

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 884 099**

51 Int. Cl.:

B01D 63/02 (2006.01)

C02F 3/10 (2006.01)

C02F 3/12 (2006.01)

C02F 3/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.02.2018 PCT/EP2018/054181**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.08.2018 WO18150055**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.02.2018 E 18709946 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.05.2021 EP 3582883**

54 Título: **Sistema de contención para usarse con un módulo de membrana de un reactor de biopelícula aireada por membrana y que comprende un sistema de mezcla de elevación de aire de baja presión**

30 Prioridad:

20.02.2017 US 201762461139 P
20.02.2017 EP 17156862

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.12.2021

73 Titular/es:

OXYMEM LIMITED (100.0%)
Blyry Business and Commercial Park
Athlone, Co. Westmeath N37 CK06, IE

72 Inventor/es:

SYRON, EOIN;
LYNCH, DONAL;
HEFFERNAN, BARRY;
BYRNE, WAYNE y
SEMMENS, MIKE

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 884 099 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

Sistema de contención para usarse con un módulo de membrana de un reactor de biopelícula aireada por membrana y que comprende un sistema de mezcla de elevación de aire de baja presión

Campo de la invención

La invención se refiere a un sistema de mezcla de elevación de aire de baja presión para su uso con un módulo de aireación de membrana en reactores de biopelícula soportada por membrana, que se usan para tratar agua o aguas residuales. Específicamente, la invención se refiere a un sistema de contención para su uso con un módulo de membrana en reactores de biopelícula soportada por membrana que comprenden un sistema de mezcla de elevación de aire de baja presión para fomentar un buen flujo de líquido a través del módulo de membrana cuando los módulos se instalan en un biorreactor o depósito.

Antecedentes de la invención

Antecedentes de la invención

Los reactores de biopelícula soportada por membrana (MSBR) son biorreactores en los que puede suministrarse oxígeno (u otros gases) a agua o a aguas residuales o a una biopelícula unida a través de membranas sumergidas y permeables al gas. Las membranas pueden ser fibras huecas, planas o enrolladas en espiral, y las membranas pueden estar realizadas de un material poroso hidrófobo o, alternativamente, de material denso permeable al gas (por ejemplo, polidimetilsiloxano (PDMS), polimetilpenteno (PMP)). Las membranas están conectadas en un extremo a un suministro de gas y el otro extremo puede o bien cerrarse o abrirse para permitir el escape del gas usado. Las membranas pueden disponerse en matrices o casetes que luego pueden conectarse adicionalmente para formar módulos. Cuando el gas suministrado a la membrana es oxígeno en forma de aire, aire enriquecido con oxígeno u oxígeno puro, el reactor se conoce más comúnmente como reactor de biopelícula aireada por membrana (MABR). El oxígeno puede suministrarse a un lado de la membrana, lo que entonces permite que el oxígeno se difunda a través de la membrana y se disuelva en el agua en el otro lado, la capa límite de agua sobre la superficie de la membrana o se difunda directamente en una biopelícula que crece unida a la membrana. Si el oxígeno no se consume en la biopelícula, puede seguir difundiéndose en el agua alrededor de la biopelícula. El flujo de oxígeno en toda la membrana es proporcional al gradiente de concentración de oxígeno a través de la membrana, de modo que puede lograrse un flujo elevado operando con altas presiones parciales de oxígeno dentro de la membrana y concentraciones de oxígeno disuelto muy bajas en la superficie exterior de la membrana. Pueden suministrarse otros gases de la misma manera que el oxígeno y comportarse de la misma manera.

La superficie rica en oxígeno de las membranas, que está en contacto con aguas residuales que contienen contaminantes orgánicos e inorgánicos biodegradables, proporciona un entorno ideal para el crecimiento bacteriano. Las bacterias que crecen ahí reciben el oxígeno que necesitan a través de difusión a través de la membrana y los sustratos que necesitan a través de difusión por parte de las aguas residuales circundantes. Como resultado, las bacterias colonizan naturalmente la superficie de las membranas permeables a los gases y se forma una biopelícula en el lado líquido de la membrana.

La actividad de esta biopelícula en el lado líquido de la membrana tiene una profunda influencia en el flujo de oxígeno a través de la membrana, ya que las bacterias consumen oxígeno e influyen en el gradiente de concentración a lo largo de la pared de la membrana. Dado que las bacterias de la biopelícula requieren tanto nutrientes (sustrato) por parte de las aguas residuales como oxígeno por parte de la membrana, la actividad de las bacterias es mayor cuando tanto la concentración de oxígeno disuelto como la concentración de sustrato son elevadas. La actividad de las bacterias puede limitarse o bien limitando el suministro de oxígeno, que se controla por la tasa de difusión de oxígeno a través de la membrana, o limitando el suministro de sustratos disueltos, que se ve influenciado por la concentración de sustrato en las aguas residuales y la velocidad de las aguas residuales sobre las membranas. El grosor de la biopelícula y la actividad biológica dentro de la biopelícula controlan tanto la transferencia de flujo de oxígeno a través de la pared de la membrana como la tasa de oxidación del sustrato. A medida que se desarrollan biopelículas más gruesas, pueden formarse capas aeróbicas, anóxicas y anaeróbicas, y las bacterias que crecen en estas regiones de la biopelícula pueden eliminar los contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos (por ejemplo, DBO y contaminantes a base de nitrógeno).

Para lograr altas tasas de transferencia de oxígeno y altas tasas de eliminación de sustrato en un MABR, es necesario garantizar que tanto el suministro de oxígeno a las membranas como de sustrato a la biopelícula se controla adecuadamente y que no se permita que la biopelícula se vuelva demasiado gruesa, una corrosión frecuente de la superficie de biopelícula para retirar las capas exteriores se usa habitualmente para controlar el grosor de la biopelícula. La corrosión puede variar en frecuencia y duración con el fin de retirar una cantidad suficiente de biopelícula para garantizar un buen rendimiento. Las condiciones de mezcla hidráulica proporcionadas en el biorreactor deben garantizar que el sustrato se suministra de manera eficaz al exterior de la biopelícula.

Pueden suministrarse otros gases y mezclas de gases, que incluyen, pero no se limitan a, hidrógeno, metano y

dióxido de carbono a través de membranas permeables al gas, de la misma manera que el oxígeno. La tasa de transferencia de estos gases en un MSBR se controla por los mismos factores que controlan la transferencia de oxígeno en un MABR. La presencia de una biopelícula, su grosor y las concentraciones químicas locales de las especies requeridas por las bacterias dentro de la biopelícula para su crecimiento afectarán al rendimiento del procedimiento.

Las bombas de elevación de aire se han usado en muchas aplicaciones para bombear agua de una ubicación a otra cuando la diferencia de presión es baja. Aplicaciones a modo de ejemplo incluyen la acuicultura, en la que las bombas de elevación de aire se usan a menudo para mover agua de un depósito a otro.

La técnica anterior relevante incluye la publicación de patente estadounidenses n.º 2007/0182033, que describe un generador de burbujas en la parte inferior de una columna vertical, que cuando se sumerge en un depósito lleno de agua puede fomentar una buena mezcla en todo el depósito. El diseño del sifón invertido, que se incorpora al generador de burbujas en la base de la columna, generará una liberación intermitente de burbujas grandes. La publicación de patente estadounidense n.º 2016/0009578 incorpora una funda compartimentada con sifones invertidos para airear un MABR, teniendo un aireador un suministro de aire separado de las membranas. La publicación de patente internacional n.º WO 2016/209235 se refiere al despliegue de módulos de membrana flotantes. Las reivindicaciones señalan que las fibras deben presurizarse a una presión que es superior a la presión hidrostática en la base de los módulos. La solicitud de patente alemana n.º 100 04 863 describe un sistema de contención que comprende una pluralidad de paneles usados para contener un módulo de aireación de membrana que tiene membranas de fibra hueca y que induce aire debajo de las membranas para crear un sistema de elevación de aire. Este flujo ascendente continuo alrededor de las membranas es necesario para garantizar que las membranas estén siempre verticales, ya que las membranas solo están unidas a un colector en un extremo (inferior). El documento EP 2361367 describe un método de medición del grosor de una capa de biopelícula formada en una membrana de un MABR. El documento internacional WO 2015/132291 describe un sistema de contención para su uso con un módulo de membrana del tipo que tiene un espacio vacío superior y un espacio vacío inferior separados por una serie de membranas permeables al gas. El sistema de contención comprende un alojamiento y parece que este alojamiento está formado por una pluralidad de paneles configurados para formar un módulo de membrana contenido. El sistema de contención también comprende un sistema de mezcla de elevación de aire que comprende un canal de elevación de aire y configurado para transportar líquido. El documento DE 10 2011 122695 describe bombas de elevación de aire dentro de un sistema contenido.

Un objeto de la presente invención es superar al menos uno de los problemas mencionados anteriormente.

Compendio de la invención

En el MABR, la biopelícula se inmoviliza naturalmente en una membrana permeable al oxígeno. El oxígeno se difunde a través de la membrana al interior de la biopelícula, donde se produce la oxidación de contaminantes, suministrados en la superficie de contacto de biopelícula-líquido. La tasa de suministro de oxígeno se controla mediante la presión parcial de oxígeno intramembrana (un parámetro de procedimiento) y el área de superficie de la membrana (un parámetro de diseño). Sin embargo, en los procedimientos de tratamiento de aguas residuales convencionales, el oxígeno se proporciona mediante el bombeo de aire hacia la parte inferior de un depósito de tratamiento de aguas residuales. Entonces, el aire entra en el líquido a través de difusores formando burbujas que se elevan a través de las aguas residuales, transfiriendo el oxígeno a las aguas residuales y también proporcionan la mezcla en el depósito de tratamiento. Dado que en el MABR no se bombea aire para crear burbujas que proporcionan suficiente mezcla, el mantenimiento de altas tasas de rendimiento durante ensayos a largo plazo ha demostrado ser muy difícil.

Para garantizar que el MABR se convierta en una tecnología más eficaz para el tratamiento de aguas residuales, existe una necesidad fundamental de garantizar que el reactor esté bien mezclado y que exista un contacto eficaz entre la mayor parte de la biopelícula de degradación de contaminantes adherida a la membrana y las aguas residuales ricas en contaminantes que van a tratarse. Los solicitantes han proporcionado una solución para mezclar suficientemente el fluido de aguas residuales en un alojamiento o depósito de tratamiento de MABR al tiempo que se mantienen unos bajos requerimientos energéticos para mezclar el líquido en el alojamiento de tratamiento de MABR.

La invención se define en relación con un sistema de contención para su uso con un módulo de membrana en reactores de biopelícula soportada por membrana, comprendiendo el sistema de contención un sistema de mezcla de elevación de aire de baja presión y definiéndose en la reivindicación 1. Las realizaciones preferidas se definen en las reivindicaciones dependientes. La presente divulgación describe además diversos sistemas, que incluyen diversos sistemas de contención, que son relevantes para comprender la invención, pero que pueden encontrarse fuera del alcance de la invención.

En un caso, se describe un elemento de contención para su uso con un reactor de biopelícula aireada por membrana (MABR) del tipo que comprende un alojamiento que tiene espacios vacíos superior e inferior; una serie de membranas de fibra hueca permeables al gas dispuestas en casetes dispuestos dentro del alojamiento y que

se extienden desde el espacio vacío superior hasta el espacio vacío inferior, que incorpora un sistema de mezcla de elevación de aire de baja presión reversible para fomentar un flujo vertical de aguas residuales sobre las membranas.

5 En un caso, se describe un elemento de contención para su uso con un reactor de biopelícula aireada por membrana (MABR) del tipo que comprende un alojamiento que tiene espacios vacíos superior e inferior; una serie de membranas de fibra hueca permeables al gas dispuestas en casetes, disponiéndose, además, los casetes en un módulo, dispuesto dentro del alojamiento y que se extiende desde el espacio vacío superior hasta el espacio vacío inferior, que incorpora un sistema de mezcla de elevación de aire de baja presión, reversible para fomentar
10 un flujo vertical de aguas residuales (líquido) sobre las membranas, en cuyo caso el flujo de líquido resultante sería paralelo a las membranas, o las membranas podrían estar dispuestas horizontalmente en el módulo, lo que da como resultado una configuración de flujo cruzado.

15 Un sistema de contención para su uso con un módulo de membrana del tipo que tiene espacios vacíos superior e inferior separados por una serie de casetes de membrana de fibra hueca permeables al gas, caracterizado porque el sistema de contención comprende un sistema de mezcla de elevación de aire configurado para transportar líquido o bien desde el interior del módulo de membrana al exterior del módulo de membrana o desde el exterior del módulo de membrana hasta el interior del módulo de membrana, y una pluralidad de paneles configurados para sellar el módulo de membrana para formar un módulo de membrana contenido.

20 Un sistema de contención para su uso con un módulo de membrana del tipo que tiene espacios vacíos superior e inferior separados por una serie de membranas de fibra hueca permeables al gas, caracterizado porque el sistema de contención comprende:

25 una pluralidad de paneles configurados para formar un módulo de membrana contenido; y

un sistema de mezcla de elevación de aire que comprende un canal de elevación de aire y un primer tubo de descenso, que están en comunicación fluida entre sí en su parte inferior, formando dos canales verticales de un tubo sustancialmente en forma de U, que está abierto en ambos extremos, y configurado para transportar líquido
30 o bien desde el interior del módulo de membrana al exterior del módulo de membrana o desde el exterior del módulo de membrana al interior del módulo de membrana;

en el que el elemento de contención está abierto en las partes superior e inferior y encerrado dentro del sistema de contención.

