

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 964 941**

51 Int. Cl.:

**C12M 1/00** (2006.01)

**C12M 1/12** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.08.2017 PCT/EP2017/071702**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.03.2018 WO18041859**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.08.2017 E 17765365 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.10.2023 EP 3507357**

54 Título: **Fotobiorreactor con dispositivo móvil de mantenimiento**

30 Prioridad:

**30.08.2016 EP 16186440**  
**08.02.2017 EP 17155258**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**10.04.2024**

73 Titular/es:

**BECO INVEST B.V. (100.0%)**  
**Fortweg 3**  
**3992 LX Houten, NL**

72 Inventor/es:

**EMMINGER, FRANZ y**  
**FLUCH, SILVIA**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 964 941 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**

Fotobiorreactor con dispositivo móvil de mantenimiento

El campo de la presente invención es el de los fotobiorreactores tubulares para cultivar microorganismos fototróficos tales como microalgas, en donde los fotobiorreactores tubulares están equipados con un dispositivo de mantenimiento

Los microorganismos fototróficos, como las microalgas, se cultivan principalmente por sus valiosos ingredientes, que se necesitan, por ejemplo, en la producción de preparados médicos, alimentos y piensos, suplementos nutricionales y cosméticos. Estos ingredientes incluyen ácidos grasos insaturados (por ejemplo, ácidos grasos omega-3 y omega-6), antioxidantes como la astaxantina y la luteína y clorofila. La composición de los ingredientes depende del tipo de microorganismos fototróficos cultivados. Preferiblemente se utiliza un cultivo puro de microorganismos fototróficos para garantizar una determinada calidad o concentración mínima de los ingredientes deseados.

Normalmente, los microorganismos que realizan la fotosíntesis se cultivan bajo la influencia de la luz (p. ej., la luz solar) en un medio de cultivo que contiene nutrientes en un fotobiorreactor, y luego se concentran y procesan. Los ingredientes para el procesamiento posterior se pueden obtener a partir de la biomasa obtenida o la propia biomasa se puede utilizar, por ejemplo, como alimento para animales o fertilizante. Así, el documento WO 2015/179888 A1 publica un fotobiorreactor o el WO 2016/168871 A2 o el CN 202 968 549 U un dispositivo de recolección de algas.

En general, los tubos de un fotobiorreactor son propensos a ensuciarse con el tiempo, especialmente durante el funcionamiento continuo. Los residuos del cultivo (p. ej. restos de microorganismos muertos) suelen acumularse en el interior de las tuberías. Por un lado, esto puede reducir la potencia lumínica (ya que estos residuos normalmente absorben la luz) y, por otro lado, supone un riesgo constante de contaminación del medio de cultivo con microorganismos indeseables que encuentran en los residuos un caldo de cultivo adecuado. La reducción del rendimiento luminoso o la contaminación pueden, a su vez, reducir significativamente la producción del cultivo. Además, especialmente en sectores sensibles como la producción de preparados médicos o suplementos nutricionales, puede ser de gran importancia para la seguridad del producto, excluir en la medida de lo posible la contaminación del cultivo con microorganismos indeseables.

En el estado de la técnica anterior se proponen diversas soluciones al problema explicado anteriormente.

El documento de patente WO 94/09112 A1 describe un dispositivo para limpiar tubos de fotobiorreactor y un fotobiorreactor que comprende el mismo dispositivo. Básicamente, este dispositivo mueve elementos de limpieza móviles (por ejemplo, bolas que rozan la superficie interior del tubo) con un núcleo magnético, que a su vez impulsan el medio de cultivo que se encuentra delante de ellos mediante un "efecto pistón". Según el documento, esto elimina la necesidad de bombas o crear un flujo a través de un "ascenso de gas".

El documento EP 2 947 139 A1 se refiere a un reactor para el cultivo fotoquímico de un cultivo líquido de pequeños organismos y microorganismos, en particular algas, a un proceso de limpieza para este y a su uso. Básicamente, para fines de limpieza, la bomba del reactor mueve correderas, cada una con una pieza de limpieza, a lo largo de la dirección del flujo en los tubos del reactor.

El documento WO 2010/025345 A2 se refiere a un fotobiorreactor de "circuito semicerrado" para producir combustible diesel a partir de algas utilizando aguas residuales. En él se da a conocer un dispositivo de limpieza que puede estar diseñado, por ejemplo, como un dispositivo cepillo de limpieza, que tiene un núcleo magnético y se puede mover mediante un imán situado fuera del tubo del fotobiorreactor (ver figura 8 del documento). El documento enseña en el párrafo [0041] que el fotobiorreactor se lava y limpia después de que se hayan recolectado las algas (es decir, entre los ciclos operativos en los que se cultivan las algas).

El documento WO 2014/133793 A1 trata de un biorreactor de tubos modular.

En él se describe un módulo de limpieza que puede incluir un raspador, un depurador o perlas de limpieza que pueden circular con el medio de cultivo que fluye.

El documento EP 1 632 562 A2 se refiere esencialmente a un fotobiorreactor tubular con un patrón de flujo serpenteante, entre cuyos tubos están previstas piezas de conexión en cuya zona interior están dispuestas correderas de limpieza. Según un diseño la corredera de limpieza puede ser introducida en el tubo a través de una abertura de inspección con una varilla de empuje introducible.

A pesar de estas soluciones propuestas, se necesitan más desarrollos que, por ejemplo, aumenten la escalabilidad y la vida útil de los fotobiorreactores.

Es objeto de la presente invención mejorar aún más la interacción entre el fotobiorreactor y el dispositivo de mantenimiento (que puede tener una función de limpieza, por ejemplo) o el fotobiorreactor o el propio dispositivo de mantenimiento, de modo que la vida útil y/o la producción del fotobiorreactor aumenta o se reduce el coste de mantenimiento.

5 La presente invención se define en las reivindicaciones.

Por lo tanto, la presente invención proporciona un fotobiorreactor para cultivar microorganismos fototróficos, con un elemento reactor que presenta un tubo, y además con un dispositivo de mantenimiento y un sistema de accionamiento (preferiblemente externo) que puede mover el dispositivo de mantenimiento dentro del tubo. El fotobiorreactor está diseñado de tal manera que, en el estado de funcionamiento del fotobiorreactor, el medio de cultivo líquido con los microorganismos fluye al menos parcialmente a través del tubo. Además, de acuerdo con la invención, el fotobiorreactor está diseñado de tal manera que el dispositivo de mantenimiento puede ser introducido en el tubo en el estado de funcionamiento del fotobiorreactor y mediante el sistema de accionamiento puede ser movido al menos en contra del flujo del medio de cultivo.

15 Correspondiendo con esto, la invención también proporciona un método para cultivar microorganismos fototróficos en un fotobiorreactor. Este fotobiorreactor se describe en las reivindicaciones.

A diferencia de las propuestas para el mantenimiento de un fotobiorreactor conocidas en por el estado de la técnica, según las cuales, por ejemplo, las perlas de limpieza deben circular con el flujo en el fotobiorreactor (es decir, "pasivamente") para mantener limpias las paredes del reactor, la presente invención prevé en el estado de funcionamiento del fotobiorreactor, como se describió anteriormente, una movilidad del dispositivo de mantenimiento al menos contra el flujo del medio de cultivo, generalmente a lo largo del eje longitudinal del tubo ( Si es conveniente, el dispositivo de mantenimiento también puede ser movido por el sistema de accionamiento en la dirección del flujo del medio de cultivo, generalmente a lo largo del eje longitudinal del tubo). Esto significa que las posiciones en el tubo (por ejemplo, con contaminantes que deben eliminarse con urgencia) se pueden alcanzar independientemente del flujo (es decir, por ejemplo, sin necesidad de circulación a través de todo el fotobiorreactor, de modo que las posiciones se pueden alcanzar más rápidamente). En última instancia, esto evita paradas por contaminación y aumenta la producción del fotobiorreactor.

El propio dispositivo de mantenimiento también suele verse afectado por la contaminación (por ejemplo, pueden acumularse residuos de microorganismos muertos en las superficies del dispositivo de mantenimiento). Por lo tanto, habitualmente es necesario retirar un dispositivo de mantenimiento del fotobiorreactor para poder limpiarlo. Sin embargo, en el marco de la presente invención se ha demostrado especialmente ventajoso que el fotobiorreactor presente también un dispositivo para la gasificación del medio de cultivo, estando diseñado el fotobiorreactor para que en el estado de funcionamiento del fotobiorreactor el dispositivo de mantenimiento en el tubo se pone en contacto con burbujas de gas ubicadas en el medio de cultivo (gaseado). Las burbujas de gas que ascienden gradualmente en el medio de cultivo debido a su flotabilidad ralentizan o evitan la acumulación de residuos en las superficies del dispositivo de mantenimiento, lo que significa que se puede reducir la frecuencia de retirada del dispositivo de mantenimiento del fotobiorreactor para su limpieza.

En una forma de realización preferida, el fotobiorreactor acorde con la invención está diseñado de tal manera que en el estado de funcionamiento están presentes tanto el medio de cultivo como un espacio de gas, por encima del medio de cultivo, para recibir las burbujas de gas que se elevan desde el medio de cultivo estando dispuesta en el tubo una interfaz entre el medio de cultivo y el espacio de gas. Sin embargo, durante el desarrollo de esta realización, se hizo evidente que las superficies internas del tubo que están en contacto con la interfaz entre el medio de cultivo y el espacio de gas (o el "espacio de interfaz" en las inmediaciones de la interfaz) son susceptibles a la contaminación, que a medida que avanza la operación generalmente se acumula más y más contaminación. En la zona de la interfaz (que a menudo varía ligeramente en altura durante el período de funcionamiento) puede ocurrir una y otra vez la formación de espuma y la deposición de residuos de microorganismos fototróficos. Además, a veces sucede que la superficie interior del fotobiorreactor es salpicada con medio de cultivo y estas salpicaduras también se secan con el tiempo y forman así contaminación. Por lo tanto, en esta versión el dispositivo de mantenimiento está diseñado al menos para limpiar la superficie interior del tubo que entra en contacto con el espacio de gas (es decir, para las zonas especialmente vulnerables del tubo). Convenientemente, el espacio de gas en el tubo configurado como tubo de distribución (el cual espacio de gas se encuentra por encima del medio de cultivo en el tubo de distribución) es preferentemente un espacio de gas que se extiende a lo largo del eje longitudinal del tubo de distribución en al menos un 10%, preferentemente al menos el 20 % o incluso al menos el 30 %, más preferentemente al menos el 40 % o incluso al menos el 50 %, incluso más preferentemente al menos el 60 % o incluso al menos el 70 %, en particular al menos el 80 % o incluso al menos el 90 % de la longitud del tubo de distribución. Es especialmente útil que el citado espacio de gas se extienda a lo largo de toda la longitud del tubo de distribución. Se entiende que por "gas" también se puede entender una mezcla de gases, en particular una mezcla de un gas (por ejemplo, dióxido de carbono) con aire.

Ventajosamente, el dispositivo de mantenimiento del fotobiorreactor acorde con la invención presenta una boquilla pulverizadora para pulverizar la superficie interior del tubo con un líquido de limpieza. Esto ha demostrado ser más suave e higiénico en funcionamiento continuo en comparación con el uso de cepillos. Se prefiere particularmente que el dispositivo de mantenimiento esté configurado al menos para pulverizar la superficie interior del tubo que está en contacto con dicho espacio de gas a través de la boquilla pulverizadora. De esta manera se pueden eliminar mejor los depósitos (que pueden aparecer con el tiempo como se describe anteriormente).

En otra forma de realización preferida, el dispositivo de mantenimiento presenta al menos una escobilla limpiadora hecha de un material elástico, como por ejemplo un caucho, para limpiar la superficie interior del tubo. Esto también ha demostrado ser más suave e higiénico en funcionamiento continuo en comparación con un equipamiento con cepillos. Se prefiere particularmente que el dispositivo de mantenimiento esté dispuesto con la escobilla de limpieza al menos para limpiar la superficie interior del tubo que está en contacto con dicho espacio de gas. De esta manera se puede eliminar mejor la contaminación existente (que puede surgir con el tiempo como se describe anteriormente). De forma alternativa o adicional, el dispositivo de mantenimiento presenta preferentemente una boquilla pulverizadora, posiblemente adicional, que está dispuesta para pulverizar la escobilla de limpieza con un líquido de limpieza. Esto reduce el riesgo de que se formen residuos en la escobilla de limpieza.

Si la boquilla pulverizadora mencionada se alimenta con medio de cultivo (que contiene los microorganismos fototróficos), que se encuentra en el tubo normalmente también se pulverizan los microorganismos, es decir, se exponen a fuerzas de cizallamiento elevadas. Esto puede provocar la muerte de microorganismos (especialmente algunos tipos de algas son muy sensibles a las fuerzas de cizallamiento) y, por tanto, reducir el rendimiento. Debido a esto, en una forma de realización preferida, la boquilla pulverizadora está conectada a través de un tubo (por ejemplo, a través de una tubería de agua) a un depósito de líquido fuera del tubo. Este depósito de líquido contiene preferiblemente un líquido de limpieza estéril o reducido en gérmenes (por supuesto, no el medio de cultivo mencionado anteriormente con los microorganismos), como por ejemplo agua estéril filtrada.

