,75 m²/m³ +/- 0,05 m²/m³.

5

Ejemplo de una cuba con una relación H/Di de 2,0											
V (m ³)	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	15	20	50	100
H (m)	0,975	1,215	1,618	2,029	2,551	3,408	4,265	4,851	5,33	7,188	9,031
Di (m)	0,404	0,509	0,69	0,89	1,097	1,489	1,874	2,147	2,362	3,204	4,034
Relación CP/Di	0,095	0,12	0,09	0,1	0,09	0,12	0,12	0,11	0,1	0,1	0,13
S(CP)	0,0748	0,1484	0,2009	0,3611	0,5037	1,2178	1,9182	2,2913	2,5178	4,606	9,472
N (CP)	1	1	2	2	3	3	4	5	6	8	8
Stot (m ²)	0,0748	0,1484	0,4019	0,722	1,5111	3,653	7,672	11,456	15,107	36,848	75,776
Scp/V (m ² /m ³)	0,748	0,742	0,804	0,722	0,756	0,731	0,767	0,764	0,755	0,737	0,758

Se apreciará que la invención se aplica a biorreactores y fermentadores que pueden tener una gran variedad.

10 Así estos biorreactores pueden ser reactores de bio-producción, de producción de biomasa de microorganismos fotosintéticos o heterótrofos o mixótrofos de fotocatalisis, de tratamiento de efluentes, por ejemplo para el tratamiento de aguas residuales.

Los microorganismos pueden contener o no cloroplastos. Se ha podido constatar para los que no los contienen que producen pigmentos vía fotorreceptores.

Los microorganismos pueden ser especialmente bacterias, hongos, micro-algas, etc.

15 No obstante, los comentarios que preceden se aplican igualmente a estos reactores de tratamiento físico o físico-químico, tales como los reactores de esterilización, o de descontaminación, o incluso de tratamiento por catalizador sensible a la luz.

Las fuentes de luz pueden ser LED (sistema con una o varias longitudes de onda), con por ejemplo LED azules y rojos que aseguren una iluminación en alternancia, fibras ópticas, lámparas de UV, etc. El espectro de iluminación puede estar en efecto fuera del espectro visible.

20 La cuba representada tiene un eje de simetría dispuesto verticalmente, pero se comprende que los comentarios anteriores se pueden generalizar en el caso de una cuba que tenga un eje inclinado, las nociones de altura y de ancho pueden entonces ser reemplazadas por nociones de dimensión longitudinal o axial y de dimensión transversal (se recuerda que la cuba puede no ser cilíndrica).

25 Se comprende que un interés de la configuración descrita es que ésta sea aplicable a una escala diferente conservando aproximadamente constante la relación entre la superficie de iluminación y el volumen de la cuba, siendo el conjunto resistente a las operaciones de esterilización o de limpieza en su emplazamiento cuando se trata de un biorreactor o de un fermentador.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Reactor (10) que comprende una cuba (11) destinada a contener una masa a tratar y provista por una parte de un conjunto (12) giratorio alrededor de un eje (Z-Z) destinado a asegurar un mezclamiento de esta masa a tratar y por otra parte de una pluralidad de fuentes de iluminación (13, 13A, 13B) destinada a favorecer el tratamiento de esta masa, teniendo esta cuba una pared interna en la cual están fijadas placas (14) cuyos planos están orientados hacia el eje del conjunto rotatorio y paralelamente al mismo de modo que impidan la formación de un vórtice en el seno de la masa a tratar bajo la acción del conjunto rotatorio, siendo llevadas estas fuentes de iluminación por dichas placas que están encapsuladas, con al menos la parte de estas placas que las llevan, en una materia compatible con la masa a tratar y con un espesor que permita difundir dicha luz hacia el interior de la cuba.
- 10 2. Reactor de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual la pluralidad de fuentes de iluminación comprende fuentes de iluminación (13A, 13B) distribuidas en cada una de las caras de dichas placas.
3. Reactor de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el cual las placas (14) que llevan las fuentes de iluminación son desmontables respecto a la pared de la cuba.
- 15 4. Reactor de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el cual las fuentes de iluminación (13, 13A, 13B) son diodos electroluminiscentes.
5. Reactor de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el cual la pluralidad de fuentes de iluminación está compuesta por varios sub-conjuntos, teniendo las fuentes de iluminación de cada uno de estos sub-conjuntos un espectro específico de emisión.
- 20 6. Reactor de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el cual la pluralidad de fuentes de iluminación está conectada a un conjunto de control tal que al menos algunas fuentes de iluminación puedan ser controladas en modo de iluminación o no, en régimen de destellos, en régimen continuo o de manera cíclica.
- 25 7. Reactor de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el cual la cuba es cilíndrica teniendo un diámetro dado, llevando las placas las fuentes de iluminación que tienen una dimensión radial comprendida entre 5% y 20% de este diámetro.
8. Reactor de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el cual la materia en la cual las fuentes de iluminación están encapsuladas es una materia termoplástica elegida de modo que permita una buena evacuación del calor generado por estas fuentes de iluminación.
- 30 9. Reactor de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el cual la materia termoplástica en la cual las fuentes de iluminación están encapsuladas es polisulfona.
10. Reactor de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el cual las placas que llevan la pluralidad de fuentes de iluminación son de 1 a 10, estando, cuando el número es superior a 2, regularmente repartidas alrededor del conjunto rotatorio.