35 Un sistema de contención para su uso con un módulo de membrana del tipo que tiene espacios vacíos superior e inferior separados por una serie de casetes de membrana de fibra hueca permeables al gas, caracterizado porque el sistema de contención comprende un sistema de mezcla de elevación de aire configurado para transportar líquido o bien desde el interior del módulo de membrana al exterior del módulo de membrana o desde el exterior
40 del módulo de membrana al interior del módulo de membrana, y una pluralidad de paneles configurados para sellar el módulo de membrana para formar un módulo de membrana contenido, en el que el módulo de membrana está abierto en las partes inferior y superior del módulo, lo que da como resultado una comunicación directa de fluidos con el líquido debajo del módulo con los paneles que se extienden por encima de la superficie de líquido, de manera que el flujo de líquido que entra desde la parte inferior del módulo debe salir a través del sistema de mezcla de
45 elevación de aire, o que el flujo de líquido que entra en el módulo a través del sistema de mezcla de elevación de aire debe salir a través de la parte inferior abierta del módulo.

El sistema de contención comprende además un collar modular configurado para unirse al módulo de membrana contenido y extenderse verticalmente por encima de la superficie del líquido dentro del sistema. Esto aumenta la
50 altura del espacio vacío superior más allá de la superficie del líquido. Alternativamente, la pluralidad de paneles se extiende verticalmente por encima del espacio vacío superior y se extiende más allá de la superficie del líquido dentro del sistema.

El sistema de mezcla de elevación de aire comprende un canal de elevación de aire y un primer tubo de descenso. Preferiblemente, el primer tubo de descenso y el canal de elevación de aire están en comunicación fluida y son
55 adyacentes entre sí, formando dos canales verticales de un tubo sustancialmente en forma de U. A continuación, puede inyectarse gas en cada lado de este sistema de mezcla de elevación de aire creando un flujo ascendente en el canal de elevación de aire e induciendo un flujo descendente en el otro canal del tubo en forma de U (el primer tubo de descenso). De esta forma, se induce flujo desde un canal vertical del tubo en forma de U al otro canal vertical, adyacente.

60 El sistema de mezcla de elevación de aire contiene un tercer canal vertical, lo que proporciona al sistema de mezcla de elevación de aire una forma sustancialmente en W, en el que el tercer canal vertical es un segundo tubo de descenso y en el que uno de los canales verticales es el canal de elevación de aire, que está en comunicación fluida con los tubos de descenso primero y segundo.

El sistema de contención comprende además un canal de retorno vertical, en el que el canal de retorno vertical está en comunicación fluida con el canal vertical adyacente del tubo sustancialmente en forma de U o el tubo en forma de W.

5 Preferiblemente, el tubo sustancialmente en forma de U (y el tubo en forma de W) está abierto en ambos extremos, formando un extremo abierto del tubo sustancialmente en forma de U (o tubo en forma de W) distal al canal de retorno vertical un orificio con acceso al interior del módulo de membrana contenido. Formando el otro extremo abierto del tubo sustancialmente en forma de U (o tubos del tubo sustancialmente en forma de W) proximal al canal de retorno vertical un orificio con acceso al exterior del módulo de membrana contenido.

10 El canal de retorno vertical está en comunicación fluida o bien con el canal de elevación de aire o con los tubos de descenso primero y/o segundo y se extiende desde la parte superior del elemento de contención hasta la parte inferior del elemento de contención o hasta la parte superior del canal de retorno vertical del módulo directamente debajo. Preferiblemente, el canal de retorno vertical está abierto al entorno fuera del módulo de membrana contenido y configurado para proporcionar un canal continuo para suministrar líquido desde una ubicación dentro del depósito de retención, u otro depósito o compartimento de retención dentro de un sistema de tratamiento, o bien al tubo sustancialmente en forma de U o a otra ubicación en el depósito de retención.

15 El primer tubo de descenso se encuentra en comunicación fluida con líquido dentro del módulo de membrana contenido y el canal de elevación de aire se encuentra en comunicación fluida con líquido fuera del módulo de membrana contenido o el canal de retorno vertical.

20 El primer tubo de descenso y el segundo tubo de descenso se encuentran en comunicación fluida con el líquido dentro del módulo de membrana contenido y el canal de elevación de aire se encuentra en comunicación fluida con el líquido fuera del módulo de membrana contenido o el canal de retorno vertical.

25 Los tubos de descenso primero y/o segundo se encuentran en comunicación fluida con el líquido fuera del módulo de membrana contenido o el canal de retorno vertical y el canal de elevación de aire se encuentra en comunicación fluida con el líquido dentro del módulo de membrana contenido.

30 El canal de elevación de aire comprende además un orificio de inyección de aire configurado para aceptar y suministrar aire al interior del canal de elevación de aire de manera que cualquiera del canal vertical del sistema de mezcla de elevación de aire en forma de U o en forma de W pueda convertirse en el canal de elevación de aire e invertir la dirección del flujo de líquido vertical dentro del módulo de membrana contenido. Preferiblemente, el aire que se suministra al canal de elevación de aire proviene del aire de escape de las membranas, del aire complementario de una fuente externa o de ambos.

35 El tubo sustancialmente en forma de U comprende un orificio de inyección de aire en ambos lados del tubo, configurado para aceptar y suministrar aire al interior de cualquiera de los canales verticales del tubo sustancialmente en forma de U, de modo que cualquiera de los canales verticales del tubo sustancialmente en forma de U puede convertirse en el canal de elevación de aire, de manera que puede invertirse la dirección del flujo de líquido vertical dentro del módulo de membrana contenido. Preferiblemente, el aire que se suministra al canal de elevación de aire proviene del aire de escape de las membranas, del aire complementario de una fuente externa o de ambos.

40 El orificio de inyección de aire está configurado para liberar aire continuamente, de manera pulsada o periódica, o una combinación de ambas.

45 El orificio de inyección de aire está conectado a un sifón de aire configurado para permitir que el aire se acumule y se libere periódicamente al orificio de inyección de aire.

50 El orificio de inyección de aire está configurado para introducir aire axialmente, radialmente, tanto axial como radialmente, o formando un ángulo para inducir un flujo de agua turbulento dentro del canal de elevación de aire.

55 El orificio de inyección de aire está a menos de 3,0 m por debajo de la superficie del agua dentro del collar modular del sistema de armazón.

60 El sistema de mezcla de elevación de aire está configurado para controlar el nivel de líquido dentro del módulo de membrana contenido en relación con el nivel de líquido fuera del módulo de membrana contenido.

Al menos un panel en un módulo de membrana contenido de cuatro caras del sistema de contención se configura para que cada uno aloje el sistema de mezcla de elevación de aire.

65 Al menos dos, tres o los cuatro paneles de un módulo de membrana contenido de cuatro caras del sistema de contención están configurados cada uno para alojar el sistema de mezcla de elevación de aire.

El sistema de mezcla de elevación de aire está configurado para bombear líquido en una dirección ascendente o descendente a través del módulo de membrana contenido.

El sistema de contención comprende además medios de distribución de flujo de líquido en el espacio vacío del módulo de membrana contenido configurados para proporcionar un flujo de agua uniforme en todo el módulo de membrana contenido. El líquido que entra en el módulo de membrana contenido desde el sistema de mezcla de elevación de aire se distribuye uniformemente a lo largo de la superficie del líquido dentro del módulo. Alternativamente, el agua que sale del módulo de membrana contenido y entra en el primer tubo de descenso del sistema de mezcla de elevación de aire se obtiene uniformemente a través de la superficie de líquido del módulo de membrana contenido. Para lograr esto, el sistema comprende además una o más presas unidas al extremo abierto del canal vertical en comunicación fluida con el interior del módulo de membrana contenido, teniendo cada presa muescas en V uniformes o muescas en V de diferente tamaño a lo largo de la longitud de la presa o a lo largo de la boca de una entrada de agua de ensanche, también unida al extremo abierto del canal vertical en comunicación fluida con el interior del módulo de membrana contenido.

El sistema de contención es modular, y en el que puede apilarse una pluralidad de módulos de membrana contenidos uno encima de otro.

El colector de gas inferior puede purgarse de líquido que puede acumularse como resultado de la condensación o fuga de líquido en el colector. Preferiblemente, se suministra un caudal de aire elevado al colector inferior, o bien aumentando el flujo de aire a través de las membranas o mediante aire complementario suministrado directamente al colector inferior, o mediante una combinación de ambos, para transportar el líquido acumulado o bien al sistema de elevación de aire o a la superficie de líquido.

El sistema de contención puede retroadaptarse a un módulo de membrana existente.

Un reactor de biopelícula aireada por membrana (MABR) del tipo que comprende: un armazón y que tiene espacios vacíos superior e inferior; una serie de membranas dispuestas dentro del armazón y que se extienden entre el espacio vacío superior y el espacio vacío inferior; caracterizado porque el MABR comprende además un sistema de contención tal como se describió anteriormente.

El orificio de inyección de aire se encuentra entre 0,5 m y 3 m por debajo de la superficie de líquido dentro del collar modular del sistema de armazón. Preferiblemente, el orificio de inyección de aire se encuentra 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1,0, 1,1, 1,2, 1,3, 1,4, 1,5, 1,6, 1,7, 1,8, 1,9, 2, 2,1, 2,2, 2,3, 2,4, 2,5, 2,6, 2,7, 2,8, 2,9 o 3,0 m por debajo de la superficie de líquido dentro del collar modular del sistema de armazón. Idealmente, el orificio de inyección de aire se encuentra a menos de 2,5 m por debajo de la superficie de líquido dentro del collar modular del sistema de armazón, es decir, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1,0, 1,1, 1,2, 1,3, 1,4, 1,5, 1,6, 1,7, 1,8, 1,9, 2, 2,1, 2,2, 2,3, 2,4, o 2,5 m por debajo de la superficie de líquido dentro del collar modular del sistema de armazón.

En una realización, se proporciona un sistema de contención para su uso con un módulo de membrana en reactores de biopelícula soportada por membrana, siendo el módulo de membrana del tipo que tiene espacios vacíos superior e inferior separados por una serie de casetes de membrana de fibra hueca permeables al gas fijadas en paralelo en el módulo, en el que los casetes son una disposición lineal de membranas de fibra hueca en recipientes, que comprenden colectores superior e inferior en los que se contienen un gran número de membranas de fibra hueca o diversos conjuntos de membranas de fibra hueca, caracterizado porque el sistema de contención comprende:

(i) una pluralidad de paneles configurados para sellar el módulo de membrana para formar un módulo de membrana contenido que está abierto en las partes superior e inferior pero que está encerrado dentro del sistema de contención;

(ii) un collar modular configurado para fijarse verticalmente al módulo de membrana contenido, aumentando la altura del espacio vacío superior;

(iii) un sistema de mezcla de elevación de aire de baja presión, que está integrado en al menos un panel de dicha pluralidad de paneles, que está configurado para transportar líquido o bien desde el interior del módulo de membrana hasta el exterior del módulo de membrana, o viceversa, de modo que el líquido se bombea en una dirección ascendente o descendente a través del módulo de membrana contenido, para fomentar un buen flujo de líquido a través del módulo de membrana contenido cuando se instala en un depósito de biorreactor, en el que el sistema de mezcla de elevación de aire comprende:

un canal de elevación de aire y un primer tubo de descenso, que están en comunicación fluida entre sí en su parte inferior, formando dos canales verticales de un tubo sustancialmente en forma de U que está abierto en ambos extremos;

un canal de retorno vertical que tiene su parte superior en comunicación fluida con la parte superior del canal del

tubo sustancialmente en forma de U proximal al canal de retorno vertical;

un orificio de inyección de aire configurado para aceptar y suministrar aire al interior de la base del canal de elevación de aire para inducir un flujo de líquido ascendente por encima del orificio de inyección de aire en el canal de elevación de aire, provocando un flujo de líquido descendente correspondiente en el primer tubo de descenso;

en el que el extremo abierto del tubo en forma de U distal al canal de retorno vertical forma un orificio con acceso al interior del módulo de membrana contenido, el extremo abierto del tubo en forma de U proximal al canal de retorno vertical forma un orificio con acceso al exterior del módulo de membrana contenido y el extremo inferior del canal de retorno vertical permite una comunicación fluida entre el canal de retorno vertical y la parte inferior de dicho biorreactor o depósito.

El sistema de mezcla de elevación de aire comprende además un tercer canal vertical, que proporciona al sistema de mezcla de elevación de aire una forma sustancialmente en W, en el que el tercer canal vertical es un segundo tubo de descenso, y en el que uno de los canales verticales es el canal de elevación de aire, que está en comunicación fluida con los tubos de descenso primero y segundo.

Preferiblemente, el canal de retorno vertical está abierto al entorno fuera del módulo de membrana contenido y configurado para proporcionar un canal continuo para suministrar líquido desde una ubicación dentro del biorreactor o depósito, u otro depósito o compartimento de retención dentro de un sistema de tratamiento.