Según otra forma de realización especialmente preferida de la presente invención, en el estado de funcionamiento del fotobiorreactor el dispositivo de mantenimiento en el tubo para el medio de cultivo puede ser rodeado y/o ser atravesado (por ejemplo, al estar diseñado en forma de un cilindro hueco). Esto significa que se puede garantizar mejor el funcionamiento continuo del fotobiorreactor (incluso si el tiempo de permanencia en el tubo es largo). Preferiblemente, el dispositivo de mantenimiento bloquea como máximo el 97,5%, preferiblemente como máximo el 95%, más preferiblemente como máximo el 92,5% o incluso como máximo el 90%, aún más preferiblemente como máximo el 87,5% o incluso como máximo el 85%, en particular como máximo el 82,5%, o incluso un máximo del 80% de la sección transversal del tubo en el punto del tubo más bloqueado por el dispositivo de mantenimiento.

En una configuración ventajosa, el dispositivo de mantenimiento está diseñado de tal manera que, mientras está en el tubo, que presenta un primer diámetro, forma un ángulo con el tubo (preferiblemente entre 40° y 140°, más preferiblemente entre 60° y 120°, incluso más preferiblemente entre 80° y 100°, en particular esencialmente 90°) conectados de manera permeable a los líquidos, se puede limpiar otro tubo, que eventualmente tiene un diámetro menor o mayor, preferiblemente menor, que el primer diámetro, con un instrumento de limpieza que puede ser liberable por el dispositivo de mantenimiento (ver Fig. 3), si es necesario, al mismo tiempo que se limpia el tubo mencionado en primer lugar. De esta manera, se puede utilizar el mismo dispositivo de mantenimiento para tubos interconectados de diferentes diámetros.

En la realización del fotobiorreactor acorde con la invención, el tubo es un tubo de distribución ("colector") con al menos tres conexiones para la entrada o salida de medio de cultivo. En esta realización, el fotobiorreactor está diseñado de tal manera que el dispositivo de mantenimiento se puede mover a al menos una de las conexiones del tubo y se puede sellar. Esto significa que se pueden realizar trabajos de mantenimiento más allá de la conexión sellada sin interrumpir las operaciones en curso (mientras el medio de cultivo continúa fluyendo en el tubo). Las uniones mencionadas pueden estar configuradas, por ejemplo, como taladros, aberturas o prolongaciones de unión.

Es ventajoso que el tubo (especialmente si está diseñado como tubo de distribución) no presente una pendiente o una inclinación a lo largo de su eje longitudinal con un ángulo (con respecto al nivel del medio de cultivo) superior a 10°, preferiblemente más de 5°, más preferiblemente más de 2,5°, incluso más preferiblemente más de 1° o incluso más de 0,5°. De manera particularmente preferida, el tubo de distribución (a lo largo de su eje longitudinal) está orientado esencialmente horizontal u horizontal (es decir, su eje longitudinal es esencialmente paralelo o paralelo al espejo del medio de cultivo).

Una ventaja especial de la invención es la función de sellado mencionada. El elemento reactor presenta además varios tubos ascendentes y tubos de bajada para el medio de cultivo líquido, estando conectados respectivamente los tubos ascendentes y los tubos descendentes de manera permeable a los líquidos en su extremo superior con el tubo configurado como tubo de distribución, estando al menos uno de los tubos ascendentes y uno de los tubos bajantes conectados adicionalmente entre sí está unido de forma permeable a los líquidos mediante una pieza de conexión. El fotobiorreactor está diseñado de tal manera que el dispositivo de mantenimiento puede cerrar simultáneamente la conexión para el tubo de bajada y la conexión para el tubo ascendente, que además están unidas entre sí de forma permeable a los líquidos mediante una pieza de conexión (es decir, pueden formar un "tubo en U", por así decirlo).

Esto significa que el tubo ascendente, el tubo de bajada o la pieza de conexión pueden ser reemplazadas sin interrumpir el funcionamiento. Por lo general, antes solo es necesario drenar el medio de cultivo en el tubo ascendente y en el tubo de bajada (o en la pieza de conexión).

5 Preferiblemente, una pieza de conexión conecta exactamente uno de los tubos ascendentes con exactamente uno de los tubos bajantes de manera permeable a los líquidos (o conecta ambos entre sí de manera permeable a los líquidos). Se prefiere que al menos todos menos uno o dos tubos ascendentes del elemento del reactor y/o al menos todos menos uno o dos tubos de bajada del elemento del reactor estén conectados en pares a una pieza de conexión de este tipo de manera permeable a los líquidos, en particular al menos todos menos un tubo ascendente del elemento de reactor y/o al menos todos menos un tubo de bajada del elemento de reactor están conectados por pares a una  
10 pieza de conexión de este tipo de manera permeable a los líquidos. Desde un punto de vista estructural, es ventajoso (en particular para soportar un flujo serpenteante) que una pieza de conexión conecte un tubo ascendente y un tubo de bajada adyacentes entre sí (es decir, conectados junto al tubo de distribución) de forma permeable a los líquidos.

Según la invención, dicha pluralidad de tubos ascendentes o tubos bajantes del elemento del reactor, que están conectados de manera permeable a los líquidos al mismo tubo diseñado como tubo de distribución, es al menos tres  
15 (por ejemplo, en la disposición tubo de bajada - tubo ascendente - tubo de bajada o tubo ascendente - tubo de bajada - tubo ascendente, a lo largo del tubo de distribución). Desde el punto de vista de la escalabilidad de la limpieza, es ventajoso que el número mencionado sea al menos cuatro, preferiblemente al menos cinco, más preferiblemente al menos diez, aún más preferiblemente al menos veinte, en particular al menos treinta o incluso al menos cuarenta o al menos al menos cincuenta o al menos cien. Ventajosamente se elige una disposición alternante de tubos ascendentes o de tubos bajantes a lo largo del tubo de distribución (por ejemplo, tubo ascendente - tubo bajante - tubo ascendente  
20 - ... - tubo bajante - tubo ascendente o tubo ascendente - tubo bajante - tubo ascendente - ... -tubo bajante - tubo ascendente - tubo bajante, o tubo bajante - tubo ascendente - tubo bajante - ... - tubo ascendente). Por supuesto, la posición de las entradas y salidas (por ejemplo en el extremo superior o inferior) en el fotobiorreactor debería elegirse convenientemente se de acuerdo con esta disposición de tal manera que se evite un volumen muerto. Es obvio para los expertos en la técnica que al invertir el flujo del medio de cultivo, un tubo ascendente puede convertirse en un tubo bajante o viceversa. Ventajosamente, la suma de los vectores de velocidad de flujo de los flujos del medio de cultivo que prevalecen en el tubo de distribución (particularmente si se realiza un flujo serpenteante en el elemento reactor) da como resultado un vector de velocidad de flujo que es esencialmente paralelo al eje longitudinal de el tubo de distribución (por así decirlo, un flujo neto a lo largo del eje longitudinal, o también de las flechas discontinuas  
25 horizontales en la Fig. 9).

Para facilitar la limpieza, el tubo (especialmente si está diseñado como tubo de distribución) y/o el tubo ascendente o el tubo de bajada, convenientemente, en su caso independientes entre sí, no presentan a lo largo de su eje longitudinal, una curvatura superior a 90°, preferiblemente superior a 70°, más preferiblemente más de 50°, incluso más preferiblemente más de 30° o incluso más de 20°, en particular más de 10° o incluso más de 5°. Es especialmente favorable que el tubo (especialmente si está diseñado como tubo de distribución) y/o los tubos ascendentes o los tubos descendentes sean esencialmente rectos o rectos a lo largo de su eje longitudinal. Preferiblemente, el tubo (particularmente si está diseñado como tubo de distribución) y/o los tubos ascendentes o los tubos bajantes (posiblemente excepto por eventuales extensiones de conexión) tienen un perfil sustancialmente redondo.  
35

En otra forma de realización muy especialmente preferida, el dispositivo de mantenimiento está configurado de modo que el tubo de bajada se sella mediante el dispositivo de mantenimiento con respecto al tubo y el tubo ascendente se sella mediante el dispositivo de mantenimiento con respecto al tubo, estando ambos conectados entre sí. de manera permeable a los líquidos mediante una pieza de conexión (es decir, se puede formar, por ejemplo, un "tubo en U"). Para ello, preferentemente se suelta un instrumento de limpieza que puede ser liberado por el dispositivo de mantenimiento, como por ejemplo una esponja, y se bombea a través de dicho tubo bajante y dicho tubo ascendente  
40 (que, por ejemplo, forman un "tubo en U") (esto es también por qué el dispositivo de mantenimiento presenta preferentemente una bomba, preferentemente una bomba de membrana), y es recogido convenientemente de nuevo por el dispositivo de mantenimiento (para que esté disponible de nuevo para la siguiente liberación). De esta manera se pueden limpiar más intensamente secciones del elemento reactor, mientras que el funcionamiento del resto del fotobiorreactor se mantiene lo más tranquilo posible.

50 Es ventajoso que los ejes longitudinales de los tubos ascendentes o de los tubos bajantes, en caso necesario independientemente entre sí, formen un ángulo de más de 5°, preferiblemente de más de 20°, más preferiblemente de más de 40° o incluso más preferiblemente de 60° todavía más preferido más de 70° o incluso más de 80°, en particular más de 85° o incluso más de 87,5° con respecto al espejo del medio de cultivo o al tubo diseñado como tubo de distribución. Es particularmente favorable si los ejes longitudinales de los tubos ascendentes o de los tubos bajantes son esencialmente normales (o normales) al espejo del medio de cultivo o al tubo de distribución (preferiblemente esencialmente horizontal) (en otras palabras: si están orientados verticalmente). Convenientemente, los ejes longitudinales de los tubos ascendentes y de los tubos bajantes (en particular aquellos que están unidos mediante una pieza de conexión) son esencialmente paralelos entre sí.  
55

El fotobiorreactor de la presente invención es preferentemente, por lo que respecta al tipo, un reactor tubular ("tubular reactor"), más precisamente un reactor tubular vertical ("vertical tubular reactor"), o no es un reactor de placas ("plate reactor" o "flat panel reactor").

5 Especialmente en fotobiorreactores más grandes (que están equipados, por ejemplo, con un elemento de reactor con un largo tubo de distribución, al que están conectados decenas o cientos de tubos ascendentes o descendentes), puede surgir el problema de que el dispositivo de mantenimiento se tuerza de forma no deseada a lo largo de su longitud o presentar una exigencia extra el controlar con precisión el dispositivo de mantenimiento en el lugar correcto del tubo (es decir, por ejemplo, alcanzar con precisión el tubo en U correcto). Como resultado, en otra forma de realización preferida de la presente invención, está prevista en el tubo, preferiblemente en el exterior del mismo, una barra guía para estabilizar y/o posicionar el dispositivo de mantenimiento en el tubo. Por ejemplo, la barra guía para estabilización puede ser magnética y el dispositivo de mantenimiento puede presentar un imán (o viceversa). Para posicionar el dispositivo de mantenimiento, la barra guía puede presentar, por ejemplo, en determinados puntos de la barra guía, códigos por ejemplo soportes de códigos magnéticos como tiras magnéticas o códigos ópticos (por ejemplo, códigos de barras), que pueden ser leídos por el dispositivo de mantenimiento, tras lo cual, cuando se alcanza la posición a controlar, se frena el dispositivo de mantenimiento.

En otra forma de realización preferida de la presente invención, el mencionado sistema de accionamiento presenta al menos un torno de cable (preferiblemente al menos dos tornos de cable en extremos opuestos del tubo), que puede accionar un cable guiado en el tubo y conectado con el dispositivo de mantenimiento. Esta ha demostrado ser una forma eficaz y robusta de accionar el dispositivo de mantenimiento. El dispositivo de mantenimiento puede recibir alimentación eléctrica, aire comprimido o líquido de limpieza (p. ej. a través de un conducto de alta presión) o recibir señales de control. Es ventajoso que el torno de cable esté, especialmente entre el torno de cable y el tubo, equipado con un dispositivo conectado, para desinfectar el cable (en caso necesario enrollado en él) (por ejemplo, un raspador para el cable en la salida de la tapa del torno de cable - boquillas pulverizadoras con EtOH o solución desinfectante - raspador para el cable después de la pulverización). El cable suele estar húmedo cuando se saca del tubo y, por tanto, representa un posible caldo de cultivo para microorganismos no deseados (especialmente si se enrolla y se deja en el torno de cable durante mucho tiempo). Estos microorganismos contaminantes pueden introducirse en el fotobiorreactor cuando el cable del torno de cable se vuelve a introducir en el tubo (por ejemplo, cuando un segundo torno de cable tira del dispositivo de mantenimiento en la dirección opuesta). Sin embargo, dicha contaminación se evita, al menos en gran medida, mediante el uso de un dispositivo para desinfectar el cable. Además o como alternativa, el dispositivo de desinfección puede presentar, por ejemplo, un sistema de gasificación de ozono para el espacio del torno de guía.