Preferiblemente, el primer tubo de descenso se encuentra en comunicación fluida con el líquido fuera del módulo de membrana contenido y el canal de elevación de aire se encuentra en comunicación fluida con el líquido dentro del módulo de membrana contenido.

Preferiblemente, los tubos de descenso primero y segundo se encuentran en comunicación fluida con el líquido fuera del módulo de membrana contenido y el canal de elevación de aire se encuentra en comunicación fluida con el líquido dentro del módulo de membrana contenido.

Preferiblemente, el aire que se suministra al canal de elevación de aire proviene o bien del aire de escape de las membranas, del aire complementario de una fuente externa o ambos.

Preferiblemente, el orificio de inyección de aire está configurado para liberar aire de manera continua, de manera pulsada o periódica, o una combinación de ambas.

Preferiblemente, el orificio de inyección de aire está conectado a un sifón de aire configurado para permitir que el aire se acumule y se libere periódicamente al orificio de inyección de aire.

Preferiblemente, el orificio de inyección de aire está configurado para introducir aire axialmente, radialmente, tanto axial como radialmente, o formando un ángulo para inducir un flujo de líquido turbulento dentro del canal de elevación de aire.

Preferiblemente, el orificio de inyección de aire se encuentra a 3,0 m o menos por debajo de la superficie de líquido dentro del collar modular del sistema de contención.

Preferiblemente, el sistema de mezcla de elevación de aire está configurado para controlar el nivel de líquido dentro del módulo de membrana contenido en relación con el nivel de líquido fuera del módulo de membrana contenido.

Preferiblemente, al menos uno de los paneles de un módulo de membrana contenido de cuatro caras se configura para que cada uno aloje el sistema de mezcla de elevación de aire. Preferiblemente, al menos dos, tres o todos los paneles de un módulo de membrana contenido de cuatro caras están configurados cada uno para alojar al sistema de mezcla de elevación de aire.

Preferiblemente, el sistema comprende además medios de distribución de flujo líquido en el espacio vacío del módulo de membrana contenido configurados para proporcionar un flujo de líquido uniforme a través del módulo de membrana contenido.

Preferiblemente, el sistema de contención es modular, y en el que puede apilarse una pluralidad de módulos de membrana contenidos uno encima de otro.

Preferiblemente, el colector de gas inferior puede purgarse de líquido, tal como agua, que puede acumularse como resultado de condensación o fuga. Se suministra un alto caudal de aire al colector inferior, o bien aumentando el flujo de aire a través de las membranas o mediante aire complementario suministrado directamente al colector inferior, o mediante una combinación de ambos, para transportar el líquido acumulado o bien al sistema de mezcla de elevación de aire o a la superficie de líquido.

El sistema de contención puede retroadaptarse a un módulo de membrana existente.

Se proporciona un módulo de aireación de membrana del tipo que comprende: un almacén y espacios vacíos superior e inferior separados por una serie de casetes de membrana de fibra hueca permeables al gas instalados en paralelo en el almacén en el módulo de aireación por membrana, en el que los casetes se encuentran en una disposición lineal de membranas de fibra hueca en recipientes, que comprenden colectores superior e inferior en el que se contienen un gran número de membranas de fibra hueca o diversos conjuntos de membranas de fibra hueca.

En la memoria descriptiva, el término “reactor de biopelícula aireada por membrana (MABR)” debe entenderse como un reactor de biopelícula soportada por membrana (MSBR) para tratar líquidos de aguas residuales para eliminar contaminantes carbonáceos, nitrificar/desnitrificar los contaminantes y/o realizar un biotratamiento xenobiótico de los elementos constitutivos de las aguas residuales. Los compuestos orgánicos solubles del líquido se suministran a la biopelícula desde la superficie de contacto de biopelícula-líquido, mientras que el suministro de gas a la biopelícula proviene de la superficie de contacto de biopelícula-membrana (mediante difusión a través de la membrana). Habitualmente, crece una biopelícula que consiste en una población heterogénea de bacterias (que incluyen, generalmente, bacterias nitrificantes, desnitrificantes y heterotróficas) en el lado de fase fluida de la membrana. Los MABR pueden lograr una aireación sin burbujas y una alta eficacia de utilización del oxígeno (hasta el 100%) y la biopelícula puede separarse en zonas aeróbicas/anóxicas/anaeróbicas para lograr simultáneamente tanto la eliminación de contaminantes orgánicos carbonáceos, como la nitrificación y desnitrificación en una única biopelícula. La patente europea n.º 2 361 367 (University College Dublin) describe un ejemplo de MABR del tipo que comprende una luz que contiene una fase gaseosa, una fase líquida y una membrana permeable al gas que proporciona una superficie de contacto entre las fases gaseosa y líquida.

En la memoria descriptiva, el término “espacio vacío superior” debe entenderse como una zona libre de membrana superior contenida por encima de los casetes de membrana, y el término “espacio vacío inferior” debe entenderse como una zona libre de membranas inferior debajo de los casetes de membrana y en comunicación fluida con el agua en un depósito.

En la memoria descriptiva, el término “conjunto de membranas” debe entenderse como una colección de 10 a 100.000, 10 a 10.000, 10 a 1.000 o 10 a 100 fibras de membrana huecas permeables al gas, que se contienen en ambos extremos en un conjunto circular o en un elemento conformado de manera que los extremos de las fibras están abiertos. Las membranas pueden disponerse verticalmente en el MABR, en cuyo caso el flujo de líquido resultante sería paralelo a las membranas o las membranas podrían estar dispuestas horizontalmente en el MABR, dando como resultado una configuración de flujo cruzado.

En la memoria descriptiva, el término “elemento conformado” o “conector conformado” debe entenderse como un elemento que proporciona al conjunto de membranas una forma particular (por ejemplo, forma de V invertida, forma de cruz, lineal, cuadrado, rectangular, triangular, hexagonal, otra sección transversal poligonal o circular, etc.). Esto proporciona un extremo de conector que puede pegarse o fijarse de otro modo de manera estanca al gas a los colectores superior o inferior, que luego se conocen como membranas en recipientes.

En la memoria descriptiva, los términos “colector superior” y “colector inferior” deben entenderse como colectores de gas que están equipados con orificios diseñados para recibir los conectores de elemento conformado, que están unidos a cada extremo de los conjuntos de membranas. Además, pueden contenerse conjuntos de membranas directamente en los colectores de gas superior e inferior para formar un conjunto continuo de membranas que se extienden desde un extremo del colector hasta el otro (véase la figura 1B). Cuando se orienta verticalmente, el colector superior se denomina colector superior y el colector inferior se denomina colector inferior. Los colectores superior e inferior están en comunicación fluida con la arquitectura interna de todas las fibras huecas, de manera que el aire/gas puede fluir desde el interior del colector superior, a través de las fibras huecas hasta el colector inferior, o viceversa.

En la memoria descriptiva, el término “casete” debe entenderse como una disposición lineal de membranas de fibra hueca en recipientes, que comprende colectores superior e inferior en los que se contienen un gran número de membranas de fibra hueca o diversos conjuntos de membranas de fibra hueca. Un casete se ilustra en las figuras 1A y 1B. Si se suministra gas al colector superior, entonces este colector actúa como el colector de entrada y el gas fluirá hacia abajo dentro de las fibras huecas y hacia el interior del colector inferior, que actuará como colector de gases de escape. Sin embargo, si el gas se suministra al colector inferior, entonces este colector actúa como colector de entrada y el gas fluirá hacia arriba dentro de las fibras huecas y al interior del colector superior, que actuará como colector de gases de escape. En la memoria descriptiva, el término “módulo de membrana” o “reactor de biopelícula aireada por membrana (MABR)” debe entenderse como un dispositivo en el que un número (2-1.000, 2-900, 2-800, 2-750, 2-700, 2-650, 2-600, 2-550, 2-450, 2-400, 2-350, 2-300, 2-250, 2-200, 2-150, 2-100, 2-50) de casetes que consisten en membranas de fibra hueca pueden fijarse en paralelo. Los casetes están generalmente fijados en un almacén.

En la memoria descriptiva, el término “almacén” en el contexto de uso con un módulo de membrana debe

entenderse como un alojamiento capaz de recibir 2-1.000, 2-900, 2-800, 2-750, 2-700, 2-650, 2-600, 2-55, 2-500, 2-450, 2-400, 2-350, 2-300, 2-250, 2-200, 2-150, 2-100, 2-50 casetes y retenerlos en paralelo con una separación uniforme y bien definida entre casetes adyacentes. Preferiblemente, de manera habitual, se disponen entre 2 y 200 casetes dentro de un armazón. En la figura 1C se ilustra un armazón.

En la memoria descriptiva, el término “módulo de membrana contenido” debe entenderse como un módulo de membrana que está abierto en las partes superior e inferior pero que está encerrado con un sistema de contención, tal como se ilustra en la figura 2.

En la memoria descriptiva, el término “sistema de contención” o “sistema de contención modular” debe entenderse como una serie de paneles que pueden unirse al armazón de un módulo de membrana (véase la figura 2) o que pueden disponerse para formar un armazón contenido para un módulo de membrana. Los paneles del sistema de contención pueden incorporar canales contenidos o conductos para el flujo de agua. Cuando se hace que el agua fluya a través de estos canales o conductos, inducen una velocidad vertical de agua más allá de las membranas del módulo de membrana contenido. El elemento de contención puede tener naturaleza modular y estar diseñado para permitir el apilamiento de módulos de membrana contenidos para formar un volumen contenido continuo que consiste en diversos niveles de casetes de membrana. Los paneles también pueden extenderse verticalmente por encima del colector superior y extenderse más allá de la superficie del agua dentro del sistema. Esta disposición separa el agua dentro del módulo de membrana contenido del agua fuera del módulo de membrana contenido.

En la memoria descriptiva, el término “canal contenido” debe entenderse en el sentido de un conducto o tubería totalmente contenido que está o bien moldeado o unido a los paneles que forman el elemento de contención de la invención. El canal contenido puede tener una sección transversal cuadrada, rectangular, triangular, hexagonal, poligonal o circular.

En la memoria descriptiva, el término “collar modular” debe entenderse como un elemento de contención bien ajustado que amplía la altura de los paneles del módulo de membrana contenido (encerrado por el elemento de contención de la invención) verticalmente entre 100 mm y 500 mm por encima, y preferiblemente 100 mm-1000 mm por encima del colector superior y que se extiende más allá de la superficie de líquido. Separa el líquido dentro del módulo de membrana contenido del líquido fuera del módulo de membrana contenido.

En la memoria descriptiva, el término “tubo de descenso” debe entenderse como un canal contenido, vertical que se moldea en, o se une a, un panel del módulo de membrana contenido. La parte superior de este tubo de descenso se encuentra debajo de la superficie del líquido, y el líquido dentro del tubo de descenso fluye en una dirección descendente.

En la memoria descriptiva, el término “canal de elevación de aire” debe entenderse como un canal contenido vertical que normalmente está lleno de líquido, instalado debajo de la superficie del líquido, tal como aguas residuales, o que sobresale por encima de la superficie del líquido. El aire se introduce de manera continua, o de manera pulsátil, a través de las paredes de un canal contenido, vertical en un punto que se encuentra aproximadamente de 0,5 m a 3 m por debajo del nivel de superficie de líquido (aguas residuales) en el biorreactor. Las burbujas ascendentes, formadas y liberadas dentro del canal contenido, se elevan y fomentan un flujo de líquido ascendente (aguas residuales) dentro del canal contenido. El aire puede inyectarse en el canal de elevación de aire usando una variedad de métodos de inyección, que incluyen: radial, axial, radial y axial dual, y remolino, en modos de inyección tanto constante como pulsante. En el régimen de inyección de aire constante, los resultados han demostrado que la inyección dual supera las inyecciones axiales y radiales, y que el caudal volumétrico del líquido se mejoró mediante la inyección de aire pulsátil. La inyección de aire pulsátil puede verse afectada tanto por detener como por iniciar el flujo de aire, o bien por medio de válvulas de solenoide o mediante el uso de un sifón de aire. El diseño de un método de inyección de aire pulsátil que usa un sifón de aire se describe detalladamente en la patente estadounidense 6.162.020.

En la memoria descriptiva, el término “tubo sustancialmente en forma de U” debe entenderse como dos canales contenidos alineados verticalmente, fabricados o unidos a una pared lateral del sistema de contención: siendo un canal un tubo de descenso y siendo un canal un canal de elevación de aire. Los dos canales verticales se conectan mediante una curva en U, o un conector curvado sustancialmente en forma de U, en la base. Uno de los extremos superiores del tubo sustancialmente en forma de U está abierto hacia el módulo contenido (dentro del collar modular y generalmente el tubo de descenso, pero también puede ser el canal de elevación de aire) y el otro extremo superior del tubo sustancialmente en forma de U está abierto a la zona exterior del collar modular (normalmente el canal de elevación de aire, pero también puede ser el tubo de descenso).

En la memoria descriptiva, el término “tubo sustancialmente en forma de W” debe entenderse como tres canales contenidos alineados verticalmente, fabricados o unidos a una pared lateral del sistema de contención: siendo dos canales tubos de descenso primero y segundo y siendo un canal un canal de elevación de aire. Los tres canales verticales están alineados adyacentes entre sí y conectados mediante una curva en U, o un conector de curva sustancialmente en forma de U, en la base. Uno de los extremos superiores del tubo sustancialmente en forma de W está abierto hacia el módulo contenido (dentro del collar modular y generalmente se considera el canal de

elevación de aire). Los demás extremos superiores del tubo sustancialmente en forma de W están abiertos a la zona exterior del collar modular (generalmente considerados como los canales de descenso primero y segundo). El orden del canal de elevación de aire y los tubos de descenso primero y segundo tal como aparecen en el tubo en forma de W puede variar según las preferencias del usuario.

En la memoria descriptiva, el término “bomba de elevación de aire” debe entenderse como un sistema que comprende un tubo sustancialmente en forma de U con aire inyectado en la base de uno de los canales verticales del tubo sustancialmente en forma de U para inducir un flujo de líquido a través del tubo sustancialmente en forma de U. Las burbujas de aire ascendentes inducirán un flujo de líquido ascendente por encima del punto de inyección de aire en el canal de elevación de aire, provocando un flujo de líquido descendente correspondiente en el otro canal vertical del tubo sustancialmente en forma de U (el primer tubo de descenso). Puede realizarse una disposición similar para un sistema que tiene un tubo sustancialmente en forma de W, inyectándose aire en la base de uno de los canales verticales del tubo sustancialmente en forma de W para inducir un flujo de líquido a través del tubo sustancialmente en forma de W. Las burbujas de aire ascendentes inducirán un flujo de líquido ascendente por encima del punto de inyección de aire en el canal de elevación de aire, provocando un flujo de líquido descendente correspondiente en uno o ambos de los otros canales verticales del tubo sustancialmente en forma de W (tubos de descenso primero y/o segundo).

En la memoria descriptiva, el término “sifón de aire” debe entenderse como un sifón del tipo descrito en la patente estadounidense 6.162.020 que incorpora un depósito de aire que se llena continuamente de aire pero que descarga el aire a un orificio de inyección en el canal de elevación de aire periódicamente cuando volumen de aire es suficiente para crear un sifón.

En la memoria descriptiva, el término “canal de retorno vertical” debe entenderse como un canal continuo desde la parte superior de un módulo de membrana contenido hasta la base del módulo de membrana contenido, o hasta la base del módulo de membrana contenido más inferior si los módulos están apilados. El canal de retorno vertical permite que el líquido fluya entre la parte superior del módulo de membrana contenido hasta la base del depósito en el que están instalados los módulos. La dirección del flujo dependerá del modo de funcionamiento de la bomba de elevación de aire. Alternativamente, permite bombear líquido tratado desde la parte superior del módulo de membrana contenido hasta la parte inferior del depósito a través de la bomba de elevación de aire.

En la memoria descriptiva, el término “depósito”, “depósito de retención” o “biorreactor” deben entenderse como un recipiente de retención grande, que se suministra con líquido (agua o aguas residuales) y se usa para contener el agua o las aguas residuales mientras se tratan. Pueden instalarse uno o más módulos de membrana contenidos dentro del depósito para crear un reactor de biopelícula aireada por membrana (MABR).

En la memoria descriptiva, el término “líquido” debe entenderse como “agua” o “aguas residuales”, que deben entenderse como cualquier agua que se haya visto afectada negativamente en cuanto a calidad por influencia antropógena. Las aguas residuales pueden provenir de una combinación de actividades domésticas (por ejemplo, aguas negras), industriales, comerciales o agrícolas, escorrentía superficial o aguas pluviales, así como de entrada o infiltración de alcantarillado.

Breve descripción de los dibujos

La invención se entenderá más claramente a partir de la siguiente descripción de una realización de la misma, proporcionada únicamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1A ilustra un casete de la técnica anterior que comprende elementos conformados con conjuntos individuales de fibras, mientras que la figura 1B ilustra un casete de la técnica anterior en el que las membranas se contienen de manera continua directamente en los colectores superior e inferior y que no requieren conectores de elementos conformados. La figura 1C ilustra una vista en alzado de los casetes de membrana dentro de un armazón metálico de la técnica anterior que forman un módulo de membrana.

La figura 2A ilustra una vista en alzado lateral de un módulo de membrana contenido de la presente invención y la figura 2B ilustra una vista en alzado lateral del módulo de membrana contenido de la presente invención, que muestra un sistema de elevación de aire integrado que comprende una bomba de elevación de aire, un primer tubo de descenso y un canal de retorno. Estos módulos de membrana están completamente rodeados y protegidos por los paneles de contención, pero están abiertos en las partes superior e inferior. La figura 2C ilustra una vista en planta de un módulo de membrana contenido de la presente invención.

La figura 3A ilustra una vista en alzado lateral de un módulo de membrana contenido de la presente invención, que ha sido equipado con un collar modular e instalado en un depósito de retención o biorreactor (no se muestra). La figura 3B muestra que si el nivel del líquido (agua) dentro del collar modular es superior al nivel del líquido circundante (agua) en el depósito, la dirección del flujo se invierte en comparación con la dirección del flujo de la figura 3A.

La figura 4A y la figura 4B ilustran cómo el sistema de mezcla de elevación de aire proporcionado en un panel del sistema de contención de la invención puede funcionar como una bomba de elevación de aire. El sistema de mezcla de elevación de aire es capaz de proporcionar un flujo procedente del espacio vacío superior hacia el depósito o un flujo desde el depósito hasta el espacio vacío superior, induciendo, por tanto, un flujo de líquido ascendente o descendente, respectivamente, dentro del módulo de membrana contenido de la presente invención. En la figura 4A, el orificio de entrada del sistema de mezcla de elevación de aire se encuentra dentro del collar modular y extrae líquido desde dentro del módulo de membrana contenido. El canal de elevación de aire descarga líquido fuera del collar modular y el líquido puede fluir hacia abajo a través del canal de retorno hasta la base del depósito dentro del que se encuentra todo el módulo de membrana contenido. En la figura 4B, el orificio de inyección de aire se encuentra en el canal contenido del otro lado del tubo en forma de U que forma el sistema de mezcla de elevación de aire (ahora el canal de flujo ascendente), y el punto de descarga del canal de elevación de aire se encuentra ahora dentro del collar modular y suministra líquido al espacio vacío superior por encima de las membranas, creando, por tanto, un nivel de líquido más alto dentro del módulo contenido y forzando una velocidad de líquido descendente. El líquido dentro del depósito se extrae ahora desde la parte inferior del depósito a través del canal de retorno o en la abertura en el punto 12. El orificio de entrada del primer tubo de descenso y canal de retorno se encuentra ahora fuera del módulo de membrana contenido.

La figura 5A y la figura 5B muestran una vista en planta y una vista en alzado lateral del collar modular que se une a la parte superior del módulo de membrana contenido de la presente invención o a la parte superior del módulo de membrana más superior de una pila.

La figura 6A y la figura 6B ilustran cómo los módulos de membrana contenidos de la presente invención pueden apilarse dentro de un depósito. La figura 6A y la figura 6B funcionan en los modos que se muestran en las figuras 4A y 4B respectivamente.

La figura 7A y la figura 7B ilustran una vista en planta y una vista lateral en sección transversal de cuatro módulos de membrana, cada uno contenido por un sistema de armazón de la presente invención y que se instalan en un depósito. Todo el sistema de tratamiento constituye un reactor de biopelícula aireada por membrana que trata las aguas residuales de entrada y descarga un efluente tratado.

La figura 8 ilustra un módulo de membrana contenido con medios de distribución de flujo líquido *in situ* en el espacio 104 vacío superior del módulo de membrana contenido.

Las figuras 9A y 9B ilustran una vista lateral y frontal de un sistema de mezcla de elevación de aire de la presente invención, en el que el sistema de mezcla de elevación de aire tiene una forma sustancialmente en W. La figura 9C ilustra el sistema de mezcla de elevación de aire sustancialmente en forma de W en un módulo de membrana contenido de la presente invención.

Descripción detallada de los dibujos

La invención descrita en el presente documento proporciona condiciones de cizallamiento bajas y el suministro eficaz de sustratos a las biopelículas que crecen en membranas, proporcionando un sistema de mezcla de elevación de aire de baja presión, que está integrado en un módulo de membrana contenido por el sistema de contención de la invención y que rodea las membranas.

Normalmente, los canales de elevación de aire son factibles si la presión contra la que debe bombearse el agua es inferior a aproximadamente 300 mm de agua. Las caídas de presión de más de 300 mm de agua reducen la eficacia del bombeo de elevación de aire y el caudal de agua disminuye drásticamente. Por este motivo, es importante reducir al mínimo las pérdidas de vacío y las caídas de presión dentro del propio sistema de mezcla de elevación de aire. Debe seleccionarse el tamaño de las tuberías o canales usados para el sistema de mezcla de elevación de aire para minimizar las pérdidas de presión y maximizar los caudales de aire.

El caudal de líquido que puede lograrse en un sistema de mezcla de elevación de aire depende del caudal de aire, de la profundidad del orificio de inyección de aire y del tamaño (diámetro eficaz) del canal de elevación de aire. Normalmente, el caudal de líquido aumenta con el caudal de aire y la profundidad del orificio de inyección de aire. Dado que el consumo de energía es una de las principales preocupaciones medioambientales y los costes de funcionamiento asociados con el tratamiento de aguas residuales, es importante minimizar los requisitos energéticos para la mezcla y la aireación. Esto puede lograrse usando el aire suministrado a las membranas tanto para la transferencia de oxígeno como para el mezclado. Además, mediante el uso de un sistema de mezcla de elevación de aire de poca profundidad para el orificio de inyección de aire, la presión de aire requerida dentro de las membranas puede mantenerse baja y minimizarse el consumo energético. El caudal de líquido a través de un módulo de membrana contenido puede controlarse, por tanto, mediante el diseño y las condiciones de funcionamiento del sistema de mezcla de elevación de aire, mientras que la presión del aire de funcionamiento es independiente de la profundidad de sumersión de las membranas en módulos de membrana apilados y depende únicamente de la profundidad de la inyección de aire en el sistema de mezcla de elevación de aire.

Ahora, haciendo referencia a las figuras, en las que la figura 1 ilustra un casete 100 que comprende conectores 101 de elementos conformados con conjuntos individuales de fibras 102, contenidos en colectores 98, 99 superior e inferior, mientras que la figura 1B ilustra un casete 100 en el que las fibras 102 de membrana están contenidas de manera continua y directa en los colectores 98, 99 superior e inferior y que no requieren conectores 101 de elementos conformados. La figura 1C ilustra una vista de los casetes 100 de membrana, que se ensamblan en un módulo 120 de membrana de la técnica anterior. El módulo 120 de membrana comprende un armazón 110 en el que pueden montarse los casetes 100.

Ahora, haciendo referencia a la figura 2, en la que se ilustra una realización general de la presente invención. En concreto, la figura 2A ilustra una vista en alzado lateral de un módulo de membrana contenido por el sistema de contención de la presente invención para formar un módulo de membrana contenido, haciéndose referencia al módulo de membrana contenido generalmente por el número de referencia 1. El módulo 1 de membrana contenido comprende paneles 3a,3b,3c,3d que contienen el módulo 120 de membrana y comprenden un sistema 4 de mezcla de elevación de aire (véase la figura 2B). Cuando se usan con el módulo 120 de membrana, los paneles 3a,3b,3c,3d del módulo 1 de membrana contenido rodean completamente y contienen los casetes 100, pero el módulo 1 de membrana contenido está abierto en las partes superior e inferior. La figura 2B ilustra una vista en alzado lateral del módulo 1 de membrana contenido, que muestra el sistema 4 de mezcla de elevación de aire. En la realización ilustrada, el sistema 4 de mezcla de elevación de aire está integrado dentro de los paneles 3a,3c. El sistema 4 de mezcla de elevación de aire también podría estar integrado dentro de los paneles 3b,3d. El sistema 4 de mezcla de elevación de aire comprende una serie de tubos contenidos que forman un tubo 5 sustancialmente en forma de U con un tubo vertical unido al mismo. Específicamente, el tubo 5, sustancialmente en forma de U, comprende un primer tubo 6 de descenso conectado a un canal 7 de elevación de aire por una curva 8 en U. Además, el sistema puede comprender un canal 9 de retorno. Se muestra que el módulo 1 de membrana contenido comprenda, además, una barra 10 de refuerzo y orificios 11,12. La barra 10 de refuerzo se extiende desde el panel 3a hasta el panel 3c opuesto. Un collar 20 modular se une a la parte superior del módulo 1 de membrana contenido y se configura para separar los orificios 11 y 12. Cuando el agua fluye de un espacio 104 vacío superior a un espacio 106 vacío inferior, el orificio 12 proporciona una comunicación fluida entre el líquido en el depósito y el espacio 104 vacío superior a través del tubo 5 sustancialmente en forma de U. Cuando el líquido fluye del espacio 106 vacío inferior (o desde la parte inferior de un depósito de retención) al espacio 104 vacío superior, el orificio 11 proporciona una comunicación fluida entre el espacio vacío superior y el líquido en el depósito de volumen a través del tubo 5 sustancialmente en forma de U. El orificio 12 permite que el aire inyectado en el canal 7 de elevación de aire escape a la atmósfera y no se arrastre en el líquido que fluye hacia abajo en el canal 9 de retorno a la parte inferior del depósito.