Para reducir el riesgo de contaminación por el cable (además o como alternativa a proporcionar un dispositivo para desinfectar el cable, por ejemplo como se describe anteriormente), en otra forma de realización preferida está previsto que el cable guiado en el tubo y conectado con el dispositivo de mantenimiento se encuentra en el tubo guiado al menos parcialmente por encima del nivel del medio de cultivo (o al menos parcialmente en dicho espacio de gas del tubo de distribución). Esto reduce el contacto del cable con el medio de cultivo.

En general, los tubos para fotobiorreactores deben ser químicamente resistentes y no susceptibles a la acumulación de residuos o a la opacidad (relacionada con los rayos UV), lo que puede reducir la irradiación de la luz y, por tanto, reducir la producción. Sin embargo, en el transcurso de la presente invención se ha demostrado que sería técnicamente extremadamente complejo o incluso imposible producir tales tubos para fotobiorreactores con baja tolerancia de fabricación, especialmente si están hechos esencialmente de vidrio (el cual, por otro lado, tendría excelentes propiedades para su uso en el fotobiorreactor). En consecuencia, existe el riesgo de que un dispositivo de mantenimiento, especialmente si excede una cierta longitud (que, sin embargo, puede ser necesaria para acomodar todas las funcionalidades deseadas en el dispositivo de mantenimiento) y es rígido, pueda atascarse en el tubo. Por lo tanto, el dispositivo de mantenimiento presenta convenientemente al menos dos módulos ("vagones") que están unidos entre sí mediante un acoplamiento para reducir el riesgo mencionado y, por así decirlo, garantizar una cierta flexibilidad en cuanto a la tolerancia de fabricación.

Para reducir aún más el riesgo de que se deposite contaminación en el dispositivo de mantenimiento (lo que, como se explicó anteriormente, representa un peligro constante en términos de contaminación del cultivo), el fotobiorreactor presenta, acorde con un desarrollo ventajoso de la invención, una estación ("estacionamiento de trenes") para el dispositivo de mantenimiento, que está configurado para limpiar el dispositivo de mantenimiento y/o para retirar (o insertar) el dispositivo de mantenimiento del fotobiorreactor (o dentro del fotobiorreactor) y al que se puede mover el dispositivo de mantenimiento. Preferiblemente, el dispositivo de mantenimiento puede acceder a esta estación directamente desde la tubería. Se prefiere especialmente que esta estación esté equipada con al menos una boquilla pulverizadora para la limpieza del dispositivo de mantenimiento, estando conectada preferentemente la boquilla pulverizadora a través de un conducto con un depósito de líquido situado fuera del tubo.

Para reducir aún más el riesgo de que se deposite suciedad en el dispositivo de mantenimiento, en una forma de realización preferida de la presente invención el tubo tiene un dispositivo para limpiar el dispositivo de mantenimiento. Este dispositivo comprende preferentemente al menos una boquilla pulverizadora, en particular al menos una disposición anular de boquillas pulverizadoras, a través de la cual se puede mover el dispositivo de mantenimiento

para su limpieza. Preferiblemente, esta boquilla pulverizadora o las boquillas pulverizadoras de la disposición están conectadas a través de un conducto con un depósito de líquido situado fuera del tubo.

5 La presente invención generalmente permite utilizar componentes de vidrio (de mayor calidad) en lugar de componentes de plástico desechables, entre otras cosas porque el riesgo de rotura del vidrio se reduce si el desmontaje para limpieza se requiere con menos frecuencia. Así, en una forma de realización preferida del fotobiorreactor, dicho tubo y/o dichos tubos ascendentes y descendentes consisten esencialmente en vidrio. Esto aumenta, entre otras cosas, la longevidad o resistencia del fotobiorreactor, especialmente cuando se cultivan microalgas que requieren un medio de cultivo con un valor de pH extremo. Además, el vidrio normalmente se vuelve menos áspero con el tiempo que el plástico de uso común, lo que facilita su limpieza y mantenimiento. El vidrio se puede recubrir, como se publica en el documento DE 10 2009 029 792 A1 o el WO 2011/015653 A2.

10 En otra realización preferida, la superficie interior del tubo o los tubos bajantes y los tubos ascendentes, si están presentes, se limpian mediante el dispositivo de mantenimiento en un momento preestablecido, preferiblemente repitiéndose este proceso al menos en otro momento preestablecido.

15 De acuerdo con una forma de realización preferida, el dispositivo de mantenimiento está configurado para introducir en el medio de cultivo en el tubo (preferiblemente en un punto preestablecido en el tubo, posiblemente en un momento preestablecido y/o dependiendo de un valor de medida determinado por un sensor (descrito a continuación)) uno o varios de los siguientes: Nutrientes, sustancias auxiliares, otros microorganismos fototróficos u otro medio de cultivo. De forma alternativa o adicional, acorde con otra forma de realización preferida del fotobiorreactor acorde con la invención, el dispositivo de mantenimiento presenta un sensor para determinar la concentración de una sustancia en el medio de cultivo (por ejemplo, un medidor de pH) o la concentración de microorganismos en el medio de cultivo (p.ej. un fotómetro) o la temperatura, en donde preferiblemente la determinación se puede realizar en un punto preestablecido en el tubo, si es necesario en un momento preestablecido.

20 Habitualmente, una parte de la superficie del dispositivo de mantenimiento, cuya superficie está destinada a entrar en contacto con el medio de cultivo, consiste en plástico (por ejemplo, en forma de tubos de polietileno entre módulos del dispositivo de mantenimiento, cuya superficie exterior entra en contacto con el medio de cultivo (ver Fig. 5). Dado que los microorganismos fototróficos se cultivan preferentemente en el fotobiorreactor para la producción de alimentos, es aconsejable por motivos de seguridad alimentaria que esta parte no supere el límite de migración total de 10 mg/dm<sup>2</sup>.

25 En un aspecto adicional, la presente invención proporciona un dispositivo de mantenimiento móvil para mantener la superficie interior de un tubo de un fotobiorreactor para cultivar microorganismos fototróficos. Esto es adecuado para mantener la superficie interior del tubo durante el funcionamiento en curso del fotobiorreactor, mientras el medio de cultivo líquido con los microorganismos fluye a través del tubo, al menos parcialmente, y para ello está equipado con al menos por un sistema de accionamiento externo, que preferentemente presenta un torno de cable para moverse en el tubo en contra del flujo del medio de cultivo. Esto también resuelve la tarea mencionada al principio.

30 El dispositivo de mantenimiento móvil presenta convenientemente una pieza de conexión para la conexión con el sistema de accionamiento externo. Se trata preferentemente de un medio para anclar un cable (por ejemplo, un ojal) de modo que pueda moverse mediante un torno de cable al menos en contra del flujo del medio de cultivo.

35 En una realización preferida, el dispositivo de mantenimiento móvil tiene una boquilla rociadora para rociar la superficie interior del tubo con un líquido limpiador. Esto ha demostrado ser más suave e higiénico en funcionamiento continuo en comparación con el uso de cepillos. Para alimentar la boquilla pulverizadora con el líquido de limpieza, el dispositivo de mantenimiento presenta una conexión para un conducto con el líquido de limpieza, ya que, por las razones expuestas anteriormente, pulverizar el medio de cultivo con los propios microorganismos puede ser desventajoso.

40 En otra realización preferida, el dispositivo de mantenimiento móvil tiene al menos una escobilla de limpieza hecha de un material elástico tal como caucho, para limpiar la superficie interior de la tubería. Esto también ha demostrado ser más suave e higiénico en funcionamiento continuo en comparación con el uso de cepillos. Se prefiere particularmente que el dispositivo de mantenimiento esté equipado con la escobilla de limpieza al menos para limpiar la superficie interior del tubo que está en contacto con el mencionado espacio de gas. De esta manera se pueden eliminar mejor los depósitos (que pueden aparecer con el tiempo como se describe anteriormente). De forma alternativa o adicional, el dispositivo de mantenimiento presenta preferentemente una boquilla pulverizadora, posiblemente adicional, que está equipada para pulverizar la escobilla de limpieza con un líquido de limpieza. Esto reduce el riesgo de que se formen residuos secos en la escobilla de limpieza.

45 Además, el dispositivo de mantenimiento presenta convenientemente al menos dos módulos ("vagones") que están unidos entre sí mediante un acoplamiento para garantizar una cierta flexibilidad en cuanto a la tolerancia de fabricación del tubo, por así decirlo.

55

5 El dispositivo de mantenimiento móvil está equipado además con un dispositivo para sellar las conexiones del tubo. Este dispositivo comprende preferentemente una junta elástica (por ejemplo, un anillo de junta inflable) con una cavidad en donde se puede introducir bajo presión un fluido (por ejemplo, aire comprimido o el líquido de limpieza mencionado) para expandir la junta y cerrar así la conexión. El dispositivo de mantenimiento presenta preferentemente una bomba, en particular una bomba de membrana, para introducir el fluido en la cavidad.

10 Normalmente, parte de la superficie exterior del dispositivo de mantenimiento móvil está hecha de plástico (por ejemplo, en forma de tubos de polietileno entre módulos del dispositivo de mantenimiento, cuya superficie exterior entra en contacto con el medio de cultivo; véase la Fig. 5). Dado que los microorganismos fototróficos se cultivan preferentemente en el fotobiorreactor para la producción de alimentos, es aconsejable por motivos de seguridad alimentaria que esta parte no supere el límite de migración total de 10 mg/dm<sup>2</sup>.

15 El dispositivo de mantenimiento móvil que se acaba de describir se puede utilizar para mantener la superficie interior de un tubo de un fotobiorreactor para cultivar microorganismos fototróficos, realizándose el mantenimiento durante el funcionamiento en curso del fotobiorreactor, preferiblemente mientras el medio de cultivo está expuesto a la luz solar o a la luz artificial. en donde el tubo es recorrido, al menos parcialmente por el medio de cultivo líquido con los microorganismos.

Por "estado de funcionamiento" se entiende aquí un estado del fotobiorreactor, en donde se cultivan microorganismos fototróficos vivos en un medio de cultivo en el fotobiorreactor (en particular en el tubo), en donde el medio de cultivo en el fotobiorreactor (en particular en el tubo) preferiblemente presenta un flujo.

20 En este documento, el término "límite de migración general" („overall migration limit“) significa la cantidad máxima permitida de sustancias no volátiles liberadas de un material u objeto que se depositan en simulantes alimentarios. Este límite global de migración se determina preferentemente de acuerdo con el Reglamento (UE) n° 10/2011 de la Comisión, de 14 de enero de 2011, sobre materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con alimentos, en su versión consolidada de 26 de febrero de 2015 (CELEX n°. 02011R0010-20150226; en adelante denominado "el Reglamento"), que ya incluye los siguientes cambios: modificado por el Reglamento de Ejecución (UE) N° 321/2011 de la Comisión de 1 de abril de 2011, Reglamento (UE) N° 1282/2011 de de la Comisión de 28 de noviembre de 2011, Reglamento (UE) n° 1183/2012 de la Comisión de 30 de noviembre de 2012, Reglamento (UE) n° 202/2014 de la Comisión de 3 de marzo de 2014, Reglamento (UE) Comisión n° 865/2014 de 8 de agosto de 2014, Reglamento (UE) 2015/174 de la Comisión de 5 de febrero de 2015; y corregido mediante corrección, Diario Oficial L 278 de 25 de octubre de 2011, página 13 (10/2011). En particular, en el contexto de la presente invención, se hace referencia a las condiciones de ensayo estándar "OM 2" acorde con el Anexo V, Capítulo 3 del Reglamento, con un simulante alimentario seleccionado entre los simulantes alimentarios A, B, C, D1 y D2 de acuerdo con el Anexo III del Reglamento, seleccionado preferentemente entre A, B y C, incluso más preferentemente seleccionado entre A y B, en particular A.

35 La invención se explica a continuación mediante ejemplos de realización especialmente preferidos, a los que no se limita, y con referencia al dibujo. Los dibujos muestran en detalle:

La Fig. 1 muestra una vista desde arriba sobre una realización del fotobiorreactor acorde con la invención en estado operativo;

La Fig. 2 muestra una vista desde arriba sobre una realización del fotobiorreactor acorde con la invención, en donde se muestra con más detalle el dispositivo de mantenimiento;

40 La Fig. 3 es una vista local ampliada de la realización de la Fig. 2, que muestra la función de sellado y limpieza del dispositivo de mantenimiento para un par interconectado de tubo ascendente y de tubo de bajada;

La Fig. 4 muestra esquemáticamente una realización del fotobiorreactor acorde con la invención con el dispositivo de mantenimiento en la estación fuera del tubo;a

45 La Fig. 5 muestra varias vistas de una realización preferida del dispositivo de mantenimiento acorde con la invención;

La Fig. 6 muestra vistas en perspectiva de un dispositivo de mantenimiento acorde con la Fig 5;

La Fig. 7 muestra, a modo de ejemplo, secciones transversales de módulos del dispositivo de mantenimiento acorde con la invención en el tubo, que garantizan la capacidad de circulación;

50 La Fig. 8 muestra una vista desde arriba de una forma de realización del fotobiorreactor acorde con la invención en estado operativo (en esta vista no se muestran el dispositivo de mantenimiento ni el sistema de accionamiento);

La Fig. 9 muestra una vista desde arriba de una realización del fotobiorreactor acorde con la invención en estado operativo;

La Fig. 10 es una vista local ampliada de la realización según las Figs. 8 y 9, respectivamente;

La Fig. 11A muestra una vista superior de un tubo lleno, que está diseñado como tubo de distribución como se puede usar para la presente invención;

La Fig. 11B muestra una vista en perspectiva del tubo según la Fig. 11A;

5 La Fig. 12 muestra una vista en perspectiva de una estructura metálica, tal como se puede utilizar para variantes de elementos de reactor del fotobiorreactor acorde con la invención;

La Fig. 13 muestra una vista en perspectiva de los elementos de reactor de una forma de realización del fotobiorreactor acorde con la invención.