La figura 2C ilustra una vista en planta de un módulo 1 de membrana contenido. Tal como se ilustra, son visibles el espacio 104 vacío superior del módulo 1 de membrana contenido y una serie de casetes 100 de membrana paralelos. Los casetes 100 están dispuestos en paralelo, proporcionando espacio entre cada casete 100 para permitir que el líquido fluya entre los mismos.

La figura 3A ilustra una vista en alzado lateral de un módulo 1 de membrana contenido, que se ha equipado con el collar 20 modular e instalado en un depósito 200 de retención o biorreactor. Cuando el nivel de líquido dentro del collar 20 modular está por debajo del nivel de líquido en el depósito 200 circundante, el líquido fluirá hacia arriba a través del módulo 1 de membrana contenido para igualar los niveles de agua dentro y fuera del depósito 200. Cuanto mayor sea la diferencia del nivel de líquido entre el exterior y el interior del collar 20 modular (h mm de líquido tal como se muestra en la figura 3A), mayor será la velocidad de líquido inducida a través del módulo 1 de membrana contenido. La figura 3B muestra que, si el nivel de líquido dentro del collar 20 modular es superior al nivel de líquido circundante en el depósito 200, la dirección del flujo se invierte. De nuevo, cuanto mayor sea la diferencia en los niveles de líquido (h), mayor será la velocidad de líquido creada dentro del módulo de membrana contenido. Las flechas de las figuras 3A y 3B ilustran la dirección del flujo de líquido inducida por los cambios en los niveles de líquido dentro del módulo 120 de membrana y el depósito 200.

La figura 4A y la figura 4B ilustran el detalle del sistema 4 de mezcla de elevación de aire dentro de un panel 3a,3b,3c,3d que puede funcionar como una bomba de elevación de aire, y que es capaz de proporcionar o bien un flujo de líquido ascendente o descendente, respectivamente, dentro del módulo 1 de membrana contenido. El sistema 4 de mezcla de elevación de aire comprende el tubo 5 sustancialmente en forma de U contenido conectado al canal 9 de retorno vertical en un lado del mismo. En la figura 4A, se muestra la configuración de los canales del sistema 4 de mezcla de elevación de aire que ilustran el movimiento del líquido desde la parte inferior del depósito 200 hasta la parte superior del módulo 1 de membrana contenido. En este caso, el canal contenido exterior del sistema 4 de mezcla de elevación de aire actúa como un primer tubo 6 de descenso, que recibe líquido del interior del collar 20 modular (desde el espacio 104 vacío superior) y actúa para reducir el nivel de líquido dentro del collar 20 modular en relación con el nivel de líquido dentro del depósito 200. Se inyecta aire en un canal contenido medio, denominado en este caso bomba 7 de elevación de aire, a través de un orificio 40 de inyección de aire. Las burbujas ascendentes producidas por el orificio 40 de inyección de aire inducen un flujo de velocidad de líquido vertical (indicado por la flecha A), que mueve el agua tal como se ilustra por las flechas mostradas. En la parte superior del módulo 1 de membrana contenido, la bomba 7 de elevación de aire y el canal 9 de retorno se fusionan fuera del módulo 1 de membrana contenido, las burbujas de aire se ventilan en la superficie de líquido y el líquido fluye

hacia abajo a través del canal 9 de retorno hasta la base del depósito 200. En la figura 4B, se muestra la configuración de los canales del sistema 4 de mezcla de elevación de aire que ilustran el movimiento del líquido desde el colector 104 superior dentro del módulo 1 de membrana contenido hacia abajo a través de los casetes 100 hasta la parte inferior del depósito 200. El orificio 40 de inyección de aire se cambia al canal exterior del tubo 5 sustancialmente en forma de U y se convierte en la bomba 7 de elevación de aire, mientras que el canal interior del tubo 5 sustancialmente en forma de U, se convierte en el primer tubo 6 de descenso y se conecta físicamente al canal 9 de retorno. El canal 7 de elevación de aire suministra líquido al interior del collar 20 modular y al colector 104 superior, lo que provoca un aumento del nivel de agua por encima del módulo 120 de membrana en relación con el líquido exterior del collar 20 modular en el depósito 200. En este modo de funcionamiento, el líquido se extrae de la parte inferior del depósito 200 a través del canal 9 de retorno, tal como se ilustra. Las flechas A de la figura 4B ilustran la dirección del flujo de líquido inducida por el canal 7 de elevación de aire.

El nivel de líquido del collar 20 modular que cubre el módulo 1 de membrana contenido se separa del líquido exterior en el depósito 200 en el que se sumerge el módulo debido al sello creado por el módulo 1 de membrana contenido, de manera que el sistema 4 de mezcla de elevación de aire puede elevar o disminuir el nivel de líquido que cubre el módulo 1 de membrana en relación con el nivel de líquido del depósito 200.

La figura 5A y la figura 5B muestran una vista en planta y una vista en alzado lateral del collar 20 modular que se une a la parte superior del módulo 1 de membrana contenido. El collar 20 modular comprende lados 21a, 21b, 21c, 21d y está configurado para adaptarse a un armazón 110 de un módulo 120 de membrana o a la parte superior de un módulo 1 de membrana contenido, proporcionando, por tanto, un espacio 104 vacío superior con una altura aumentada en comparación con un espacio 104 vacío superior sin collar 20 modular colocado en su lugar. En uso, el collar 20 modular se configura para separar los orificios 11 y 12.

La figura 6A y la figura 6B ilustran cómo diversos módulos 1, 1' de membrana contenidos pueden apilarse uno sobre otro dentro de un depósito 200. Los módulos 1, 1' de membrana contenidos apilados están configurados de manera que el canal 9 de retorno del módulo 1 se conecta al canal 9' de retorno del módulo 1'. La figura 6A y la figura 6B funcionan en los modos que se muestran en las figuras 4A y 4B, respectivamente. El tubo 5 sustancialmente en forma de U del módulo 1' se corta mediante la inserción de un deflector 22 y permanece sin usar. En la realización que se muestra en la figura 6A, el nivel de líquido fuera del collar 20 modular del módulo 1 de membrana contenido es superior al nivel de líquido dentro del collar 20 modular, creando, por tanto, una velocidad de líquido ascendente desde la parte inferior del depósito 200 hasta el espacio 104 vacío superior del módulo 1 de membrana contenido. En la realización mostrada en la figura 6B, el nivel de líquido fuera del collar 20 modular del módulo 1 de membrana es inferior al nivel de líquido dentro del collar 20 modular, creando, por tanto, una velocidad de líquido descendente desde el espacio 104 vacío superior del módulo 1 de membrana contenido hasta la parte inferior del depósito 200.

La figura 7A y la figura 7B ilustran una vista en planta y una vista lateral en sección transversal de cuatro módulos 1 de membrana contenidos, que se instalan en un depósito 200 para formar un sistema 300 de tratamiento. Todo el sistema 300 de tratamiento constituye un MABR, que trata las aguas residuales de entrada y descarga un efluente tratado. El sistema 300 de tratamiento comprende el depósito 200 que tiene un alojamiento 201 y una serie de módulos 1 de membrana contenidos apilados. En la realización que se muestra en la figura 7B, el nivel de líquido fuera del collar 20 modular en el depósito 200 es inferior al nivel de líquido dentro del collar 20 modular (indicado por h mm), creando, por tanto, una velocidad de líquido descendente desde el colector 104 superior del módulo 1 de membrana contenido hasta la parte inferior del depósito 200.

En las figuras 7A y 7B, el líquido (agua o aguas residuales (efluente)) entra en el sistema 300 a través de una tubería A de desechos de entrada y el efluente tratado sale del sistema 300 a través de la salida B. El líquido se trata interactuando con los casetes 100 de los módulos 1 de membrana contenidos. El sistema 4 de mezcla de elevación de aire proporciona un sistema de mezcla de baja presión y baja energía que garantiza un contacto eficaz entre la mayor parte de la biopelícula de degradación de contaminantes unida a la membrana que se acumula en las membranas 102 y las aguas residuales ricas en contaminantes que van a tratarse. En general, el módulo 1 de membrana contenido está diseñado para funcionar con presiones de gas dentro de las fibras 102 de membrana huecas que pueden ser superiores o inferiores a la presión hidrostática externa del depósito 200.

En la figura 8, el módulo 1 de membrana contenido se ilustra con medios 60 de distribución de flujo de líquido que se muestra *in situ* en el espacio 104 vacío superior del módulo 1 de membrana contenido. Generalmente, los medios 60 de distribución de flujo de agua están en comunicación fluida con el orificio 12 y configurados para garantizar un flujo uniforme a través del módulo 1 de membrana contenido, es decir, la velocidad del flujo de líquido dentro del módulo es igual en un plano horizontal. La provisión de un flujo de líquido uniforme a través del módulo 1 de membrana contenido garantiza una velocidad de flujo ascendente uniforme en todo el módulo 1 de membrana e impide el cortocircuito del líquido entre el orificio 12 y la parte inferior del canal 9 de retorno. La velocidad uniforme garantiza que toda la biopelícula soportada por membrana entre en contacto con las aguas residuales y elimina la creación de una zona muerta o de regiones mal mezcladas en donde no se produce flujo.

En la figura 9A-C, se muestra que el sistema 4 de mezcla de elevación de aire contiene un segundo tubo 6a de descenso que proporciona al sistema 4 de mezcla de elevación de aire una forma sustancialmente en W, en el que

5 el canal vertical central es el canal 7 de elevación de aire en comunicación fluida con el primer tubo 6 de descenso y segundo tubo 6a de descenso a cada lado del mismo. El aire se suministra en el canal 7 de elevación de aire central en el orificio 40 de inyección de aire, mientras que los canales verticales, los tubos 6,6a de descenso primero y segundo, están conectados al canal 7 de elevación de aire mediante un colector 8a de agua común a lo largo de la parte inferior, formando, por tanto, un tubo 50 sustancialmente en forma de W. Debido a la mezcla de agua y aire que fluye hacia arriba a través del canal 7 vertical central, se induce un flujo de agua descendente en ambos tubos 6,6a de descenso primero y segundo. Debido a la presencia de los paneles 3a,3b,3c,3d (véase la figura 9C), que se extienden más allá de la superficie del líquido, el líquido descargado a través del orificio 11 y los medios 60 de distribución de flujo, que se origina en el canal 7 de elevación de aire, debe fluir verticalmente hacia abajo y fuera del módulo 1 de membrana contenido a través de la parte inferior abierta. Una de las ventajas del sistema de mezcla en forma de W es que hay dos entradas para los tubos de descenso en esta configuración y puede introducirse líquido en el sistema de mezcla en forma de W desde dos puntos diferentes del depósito. En la configuración preferida, si quiere invertirse el flujo de líquido en el tubo en forma de W, entonces debe introducirse aire en ambos canales verticales a cada lado del canal vertical central para asegurarse de que ambos canales verticales laterales se conviertan en canales de elevación de aire y el canal vertical central se convierta en el tubo de descenso. El sistema de mezcla de elevación de aire en forma de W también puede apilarse tal como se muestra en la figura 6A y en la figura 6B, también pueden instalarse uno o dos canales de retorno verticales a ambos lados del sistema de mezcla en forma de W. El sistema de mezcla en forma de W es fácil de retroadaptar a módulos existentes y puede proporcionar una mayor área de flujo usando canales verticales con una sección transversal más pequeña.

25 Una de las ventajas de la invención es que el módulo de membrana contenido tanto protege las membranas frente a daños durante el tránsito como incorpora un sistema de elevación de aire de baja presión para fomentar un buen flujo de líquido a través del módulo de membrana cuando los módulos se instalan en un biorreactor. Esto significa que la eficacia del MABR cuando se instala en un gran depósito no depende de la mezcla del depósito, sino que se controla de manera independiente mediante la velocidad del líquido en el módulo de membrana contenido. Tal control independiente permite una instalación exitosa en depósitos de diferentes profundidades y formas o que se diseñaron previamente para diferentes fines, por ejemplo, depósitos de sedimentación, pueden actualizarse para incorporar el MABR sin necesidad de instalar un sistema de mezcla independiente.

30 En la memoria descriptiva, los términos “comprender, comprende, comprendido y que comprende” o cualquier variación de los mismos, y los términos “incluir, incluye, incluido y que incluye” o cualquier variación de los mismos se consideran totalmente intercambiables y se les debe proporcionar a todos la interpretación más amplia posible y viceversa.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de contención para su uso con un módulo (120) de membrana en reactores de biopelícula soportada por membrana, siendo el módulo (120) de membrana del tipo que tiene espacios (104,106) vacíos superior e inferior separados por un conjunto de casetes (100) de membrana de fibra hueca permeables al gas fijados en paralelo en el módulo (120), en el que los casetes (100) son una disposición lineal de membranas de fibra hueca en recipientes, que comprenden colectores (98,99) superior e inferior en los que se colocan en recipientes un gran número de membranas de fibra hueca o diversos conjuntos de membranas (102) de fibra hueca, caracterizado porque el sistema de contención comprende:
 - (i) una pluralidad de paneles (3a,3b,3c,3d) configurados para sellar el módulo (120) de membrana para formar un módulo (1) de membrana contenido que está abierto en las partes superior e inferior pero que está encerrado dentro del sistema de contención;
 - (ii) un collar (20) modular configurado para unirse verticalmente al módulo (1) de membrana contenido, aumentando la altura del espacio (104) vacío superior; y
 - (iii) un sistema (4) de mezcla de elevación de aire de baja presión, que está integrado en al menos un panel de dicha pluralidad de paneles (3a,3b,3c,3d), que está configurado para transportar líquido o bien desde el interior del módulo (120) de membrana hacia el exterior del módulo (120) de membrana, o viceversa, de modo que el líquido se bombea en una dirección ascendente o descendente a través del módulo (1) de membrana contenido, para fomentar un buen flujo de líquido a través del módulo (120) de membrana contenido cuando se instala en un depósito (200) de biorreactor, en el que el sistema (4) de mezcla de elevación de aire comprende:
 - un canal (7) de elevación de aire y un primer tubo (6) de descenso, que están en comunicación fluida entre sí en su parte inferior, formando dos lados de un tubo (5) sustancialmente en forma de U que está abierto en ambos extremos;
 - un canal (9) de retorno vertical que tiene su parte superior en comunicación fluida con la parte superior del canal del tubo (5) sustancialmente en forma de U proximal al canal (9) de retorno vertical; y
 - un orificio (40) de inyección de aire configurado para aceptar y suministrar aire a la base del canal (7) de elevación de aire para inducir un flujo de líquido ascendente por encima del orificio (40) de inyección de aire en el canal (7) de elevación de aire, provocando un flujo de líquido descendente correspondiente en el primer tubo (6) de descenso; y
- en el que el extremo abierto del tubo (5) en forma de U distal al canal (7) de retorno vertical forma un orificio (11) con acceso al interior del módulo (1) de membrana contenido, el extremo abierto del tubo (5) en forma de U proximal al canal (7) de retorno vertical forma un orificio (12) con acceso al exterior del módulo (1) de membrana contenido y el extremo inferior del canal (9) de retorno vertical permite una comunicación fluida entre el canal (9) de retorno vertical y la parte inferior de dicho biorreactor o depósito (200).
2. Un sistema de contención según la reivindicación 1, en el que el sistema de mezcla de elevación de aire comprende además un tercer canal vertical, que proporciona al sistema de mezcla de elevación de aire una forma sustancialmente en W, en el que el tercer canal vertical es un segundo tubo (6a) de descenso, y en el que uno de los canales verticales es el canal (7) de elevación de aire, que se encuentra en comunicación fluida con los tubos (6,6a) de descenso primero y segundo.
3. Un sistema de contención según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que el canal (9) de retorno vertical está abierto al entorno fuera del módulo (1) de membrana contenido y está configurado para proporcionar un canal continuo para suministrar agua desde una ubicación dentro del biorreactor o depósito (200) u otro depósito o compartimento de retención dentro de un sistema de tratamiento.
4. Un sistema de contención según cualquiera de las reivindicaciones 2 o 3, en el que los tubos (6,6a) de descenso primero y segundo se encuentran en comunicación fluida con el líquido fuera del módulo (1) de membrana contenido y el canal (7) de elevación de aire se encuentra en comunicación fluida con el líquido dentro del módulo (1) de membrana contenido.
5. Un sistema de contención según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el aire que se suministra al canal (7) de elevación de aire proviene o bien del aire de escape de las membranas, del aire complementario de una fuente externa o ambos.
6. Un sistema de contención según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el orificio (40) de inyección de aire está configurado para liberar aire de manera continua, de manera pulsada o periódica, o una combinación de ambas; y en el que el orificio (40) de inyección de aire está conectado opcionalmente a un sifón de aire configurado para permitir que el aire se acumule y se libere periódicamente al orificio (40) de inyección de aire.

- 5 7. Un sistema de contención según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el orificio (40) de inyección de aire está configurado para introducir aire axialmente, radialmente, tanto axial como radialmente, o formando ángulo para inducir un flujo de agua turbulento dentro del canal (7) de elevación de aire.
8. Un sistema de contención según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el orificio (40) de inyección de aire está a 3,0 m o menos por debajo de la superficie de líquido dentro del collar (20) modular del sistema de contención.
- 10 9. Un sistema de contención según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que el sistema (4) de mezcla de elevación de aire está configurado para controlar el nivel de líquido dentro del módulo (1) de membrana contenido en relación con el nivel de líquido fuera del módulo (1) de membrana contenido.
- 15 10. Un sistema de contención según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que al menos un panel (3a,3b,3c,3d) en un módulo (1) de membrana contenido de cuatro caras está configurado para que cada uno aloje el sistema (4) de mezcla de elevación de aire.
- 20 11. Un sistema de contención según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que al menos dos, tres o todos los paneles de un módulo de membrana contenido de cuatro caras están configurados cada uno para alojar el sistema de mezcla de elevación de aire.
- 25 12. Un sistema de contención según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, que comprende además medios de distribución de flujo de líquido en el espacio vacío del módulo de membrana contenido configurados para proporcionar un flujo de líquido uniforme a través del módulo (1) de membrana contenido.
- 30 13. Un sistema de contención según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que el sistema de contención es modular, y en el que puede apilarse una pluralidad de módulos (1) de membrana contenidos uno encima del otro.
- 35 14. Un sistema de contención según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en el que el colector (99) de gas inferior puede purgarse de líquido que puede acumularse como resultado de condensación o fugas; y en el que se suministra opcionalmente un alto caudal de aire al colector (99) inferior o bien aumentando el flujo de aire a través de las membranas o mediante aire complementario suministrado directamente al colector (99) inferior, o una combinación de ambas, para transportar el líquido acumulado o bien al sistema (4) de mezcla de elevación de aire o a la superficie de líquido.