10 La Fig. 1 muestra un fotobiorreactor 1 para cultivar microorganismos fototróficos, con dos elementos de reactor 2, cada uno de los cuales tiene una pluralidad de tubos ascendentes 18a rectos verticales y tubos de bajada 18b para el medio de cultivo 6 y un tubo 3, que es horizontal, recto y está diseñado como tubería de distribución y además tiene un perfil circular. El medio de cultivo 6 es un medio de cultivo líquido a base de agua y enriquecido con nutrientes; contiene microorganismos fototróficos (generalmente microalgas). El tubo 3 y los tubos ascendentes o los tubos bajantes 18a y 18b están hechos de vidrio. Los tubos ascendentes 18a y los tubos bajantes 18b están conectados de forma permeable a los líquidos con el tubo 3 configurado como tubo de distribución. Los tubos ascendentes 18a y los tubos bajantes 18b están conectados además entre sí de forma permeable a los líquidos mediante una pieza de conexión 20 en forma de U (ver también la figura 10).

20 El dispositivo de mantenimiento 4 está diseñado para limpiar la superficie interior del tubo 3 estando equipado con boquillas pulverizadoras y escobillas limpiadoras para esta superficie. Tiene un imán y, por lo tanto, está estabilizado en el tubo 3 mediante la barra guía magnética 21, que está fijada al exterior del tubo 3. En consecuencia, se evita que el dispositivo de mantenimiento pueda torcerse con respecto al eje longitudinal del tubo 3 cuando es arrastrado a través del tubo 3 por el sistema de accionamiento 5, que tiene tornos de cable 22, utilizando los cables 23. La barra guía 21 también tiene códigos. Estos marcan los puntos en el tubo 3 en donde están conectados los tubos ascendentes o los tubos bajantes 18a y 18b individuales, y pueden ser leídos por el dispositivo de mantenimiento 4 y transmitidos a un sistema de control y procesados por él.

30 El fotobiorreactor 1 también presenta un dispositivo 7 para gasificar el medio de cultivo 6 con dióxido de carbono, introduciéndose el gas en los tubos ascendentes 18a o en los tubos bajantes 18b. El medio de cultivo 6 con los microorganismos fototróficos está tan alto en los elementos del reactor 2 que los tubos 3 configurados como tubos de distribución están llenos cada uno de ellos al menos un 5%, preferentemente al menos un 10%, más preferentemente al menos un 20%, aún más preferentemente al menos un 30%. % o incluso el 40 %, especialmente hasta la mitad. En el tubo 3 existen tanto medio de cultivo 6 como, por encima del medio de cultivo 6, un espacio de gas 9 para recibir las burbujas de gas 8 que se elevan desde el medio de cultivo 6, estando existiendo en el tubo 3 una interfaz 10 entre el medio de cultivo 6 y el espacio de gas 9. Debido a su flotabilidad, las burbujas de gas 8 que ascienden gradualmente en el medio de cultivo 6 entran en contacto con el dispositivo de mantenimiento 4 y ralentizan o evitan la acumulación de residuos en las superficies del dispositivo de mantenimiento 4.

40 Debido a su forma, el dispositivo de mantenimiento puede ser atravesado por el medio de cultivo 6 (y los microorganismos fototróficos contenidos en él), de modo que puede permanecer en el tubo 3 durante todo el funcionamiento del fotobiorreactor 1. Durante el funcionamiento continuo, es llevado hacia adelante y hacia atrás en el tubo 3 para utilizar su función de limpieza para evitar que la contaminación se deposite en el tubo 3 (en particular en el área de la superficie interior del tubo 3, que está cerca a la interfaz 10 o está en contacto con ella, y corre especial riesgo a este respecto) especialmente en las primeras etapas. Dos boquillas pulverizadoras del dispositivo de mantenimiento 4 están orientadas de tal manera que el dispositivo de mantenimiento 4 está configurado al menos para limpiar la superficie interior 11a del tubo 3 que está en contacto con el espacio de gas 9. Esta superficie interior 11a también es particularmente susceptible a la contaminación, porque las salpicaduras del medio de cultivo 6 se secan aquí fácilmente y, por lo tanto, pueden dejar residuos como, por ejemplo, microorganismos secos. El hecho de que el dispositivo de mantenimiento 4 no pueda torcerse debido a la barra guía 21, como se describe anteriormente, garantiza que se mantenga la orientación de las boquillas pulverizadoras mencionadas en dirección de la superficie 11a.

50 La Fig. 2 muestra un fotobiorreactor 1 para cultivar microorganismos fototróficos, con un elemento de reactor 2 que tiene una pluralidad de tubos ascendentes 18a rectos y verticales y tubos de bajada 18b para el medio de cultivo 6 y un tubo 3 que es horizontal, recto y está diseñado como un tubo de distribución. El medio de cultivo 6 es un medio de cultivo líquido a base de agua y enriquecido con nutrientes; contiene microorganismos fototróficos (generalmente microalgas). Los tubos ascendentes 18a y los tubos bajantes 18b están conectados con el tubo 3 configurado como tubo de distribución, de forma permeable a los líquidos.

55 El dispositivo de mantenimiento 4 situado en el tubo 3 presenta cuatro módulos 37, que están unidos entre sí mediante acoplamientos 38 para compensar el desplazamiento angular del tubo 3 relacionado con la producción, de modo que el dispositivo de mantenimiento 4 no pueda quedar atrapado en el tubo. 3 cuando es arrastrado a través del tubo 3 por el sistema de accionamiento 5 con ayuda del cable 23 mediante tornos de cable 22 que están conectados

funcionalmente. Los tornos de cable 22 están equipados cada uno de ellos con dispositivos 24 para desinfectar el cable 23, estando configurados estos dispositivos 24 opcionalmente como sistemas de fumigación con ozono.

5 Para limpiar la superficie interior del tubo 3, el dispositivo de mantenimiento 4 tiene las escobillas limpiadoras 14 y las boquillas pulverizadoras 12. Las boquillas pulverizadoras 12a sirven para pulverizar las escobillas limpiadoras 14 para mantenerlas húmedas. Esto aumenta, por un lado, su efecto de limpieza y, por otro lado, evita la acumulación de depósitos en las propias escobillas. Las boquillas pulverizadoras 12 y 12a se alimentan con el líquido de limpieza 13 (en este caso agua esterilizada) desde un depósito externo 16 a través de una tubería 15 existente en el cable 23.

10 El dispositivo de mantenimiento se puede mover hacia cada par individual de tubos ascendentes y tubos bajantes 18a y 18b interconectados y sellar el tubo 3 contra ellos bloqueando las conexiones 17 correspondientes. Esto permite reemplazar un par de tubos de subida y tubos de bajada 18a y 18b (con el medio de cultivo 6 drenado sólo de esta parte) sin perturbar el funcionamiento del resto del elemento reactor 2. También es posible un sellado rápido en caso de rotura del vidrio del par, con lo que se reduce significativamente la fuga del medio de cultivo. De esta manera se simplifica considerablemente el mantenimiento del fotobiorreactor, especialmente en grandes criaderos con decenas o cientos de los pares mencionados.

15 La Fig. 3 muestra en detalle la función de sellado y limpieza del dispositivo de mantenimiento 4 para un par de tubos ascendentes y tubos bajantes 18a y 18b interconectados, que está conectado al tubo 3 a través de las conexiones 17. El dispositivo de mantenimiento 4 tiene dos módulos 37a y 37b esencialmente idénticos pero orientados de manera opuesta, que están conectados entre sí a través del acoplamiento 38. Los módulos 37a y 37b están equipados cada uno de ellos con un dispositivo 28 para sellar las conexiones del tubo 3. Este dispositivo 28 está diseñado como un anillo de sellado en donde se puede introducir gas (por ejemplo, aire) o líquido (preferiblemente agua dulce del depósito externo 16 para mantener limpio el interior del anillo de sellado) para expandir el anillo de sellado y de este modo se cierra la conexión 17. Si es necesario (por ejemplo, debido a daños), el par de tubo ascendente y tubo bajante 18a y 18b puede ser reemplazado ahora sin perturbar el flujo del medio de cultivo 6 en el tubo 3.

20 Para limpiar el par de tubo ascendente y tubo bajante 18a y 18b, se bombea una bola elástica 29 recubierta de silicona desde una cámara en el módulo 37b al interior del tubo ascendente 18a. Manteniendo la presión de la bomba, la bola 29 atraviesa todo el tubo ascendente 18a, el conector a el tubo bajante 18b y es recogida nuevamente por una cámara idéntica en el módulo 37a, eliminándose los depósitos de las paredes interiores del tubo ascendente y del tubo bajante y del conector. Luego se puede arrastrar el dispositivo de mantenimiento al siguiente par de tubos ascendentes y bajantes 18a y 18b, respectivamente, donde se repite el proceso de sellado y limpieza descrito (pero con la dirección de bombeo invertida, ya que la bola 29 está ahora en la cámara del módulo 37a) - alternativamente, la bola 29 todavía puede ser bombeada de regreso a la cámara del módulo 37b en el par anterior de tubo ascendente y de tubo bajante 18a y 18b antes de que el dispositivo de mantenimiento sea arrastrado al siguiente par).

25 La Fig. 4 muestra esquemáticamente el fotobiorreactor 1 con el dispositivo de mantenimiento 4 en la estación 25, a la que se puede acceder directamente desde el tubo 3. Esta estación 25 simplifica la extracción o reinserción del dispositivo de mantenimiento 4. La estación 25 puede tener un nivel más alto que el tubo 3 para que el medio de cultivo en el mismo no fluya hacia la estación 25. Si se pretende que durante el funcionamiento el tubo 3 sólo se llene hasta la mitad de su altura, por ejemplo, también es imaginable que la estación 25 tenga el mismo nivel que el tubo 3 (sea, por así decirlo, una prolongación del tubo 3). Además, la estación 25 tiene una tapa estéril y una tapa divisible, lo que garantiza que el dispositivo de mantenimiento 4 pueda retirarse y el tubo 3 pueda cerrarse. La figura 5 muestra una realización preferida del dispositivo de mantenimiento 4 acorde con la invención, con los módulos 37a-37d. A los módulos 37a y 37d están fijados elementos 39, cada uno con tres filas de escobillas 14 de caucho de silicona. Como se puede ver también en las figuras 6A y 6B, estas tres filas pueden girar entre sí y no cubren toda la sección transversal del tubo, de modo que el flujo todavía puede circular alrededor del dispositivo de mantenimiento 4. En los módulos 37a y 37d también está prevista una boquilla pulverizadora 12 para limpiar la superficie interior del tubo del fotobiorreactor. El elemento 39 tiene una boquilla pulverizadora 12a que está dirigida hacia las escobillas limpiadoras 14. El extremo distal del elemento 39 sirve para anclar el cable del sistema de accionamiento 5 con el torno de cable 22. Dado que el conducto con el líquido de limpieza está previsto en el cable, en el extremo mencionado también se encuentra la conexión 26 para un conducto con el líquido de limpieza.

30 Con este dispositivo de mantenimiento 4 al pasarlo a través del tubo, se puede limpiar simultáneamente toda la sección transversal de un tubo de fotobiorreactor (áreas en contacto con el espacio de gas encima del medio de cultivo - con cualquier microorganismo depositado, áreas en contacto con la interfaz entre el espacio de gas y el medio de cultivo y áreas en contacto con medio de cultivo (con eventuales biopelículas).

35 Los módulos 37a y 37b son esencialmente idénticos en construcción, pero orientados en direcciones opuestas. Cada uno de ellos está equipado con válvulas de solenoide 33 y un dispositivo 28 para sellar las conexiones de los tubos. Conectada al dispositivo 28 está la cámara 35, en donde se almacena un instrumento de limpieza liberable 29, tal como una esponja, que puede bombearse a otros tubos conectados al tubo. El módulo 37c contiene una bomba de membrana 32 y otras electroválvulas 33. Finalmente, el módulo 37d aloja la electrónica de control. La Figura 7 también ilustra que todos los módulos mencionados pueden circular por el medio de cultivo.