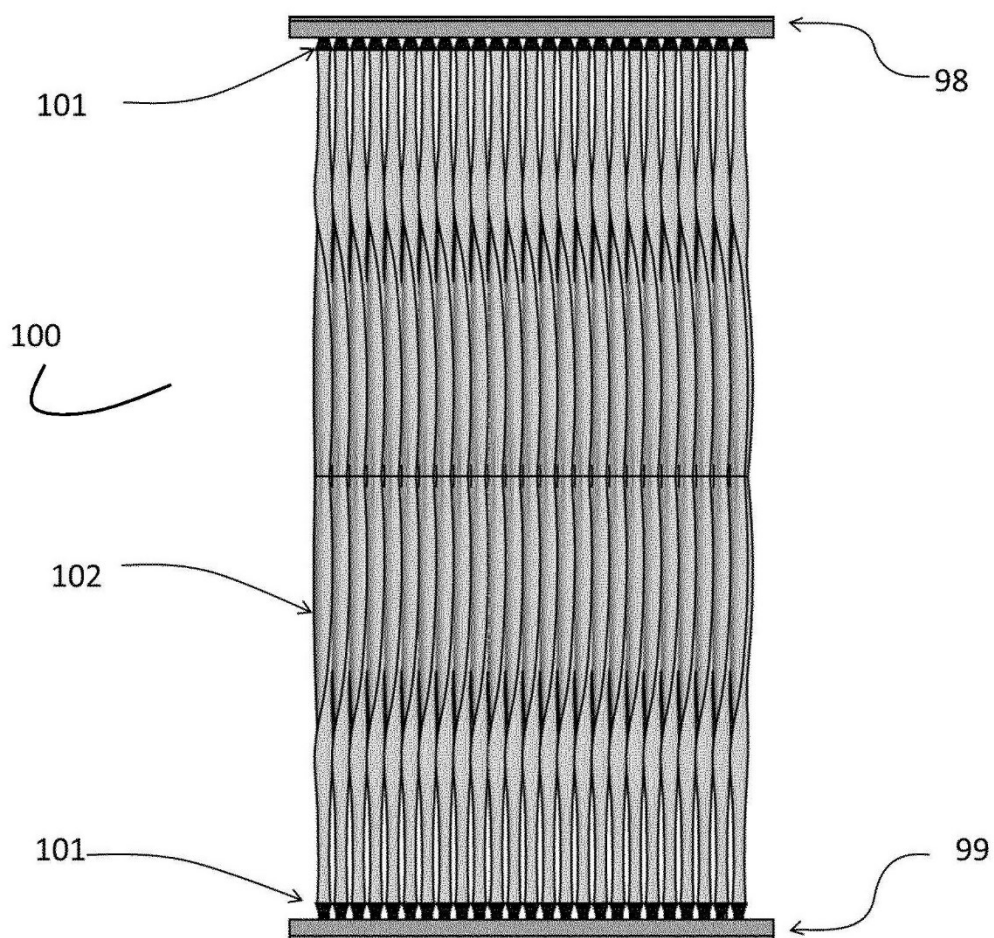


Figura 1A

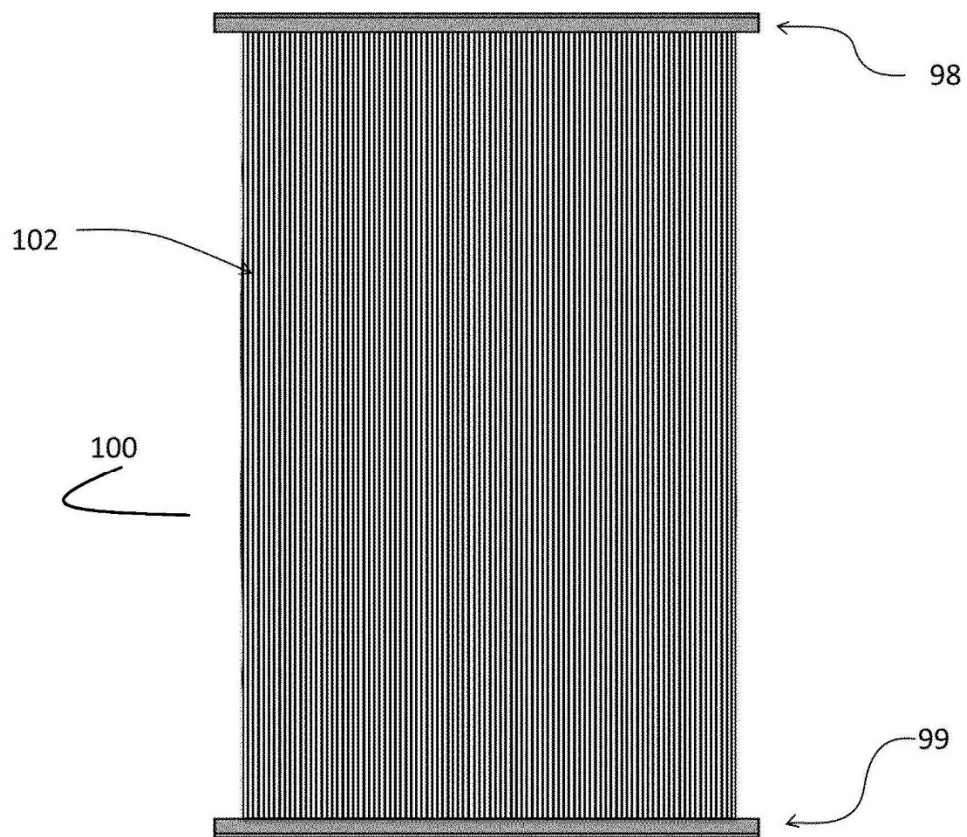


Figura 1B

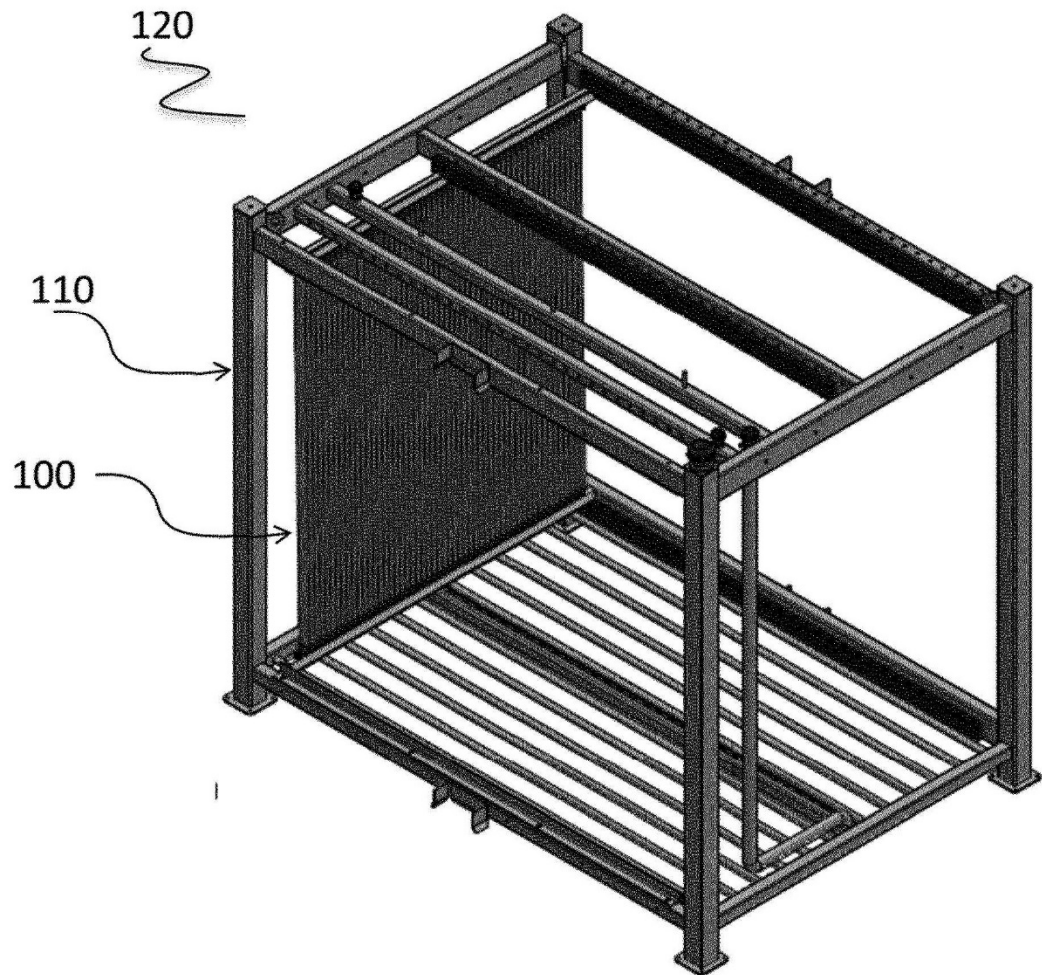


Figura 1C

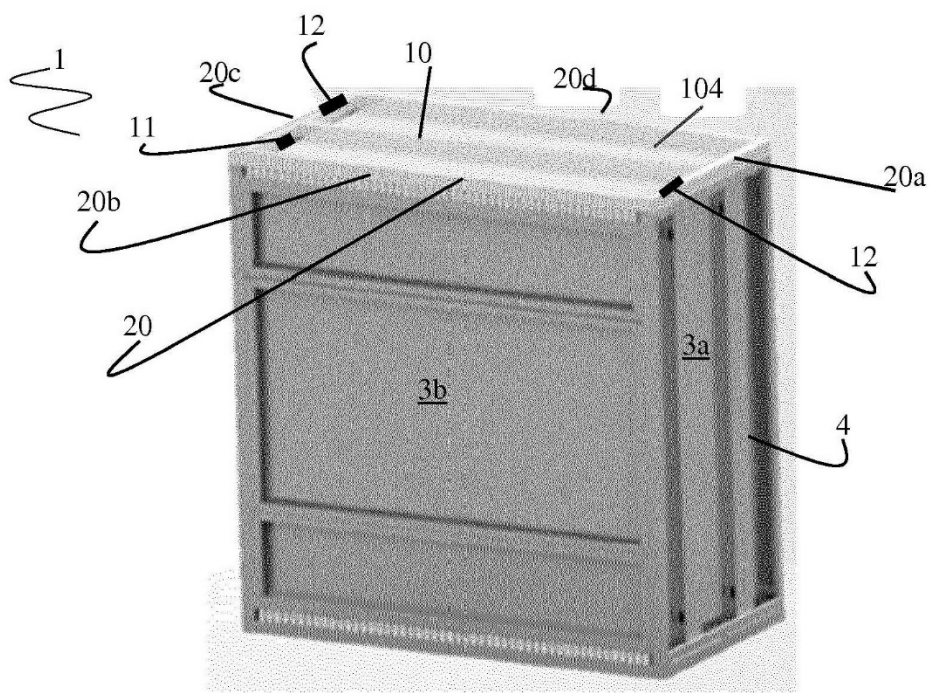


Figura 2A

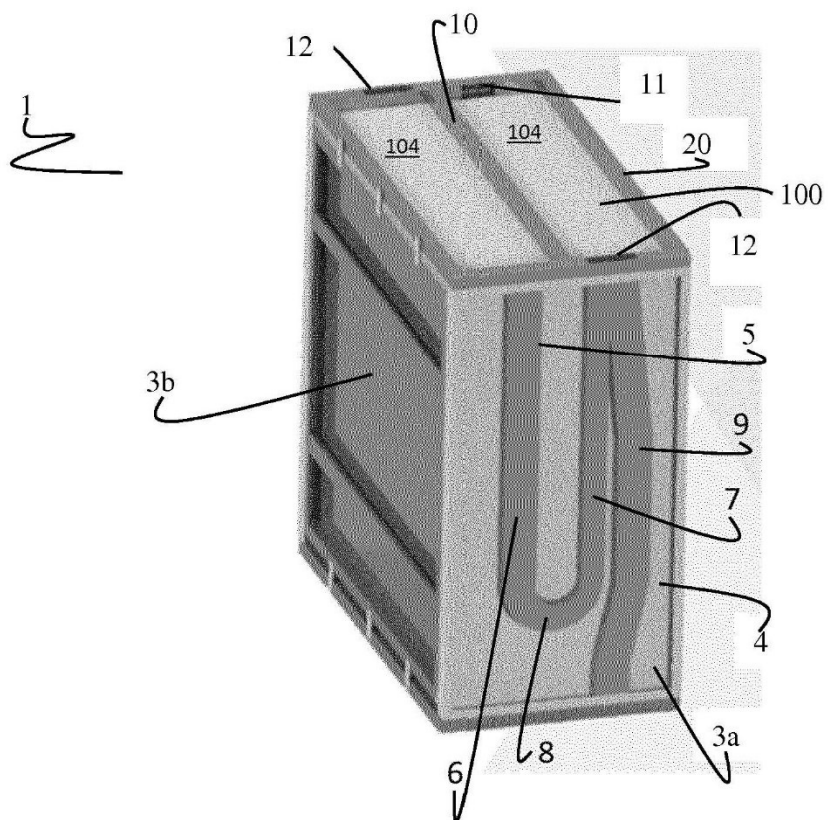


Figura 2B

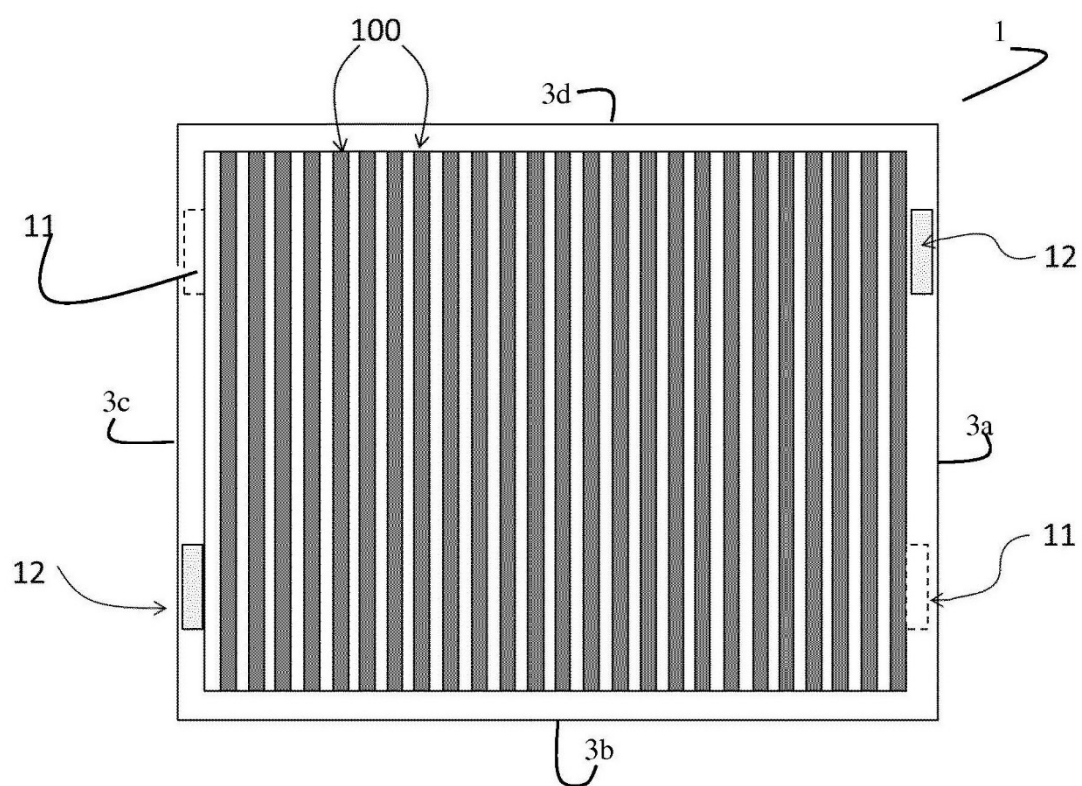


Figura 2C