La Fig. 6a muestra una vista en perspectiva de la realización que se acaba de describir del dispositivo de mantenimiento 4. La figura 6b también muestra dónde el instrumento de limpieza 29 se libera del módulo 37a y es recogido nuevamente por el módulo 37b esencialmente idéntico. La Fig. 6c muestra cómo tiene lugar este proceso en el tubo 3.

5 La Fig. 7 muestra secciones transversales ejemplares de los módulos 37' y 37" del dispositivo de mantenimiento en el tubo 3. El módulo 37' está en contacto con el tubo 3 a través de una superficie 40 hecha de caucho de silicona, que cuando se mueve el dispositivo de mantenimiento tiene un efecto de limpieza adicional. A través de las secciones transversales mostradas se garantiza que el medio de cultivo con los microorganismos contenidos en el tubo 3 pueda fluir prácticamente sin perturbaciones alrededor de los módulos 37' o 37".

10 El funcionamiento de formas de realización especialmente preferidas del fotobiorreactor acorde con la invención se ilustra con más detalle mediante los siguientes ejemplos de realización:

La Fig. 8 muestra un fotobiorreactor 1 para cultivar microorganismos fototróficos, con dos elementos de reactor 2, cada uno de los cuales tiene una pluralidad de tubos ascendentes 18a rectos verticales y tubos de bajada 18b para el medio de cultivo 6 y un tubo 3 que es horizontal, recto y está diseñado como tubería de distribución. El medio de cultivo 6 es un medio de cultivo líquido a base de agua y enriquecido con nutrientes; contiene microorganismos fototróficos (generalmente microalgas). El tubo 3 y los tubos ascendentes o los tubos bajantes 18a y 18b están hechos de vidrio, estando provistos los tubos 3 de conexiones 17 diseñadas como extensiones de conexión (véanse también las figuras 11A y 11B). Los tubos ascendentes 18a y los tubos bajantes 18b están conectados respectivamente de forma permeable a los líquidos en su extremo superior 19 con ayuda de las uniones de tubo 51 con las conexiones 17, configuradas como prolongaciones de conexión del tubo 3 configurado como tubería de distribución. Los tubos ascendentes 18a y los tubos bajantes 18b están conectados además entre sí de forma permeable a los líquidos mediante una pieza de conexión 20 en forma de U (ver también la figura 10).

El fotobiorreactor 1 también presenta además un dispositivo 7 para gasificar el medio de cultivo con una mezcla de gases que contiene dióxido de carbono ("gas"), en donde el gas es introducido en los tubos ascendentes 18a o en los tubos bajantes 18b. Está prevista una entrada 114a para gasificar a través del dispositivo 7 para el tubo ascendente 18a conectado al tubo bajante 18b mediante la pieza de conexión 20. Está prevista una entrada adicional 114b para gasificar a través del dispositivo 7 para el tubo bajante 18b conectado al tubo ascendente 18a mediante la pieza de conexión 20. El dióxido de carbono se introduce desde un tanque de líquido a una tubería de distribución de gas. Las conexiones del tubo de distribución de gas están conectadas mediante mangueras a cada entrada 114a o 114b. Con la previsión de una abertura de la entrada 114a, que es más permeable que la abertura de la entrada 114b, o mediante diferentes presiones de gas en 2 tubos de distribución de gas separados, se hace posible una mayor gasificación de los tubos ascendentes 18a en comparación con los tubos bajantes 18b. Esto da como resultado un flujo serpenteante del medio de cultivo 6 (hacia arriba en los tubos ascendentes 18a, hacia abajo en los tubos bajantes 18b; véanse también las flechas discontinuas en la Fig. 9), aunque en las respectivas piezas de conexión 20 de los tubos ascendentes 18a y bajantes 18b no hay piezas de conexión en forma de U, sino que el tubo 3 está diseñado como una tubería de distribución. Este flujo serpenteante se estabiliza además porque los dos elementos de reactor 2 están conectados entre sí de manera permeable a los líquidos a través de un tubo de bajada 18b del primer elemento de reactor 2 con un tubo ascendente 18b del segundo elemento de reactor 2 a través de una pieza de conexión 20 en forma de U, es decir, en pocas palabras, proporcionando un "espacio" entre los dos tubos 3 diseñados como tubos de distribución.

La entrada 52a y la salida 52b pueden conectarse entre sí, permitiendo así el funcionamiento cíclico del fotobiorreactor 1. Después de un cierto número de ciclos bajo iluminación, el medio de cultivo 6, que ahora contiene una concentración significativamente mayor de microorganismos, puede ser extraído en la salida 52b para su recolección (es decir, para la concentración y secado de los microorganismos fototróficos), mientras que en la entrada 52a se introduce un medio de cultivo fresco 6 con una baja concentración inicial de microorganismos fototróficos. Por supuesto, también es concebible un funcionamiento cíclico continuo, en donde la entrada 52a permanece conectada con la salida 52b mediante una manguera, y se suministra continuamente medio de cultivo fresco 6 en una entrada en una primera pieza de conexión 20 inferior, y en una salida en una segunda pieza de conexión 20 inferior, directamente delante de esta en la de flujo, se extrae continuamente la misma cantidad de medio de cultivo 6 más denso. Naturalmente, para ello se requiere una cierta longitud mínima del tramo de cría. Asimismo, si el fotobiorreactor 1 tiene una longitud mínima determinada, también es concebible un funcionamiento lineal continuo, en donde en la entrada 52a se introduce continuamente medio de cultivo fresco 6 con una concentración inicial baja de microorganismos fototróficos y la misma cantidad de medio de cultivo maduro 6 se retira continuamente para la recolección en la salida 52b. Sin embargo, también pueden estar previstas entradas en otros lugares del reactor (por ejemplo, en la pieza de conexión 20 arqueada en un U del primer/último tubo ascendente o tubo bajante 18a o 18b, pero también en otra pieza de conexión 20 arqueada en U en el fotobiorreactor).

El medio de cultivo 6 que fluye en meandros con los microorganismos fototróficos se encuentra tan arriba en los elementos del reactor 2 que los tubos 3 configurados como tubos de distribución están llenos de él cada uno aproximadamente hasta la mitad. En el tubo 3 se encuentran, tanto medio de cultivo 6 como, encima del medio de cultivo 6, un espacio de gas 9 para recibir las burbujas de gas 8 que se elevan desde el medio de cultivo 6, en donde,

en el tubo 3, está dispuesta una interfaz 10 entre el medio de cultivo 6 y el espacio de gas 9. La igualación de la presión del gas con el entorno se realiza a través de una abertura 53, que está equipada con un sistema de filtrado para evitar la contaminación del medio de cultivo 6.

5 Las suciedades en la superficie interior del tubo 3 asociada con la interfaz 10 entre el medio de cultivo 6 y el espacio de gas 9 podrían compararse con la técnica anterior (que no proporciona la interfaz en una tubería de distribución, sino en lugares que son mucho más difícil de alcanzar (véase, por ejemplo, el documento US 2011/0027875 A1, en particular la parte inferior de la Fig. 1) y limpiarse con relativamente poco esfuerzo sacando brevemente de funcionamiento el fotobiorreactor 1, drenando el medio de cultivo 6 del tubo 3, retirando la placa de cubierta 54 del tubo 3 y la superficie interior del tubo 3 se limpia, por ejemplo, con un cepillo unido a una varilla telescópica. Sin embargo, el uso del dispositivo de mantenimiento 4 previsto acorde con la invención conduce a resultados mucho mejores, como se describe a continuación.

10 El dispositivo de mantenimiento 4 representado en la figura 9 en el fotobiorreactor 1, permite limpiar o mantener limpia durante el funcionamiento la superficie interior del tubo 3 configurado como tubo de distribución. Por ello, la barra guía 21 para el dispositivo de mantenimiento 4 está prevista en el tubo 3. El dispositivo de mantenimiento 13 está equipado con una boquilla pulverizadora 12 para pulverizar la superficie interior del tubo 3. El dispositivo de mantenimiento 4 tiene un elemento magnético y puede colocarse de modo que no pueda girar mediante la barra guía 21. El dispositivo de mantenimiento 4 puede ser rodeado por el flujo (para que el flujo serpenteante del medio de cultivo 6 no se altere significativamente) y puede ser utilizado a intervalos preestablecidos durante el funcionamiento en curso, lo que reduce significativamente el tiempo de inactividad del fotobiorreactor 1. Incluso si no se utiliza actualmente, el dispositivo de mantenimiento 4 puede permanecer en el tubo 3. Las flechas discontinuas ilustran la trayectoria del flujo en el elemento 2 del reactor.

15 La Fig. 13 muestra esquemáticamente una forma de realización del fotobiorreactor 1, en donde cada tubo 3 de un elemento de reactor 2, configurado como tubo distribuidor, está compuesto por secciones de vidrio 56 directamente unidas entre sí. Cada dos elementos del reactor 2 están sujetos por el marco metálico 55 mostrado en la Fig. 12.

25

**REIVINDICACIONES**

1. Un fotobiorreactor (1) para cultivar microorganismos fototróficos,

con un elemento reactor (2), que presenta un tubo (3), y con un dispositivo de mantenimiento (4) y un sistema de accionamiento (5) que puede mover el dispositivo de mantenimiento (4) en el tubo (3),

5 en donde el fotobiorreactor (1) está diseñado de tal manera que, en el estado operativo del fotobiorreactor (1), el tubo (3) es atravesado al menos parcialmente por un medio de cultivo líquido (6) con los microorganismos,

10 en donde el fotobiorreactor (1) está diseñado de manera que, en el estado operativo del fotobiorreactor (1), el dispositivo de mantenimiento (4) se puede insertar en el tubo (3) y puede ser movido por el sistema de accionamiento (5) al menos contra el flujo del medio de cultivo (6) en el tubo (3),

caracterizado por que el tubo (3) es un tubo distribuidor con al menos tres conexiones (17) para la entrada o salida de medio de cultivo (6), y el fotobiorreactor (1) está diseñado de tal manera que el dispositivo de mantenimiento (4) se puede mover a al menos una de las conexiones en el tubo (3) y puede sellarlas.

15 en donde el elemento reactor (2) tiene además una pluralidad de tubos ascendentes (18a) y tubos bajantes (18b) para el medio de cultivo líquido (6), en donde los tubos ascendentes (18a) y los tubos bajantes (18b) están conectados cada uno en sus extremos superiores (19) al tubo (3) configurado como tubo distribuidor, de forma permeable a los líquidos, estando unidos al menos uno de los tubos ascendentes (18a) y uno de los tubos bajantes (18b) además entre sí mediante una pieza de unión (20) de manera permeable a los líquidos, y

20 en donde el fotobiorreactor (1) está diseñado de tal manera que el dispositivo de mantenimiento (4) puede sellar la conexión (17) para el tubo bajante (18b) y la conexión (17) para el tubo ascendente (18a), los cuales están conectados adicionalmente entre sí por una pieza de conexión (20) de forma permeable a los líquidos.

2. Fotobiorreactor (1) acorde con la reivindicación 1, caracterizado por que el fotobiorreactor (1) presenta además medios (7) para gasificar el medio de cultivo, donde el fotobiorreactor (1) está diseñado de manera que, en el estado operativo del fotobiorreactor (1), el dispositivo de mantenimiento (4) en el tubo (3) se pone en contacto con burbujas de gas (8) presentes en el medio de cultivo (6).

3. Fotobiorreactor (1) acorde con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, caracterizado por que el fotobiorreactor (1) está diseñado de tal manera que, en el estado de funcionamiento, en el tubo (3) existen tanto el medio de cultivo (6), como un espacio de gas (9) encima del medio de cultivo, para recibir las burbujas de gas (8) que se elevan desde el medio de cultivo (6), en donde en el tubo (3) está dispuesta una interfaz (10) entre el medio de cultivo (6) y el espacio de gas (9), y el dispositivo de mantenimiento (4) está configurado al menos para limpiar la superficie interior (11a) del tubo (3) en contacto con el espacio de gas (9).

4. Fotobiorreactor (1) acorde con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que el dispositivo de mantenimiento (4) tiene una boquilla pulverizadora (12) para pulverizar la superficie interior (11) del tubo (3) con un líquido limpiador (13), preferiblemente en donde el dispositivo de mantenimiento (4) está dispuesto al menos para pulverizar una superficie interior (11a) del tubo (3) en contacto con dicho espacio de gas (9) a través de la boquilla pulverizadora (12).

5. Fotobiorreactor (1) acorde con la reivindicación 4, en donde la boquilla pulverizadora (12) está conectada a un depósito de líquido (16) fuera del tubo (3) a través de una tubería (15).

40 6. Fotobiorreactor (1) acorde con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que el dispositivo de mantenimiento (4) está configurado para limpiar el tubo bajante (18b) sellado por el dispositivo de mantenimiento (4) con respecto al tubo (3) y el tubo ascendente (18a) sellado por el dispositivo de mantenimiento (4) con respecto al tubo (3), que están unidos entre sí de forma permeable a los líquidos mediante una pieza de conexión (20).

45 7. Fotobiorreactor (1) acorde con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que el sistema de accionamiento (5) tiene al menos un torno de cable (22), que puede arrastrar un cable (23) guiado en el tubo (3) y conectado al dispositivo de mantenimiento (4), preferiblemente en donde el torno de cable (22) está equipado con medios (24) para desinfectar el cable (22).

8. Un método para cultivar microorganismos fototróficos en un fotobiorreactor.

50 en donde el fotobiorreactor (1) está equipado con un elemento reactor, que presenta un tubo (3), y con un dispositivo de mantenimiento (4) en el tubo (3) y un sistema de accionamiento que mueve el dispositivo de mantenimiento (4) en el tubo (3),

en donde el tubo (3) es atravesado al menos parcialmente por un medio de cultivo (6) líquido con los microorganismos,

5 en donde el método comprende el uso del dispositivo de mantenimiento (4) en el tubo (3) en el estado operativo del fotobiorreactor (1), y el dispositivo de mantenimiento (4) es movido por el sistema de accionamiento (5) al menos contra el flujo del medio de cultivo (6) en el tubo (3),

en donde el fotobiorreactor (1) se define además acorde con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

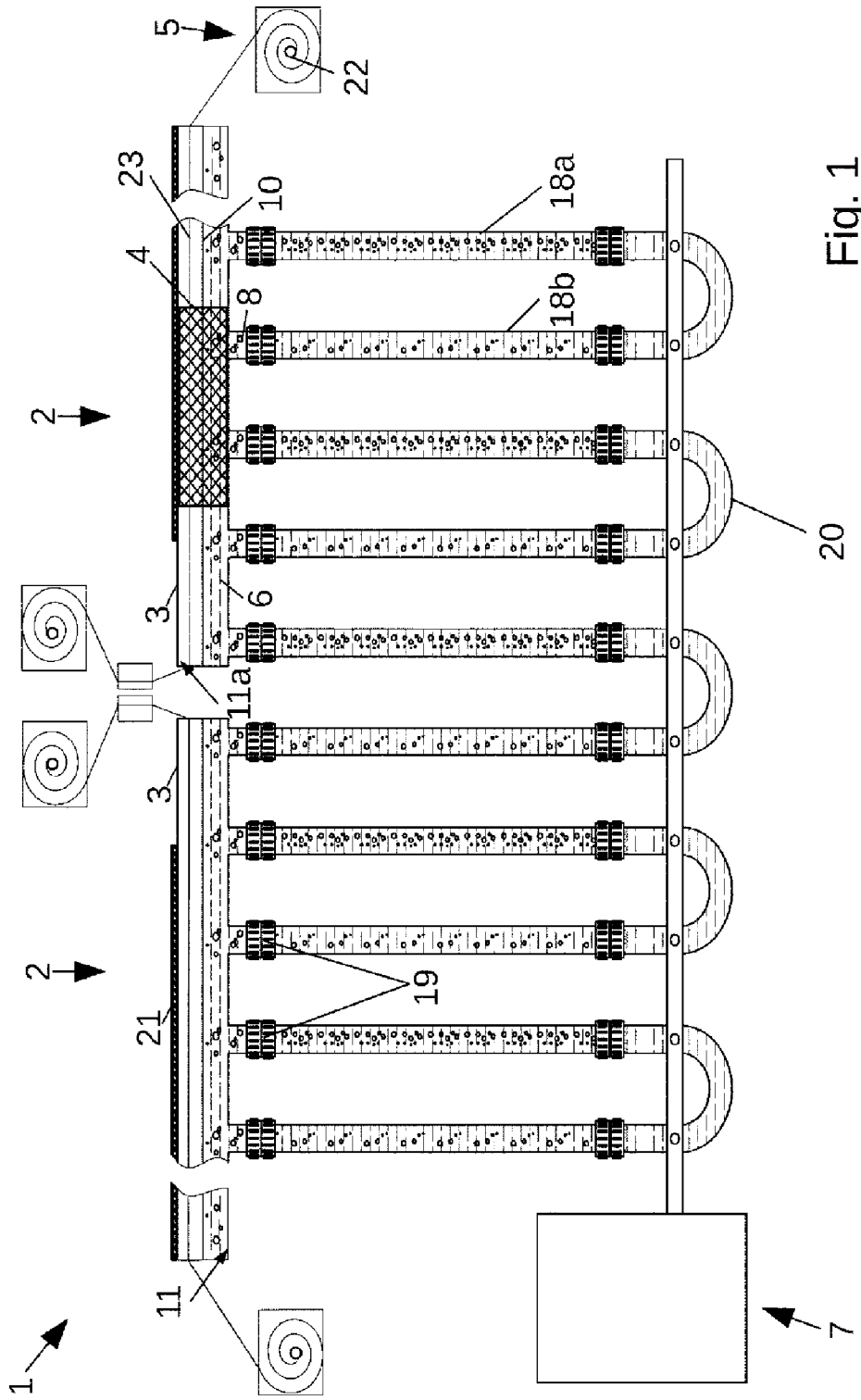


Fig. 1

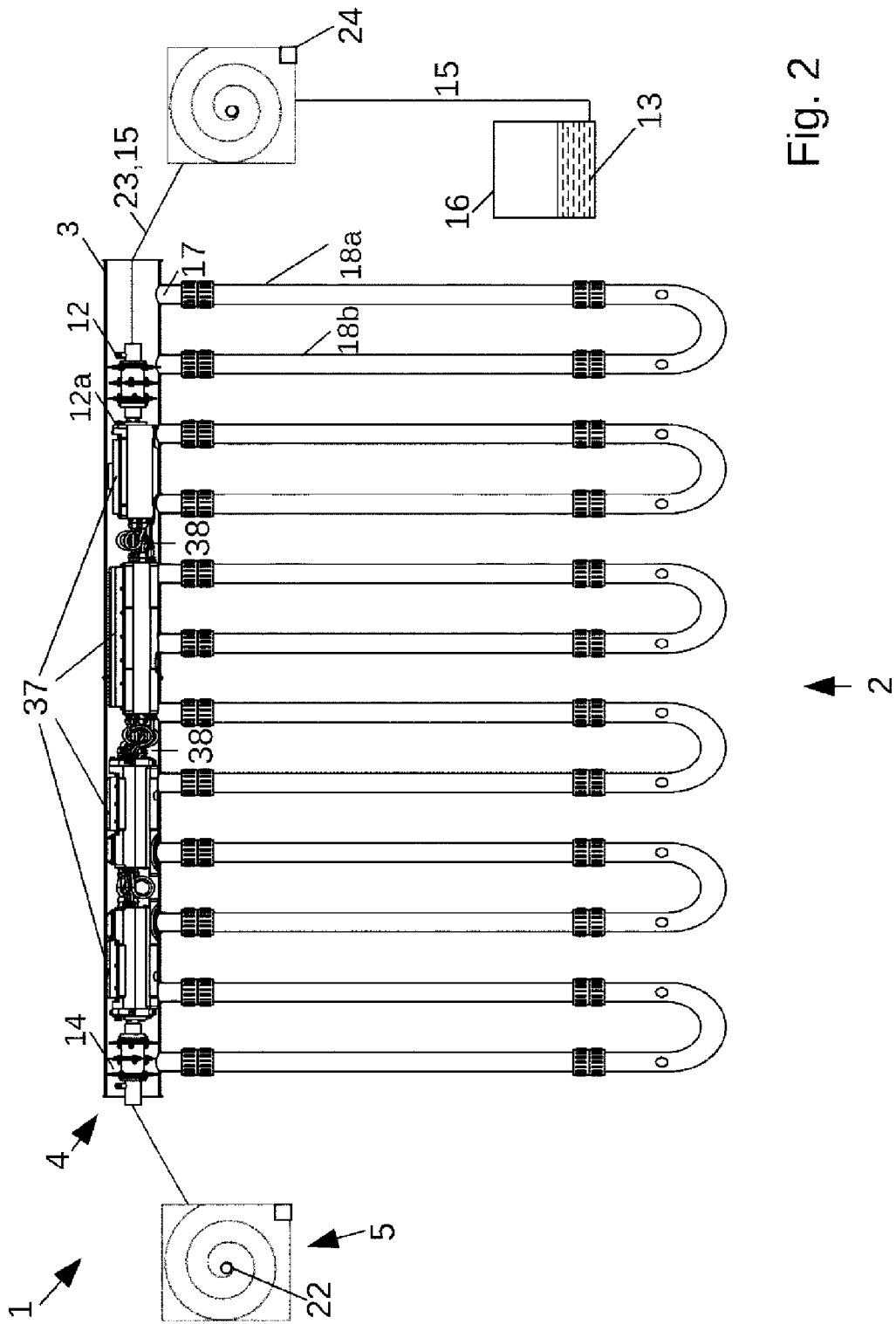


Fig. 2

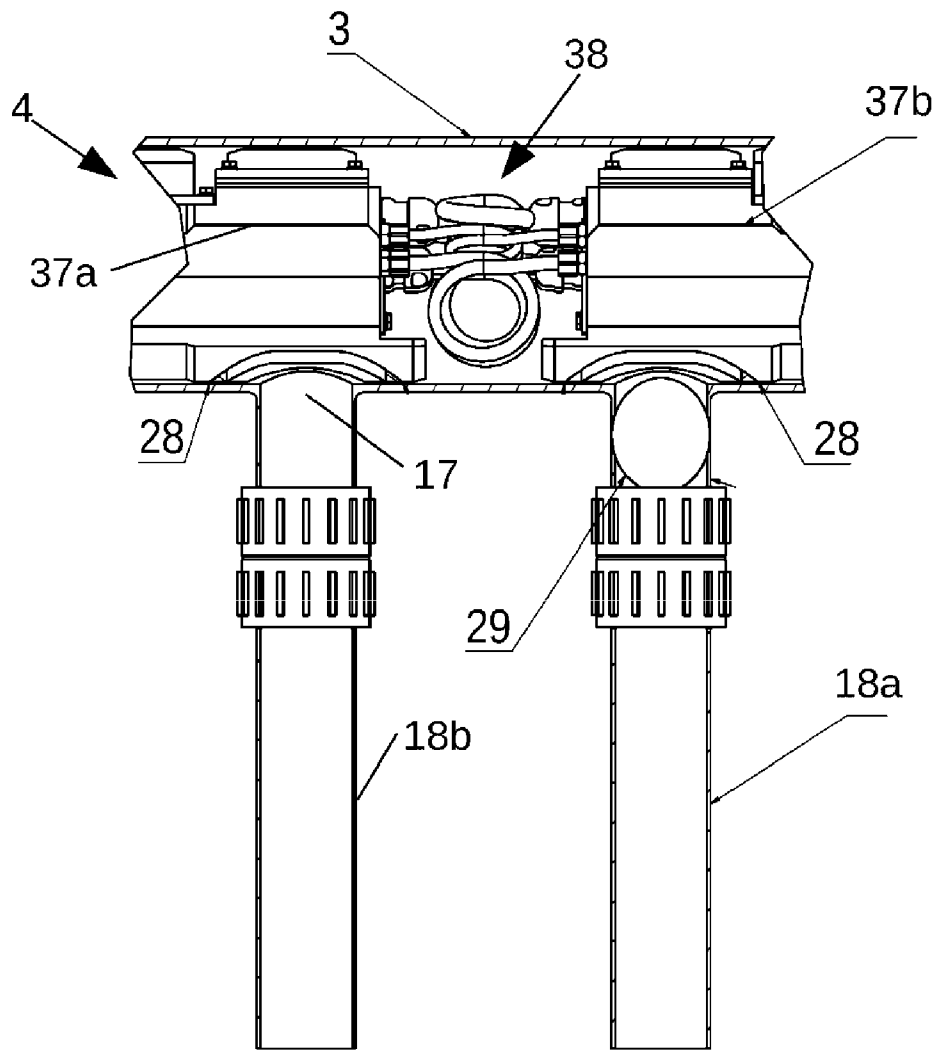


Fig. 3

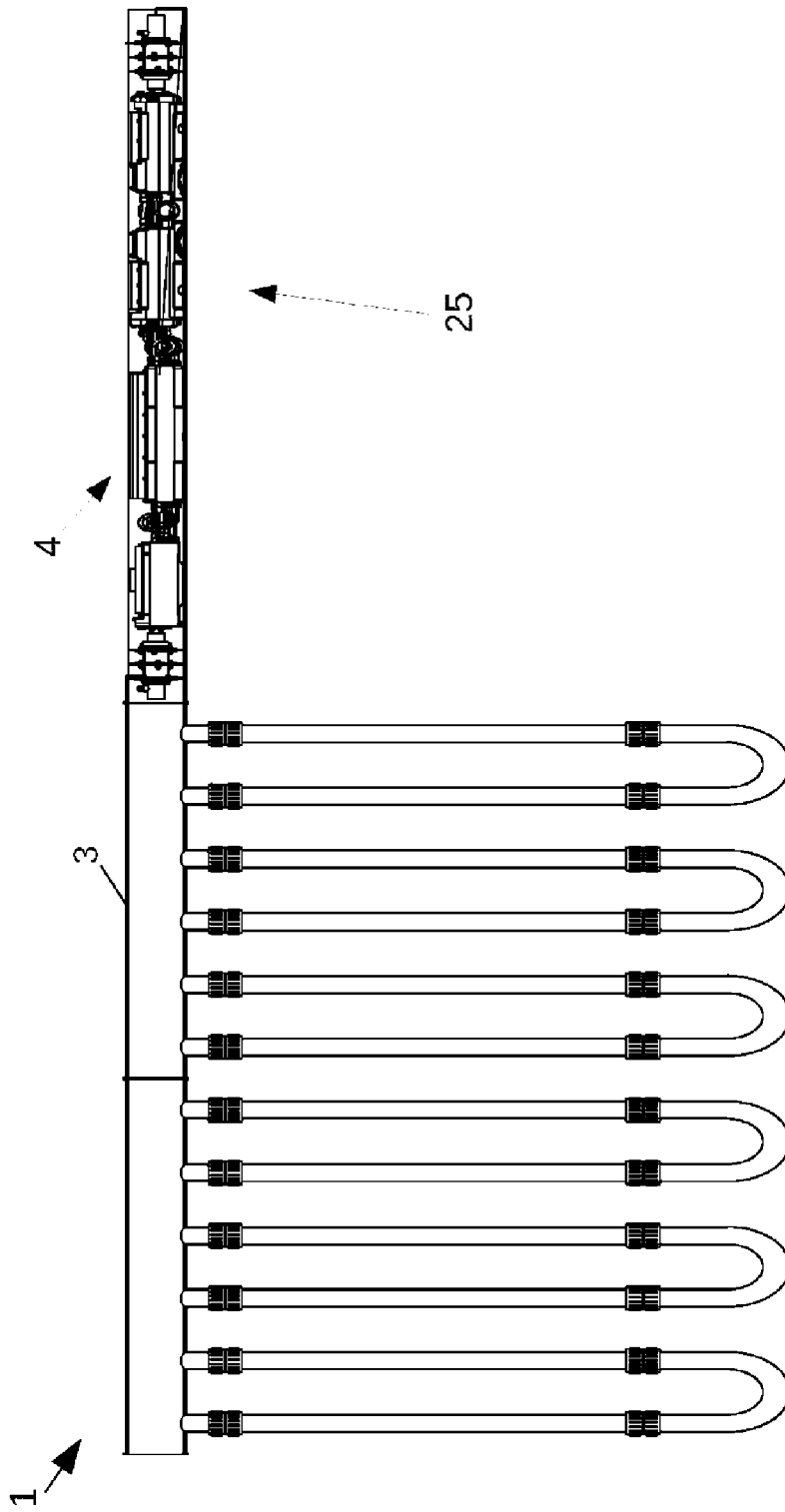


Fig. 4

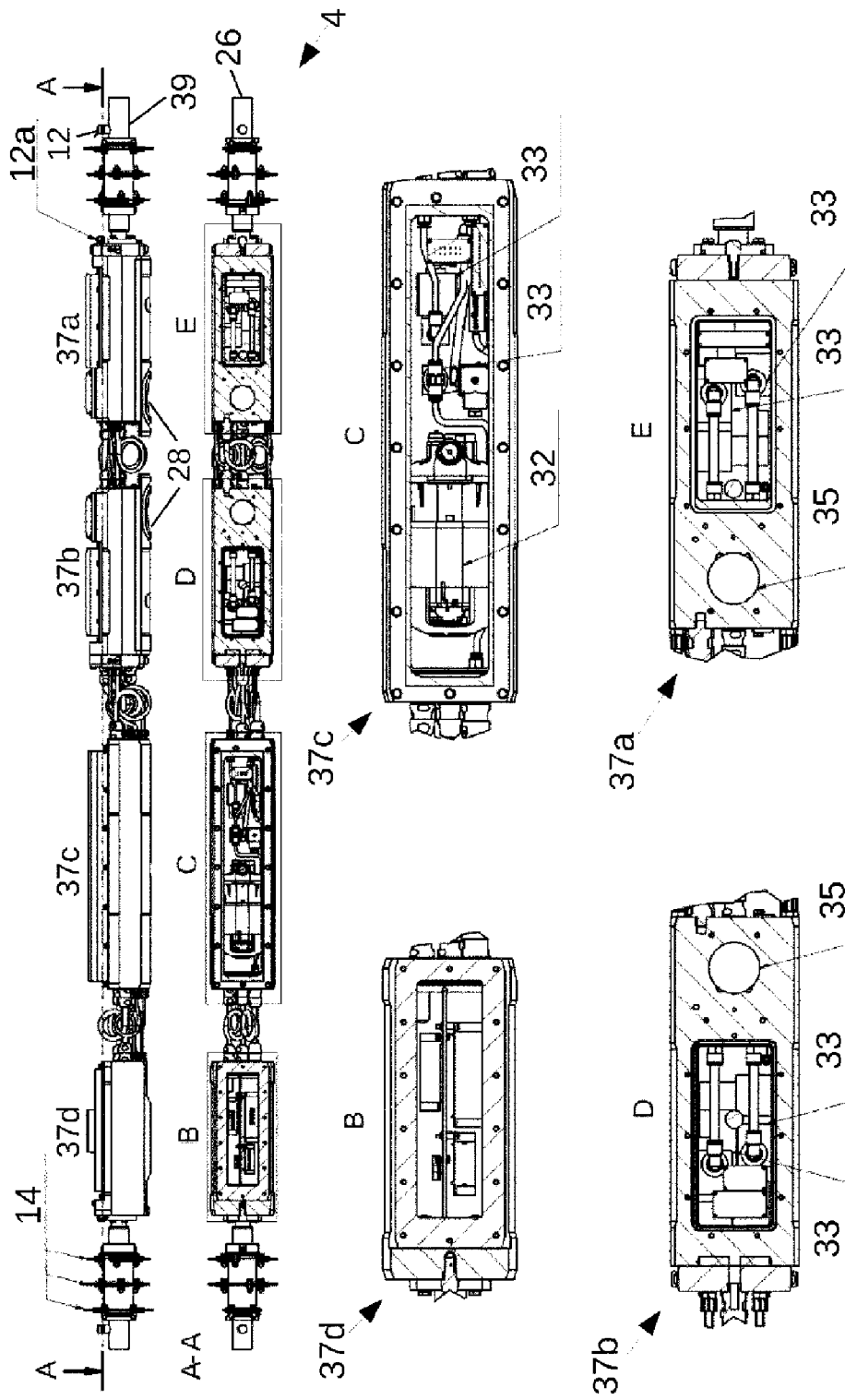


Fig. 5

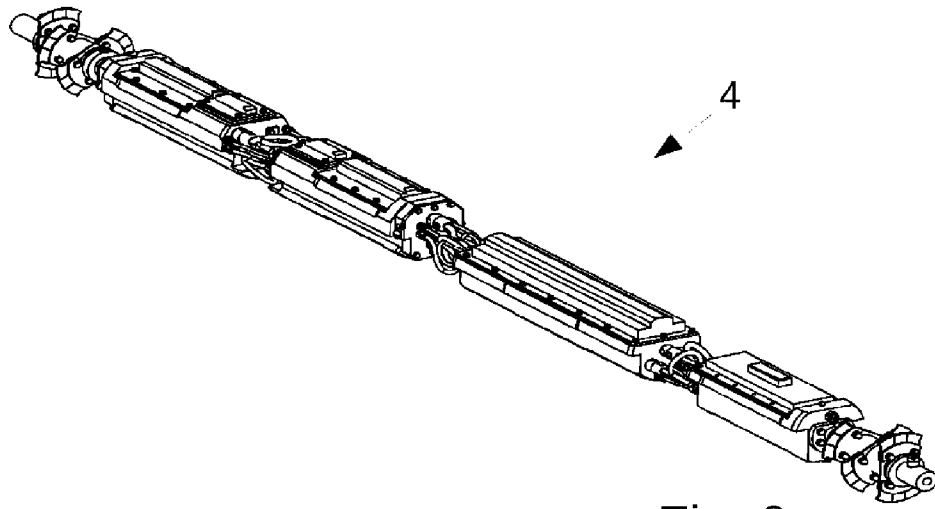


Fig. 6a

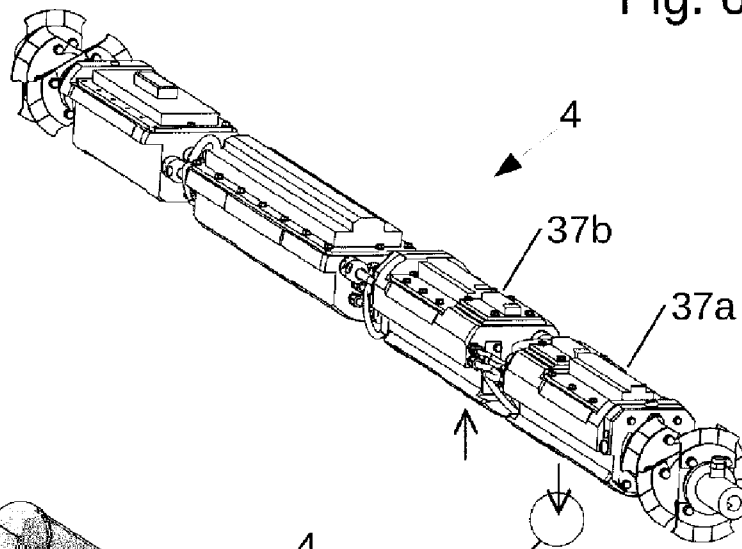


Fig. 6b

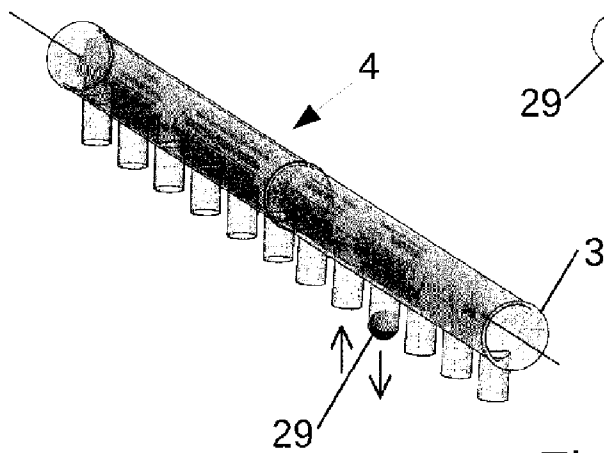


Fig. 6c



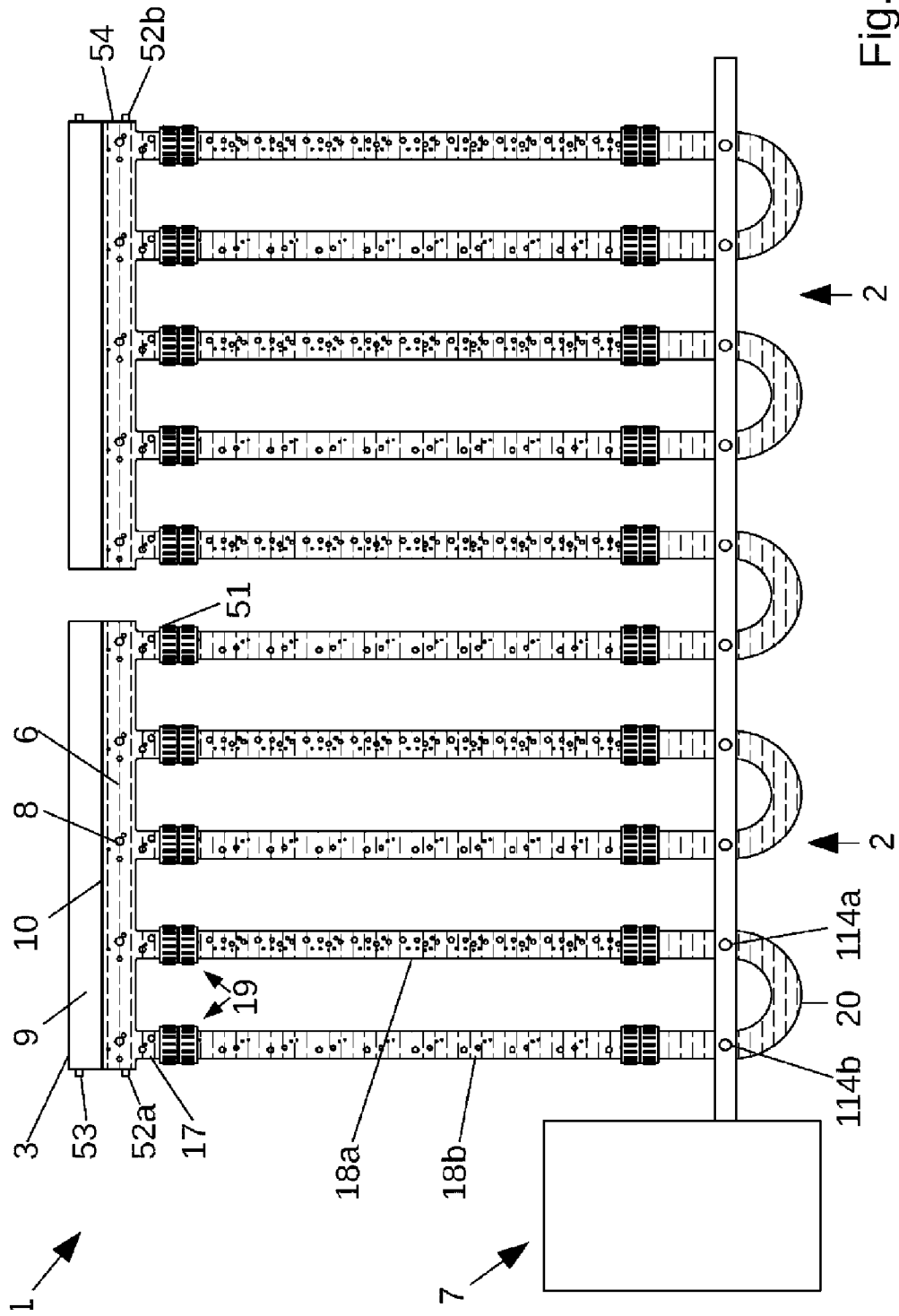


Fig. 8

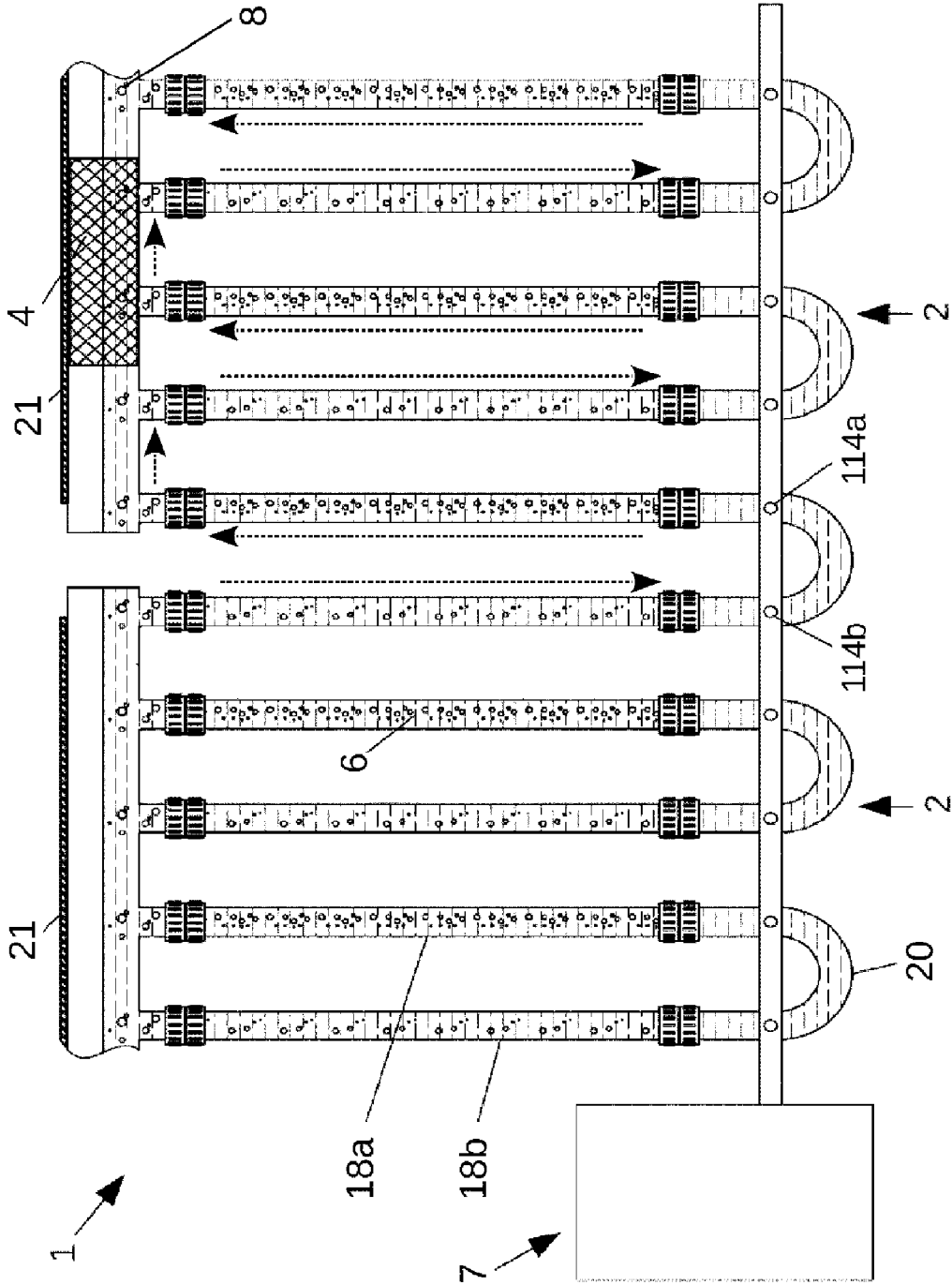
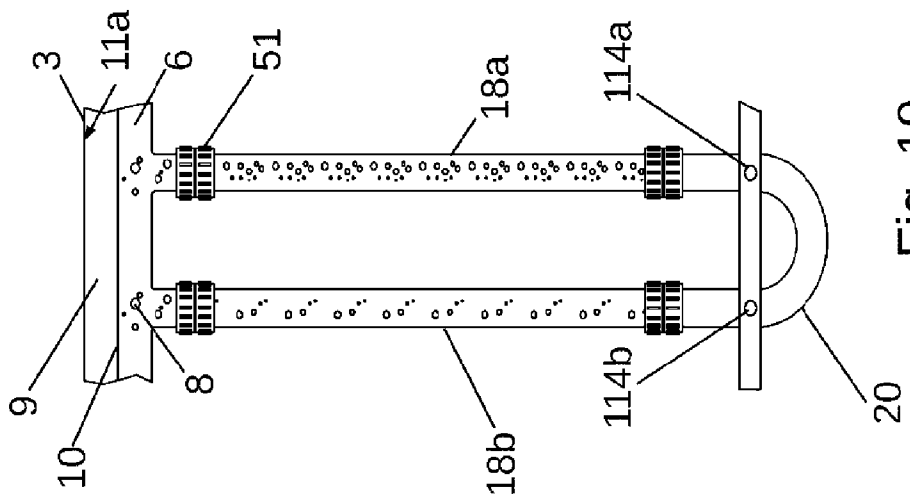
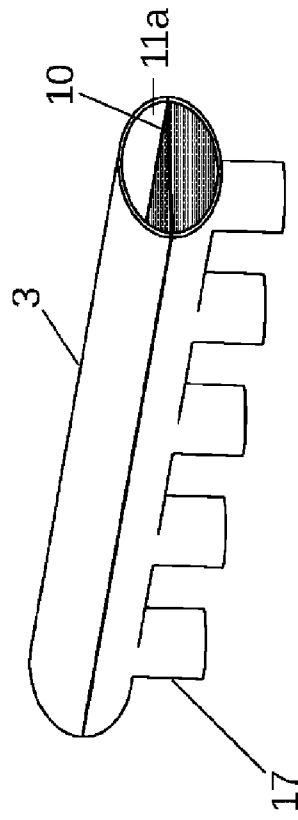
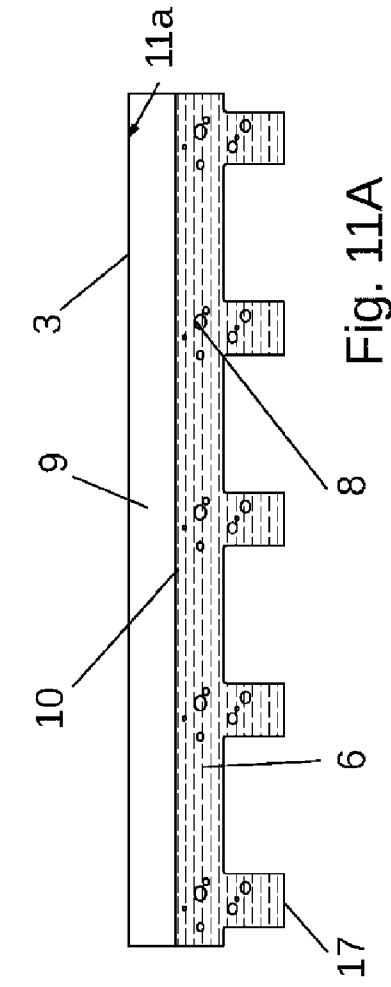


Fig. 9



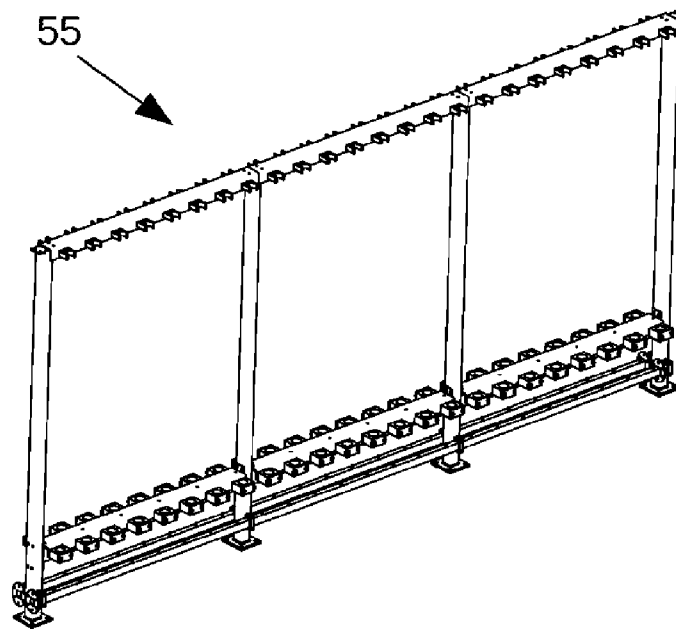


Fig. 12

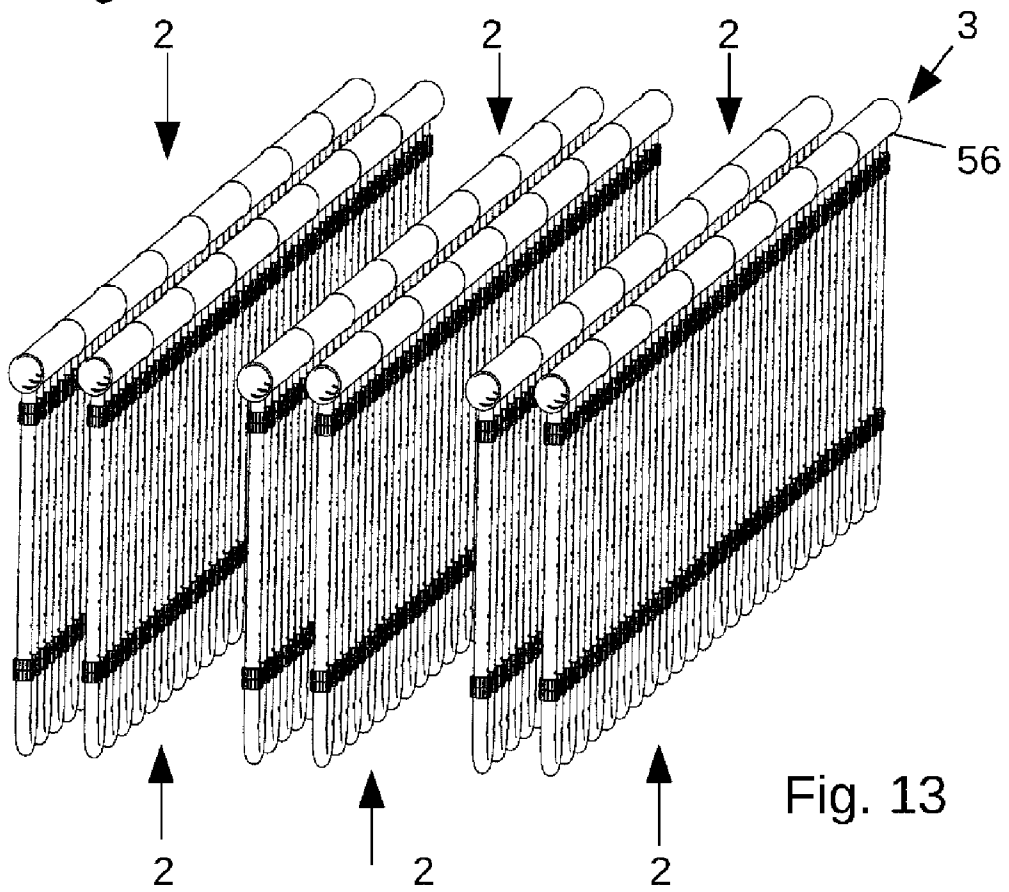


Fig. 13