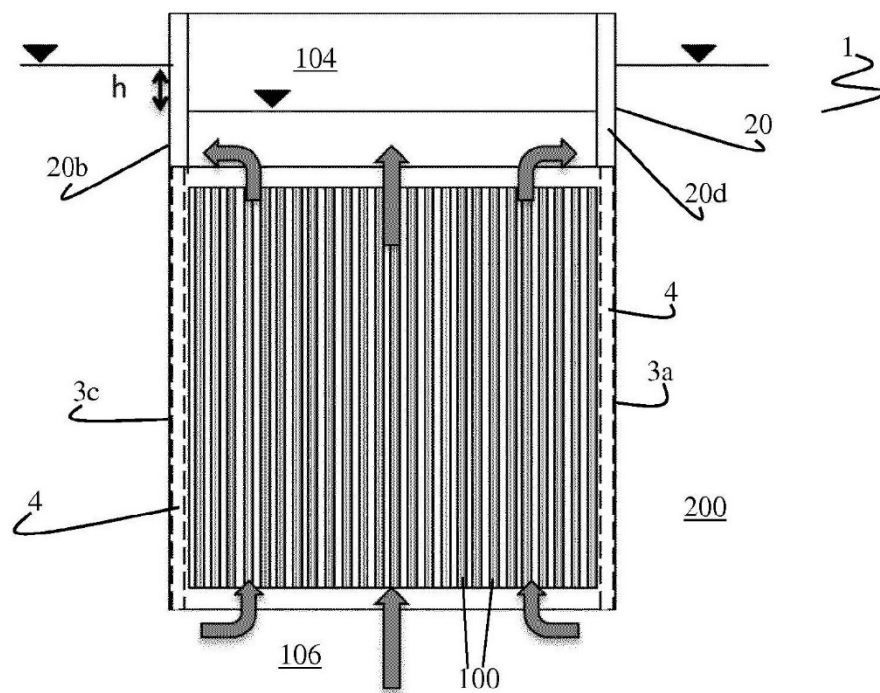


Figura 3A

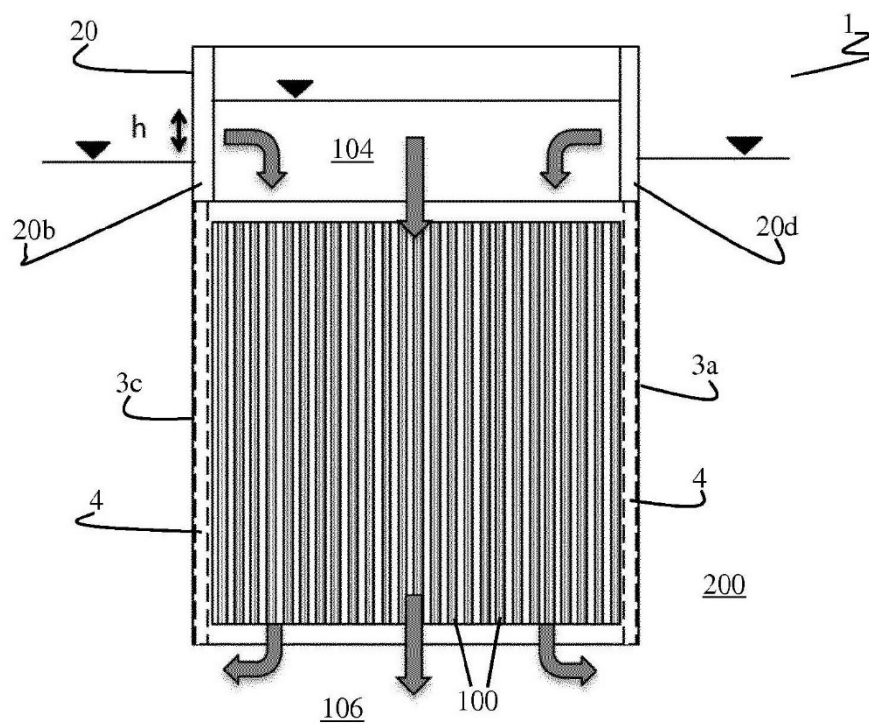


Figura 3B

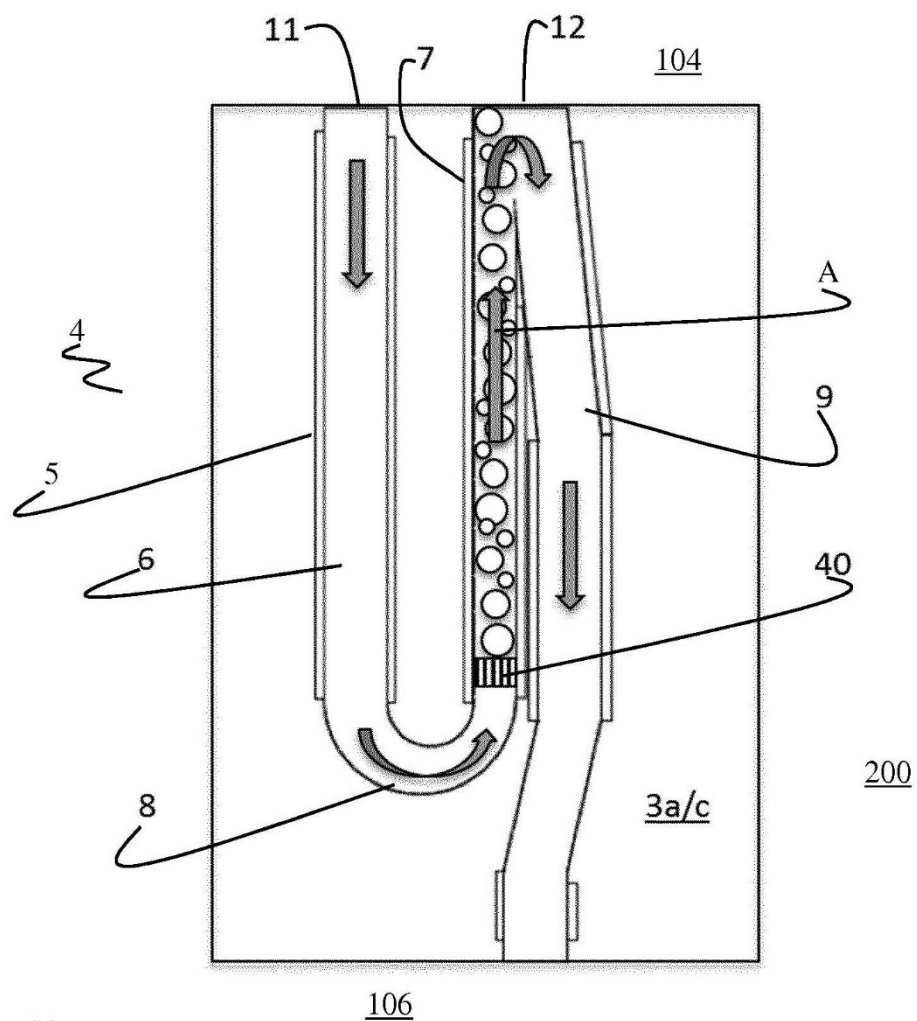


Figura 4A

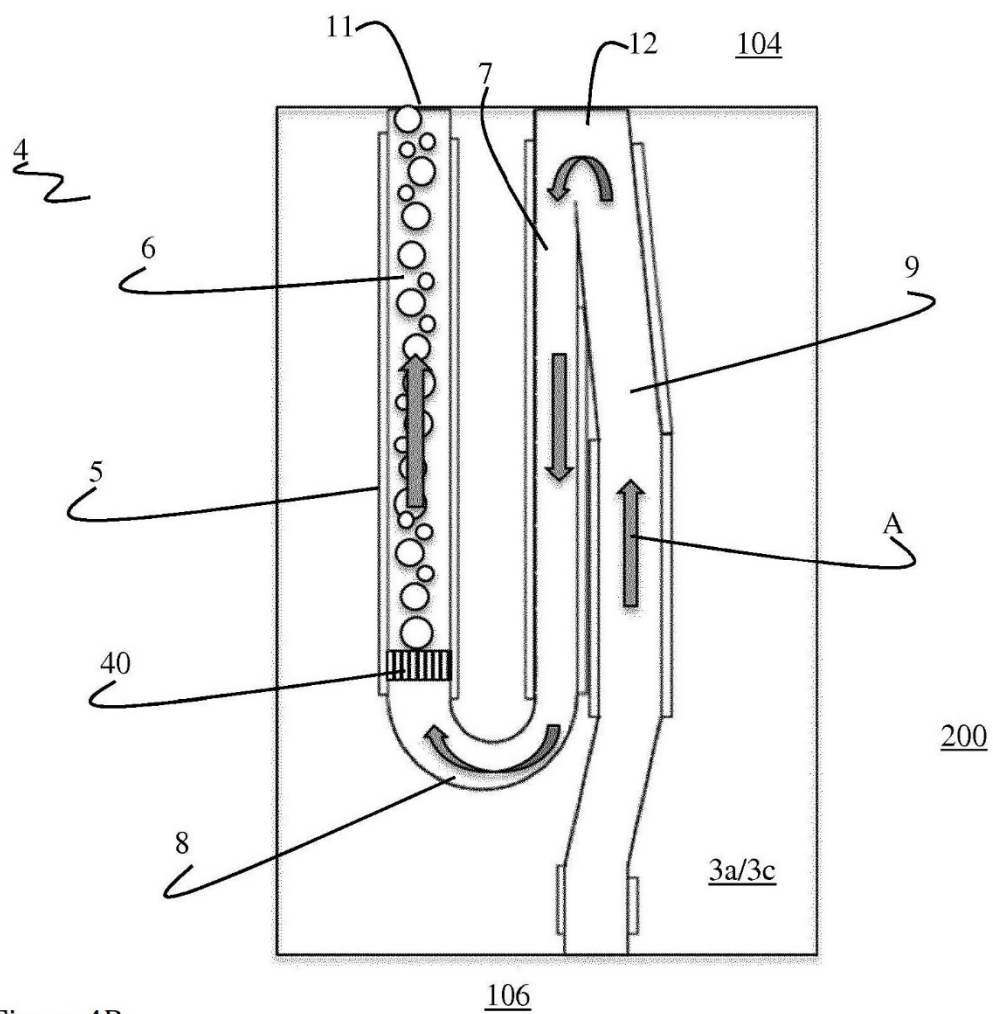
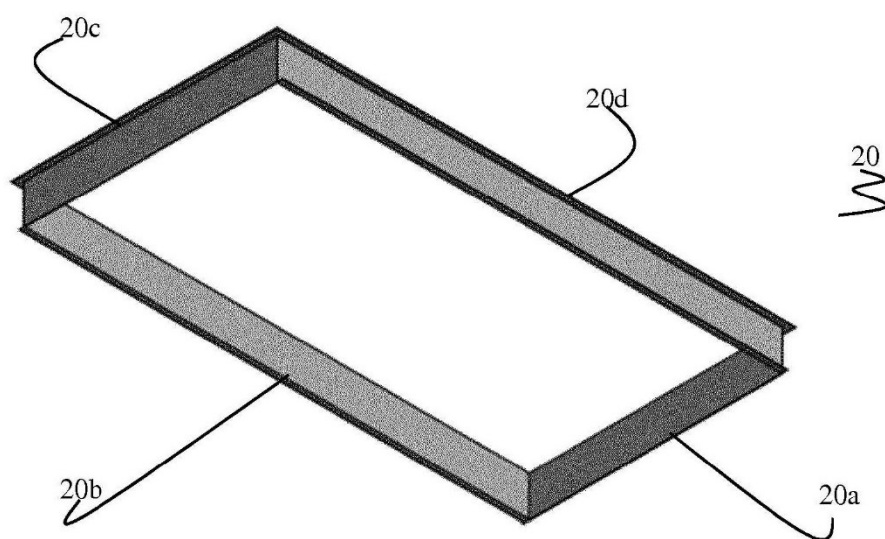
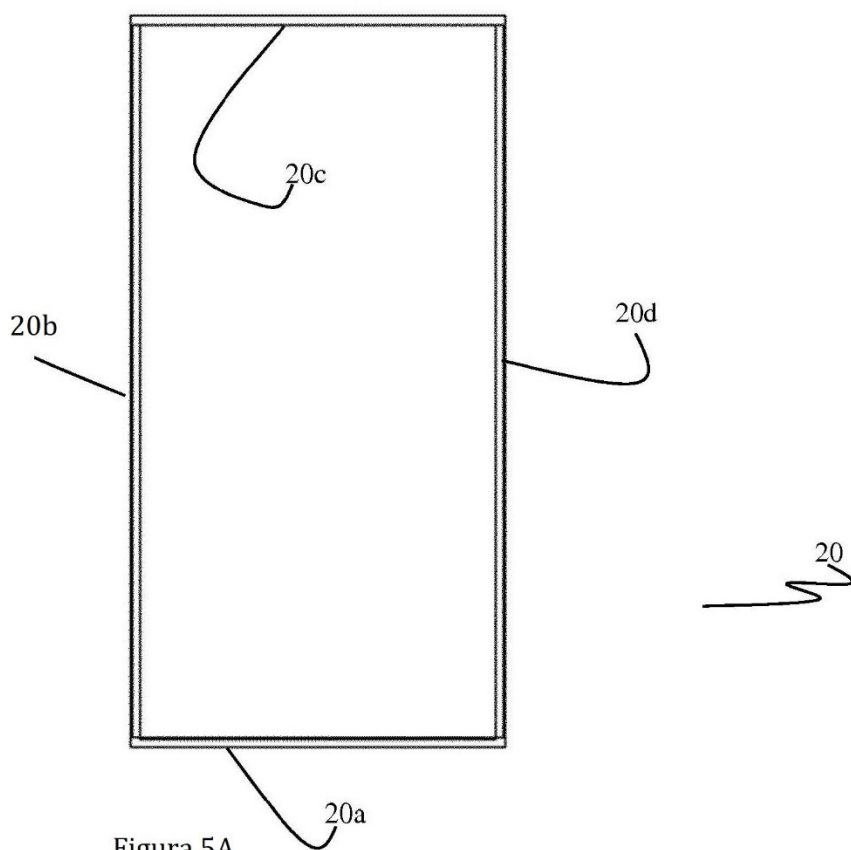


Figura 4B



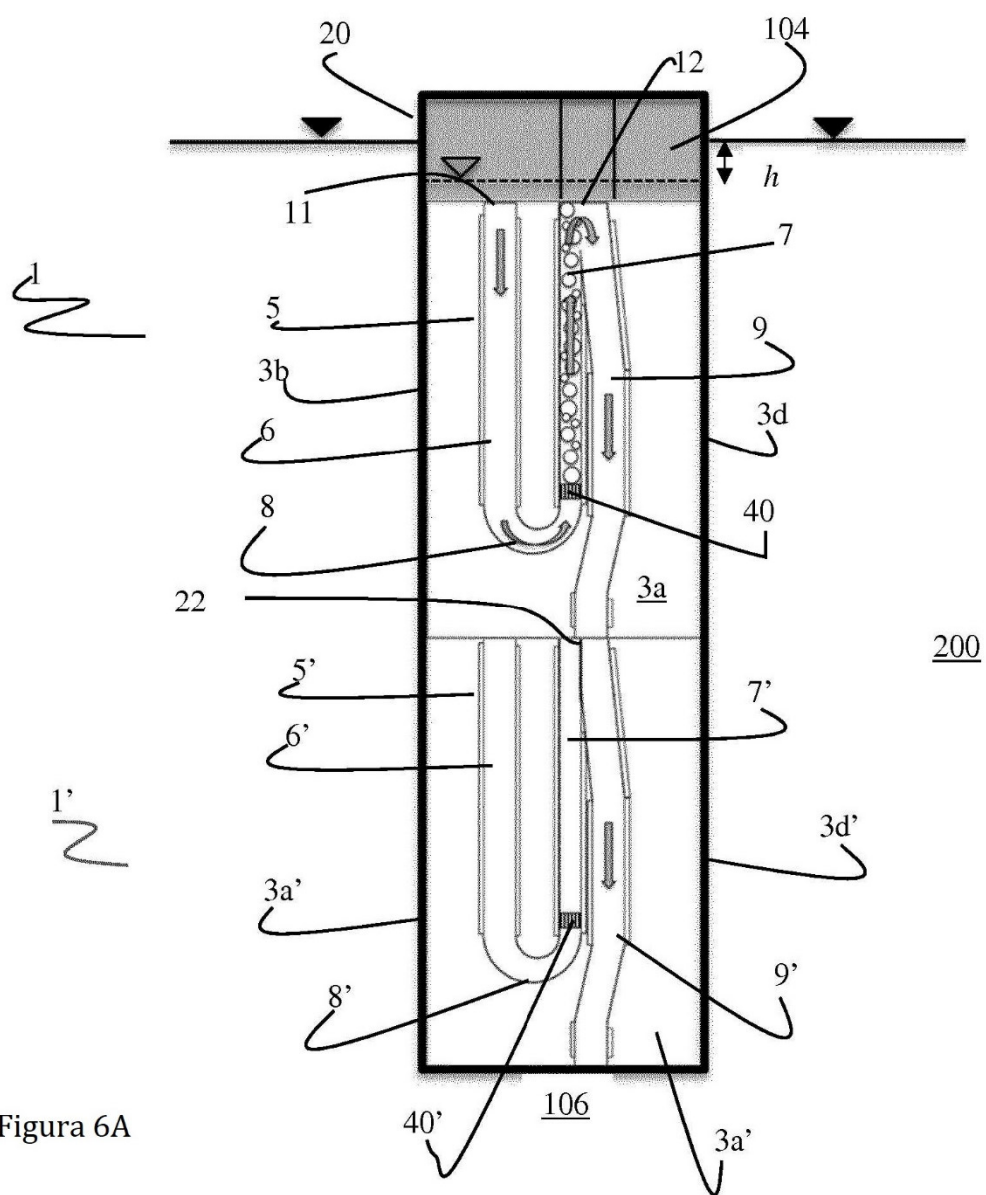


Figura 6A

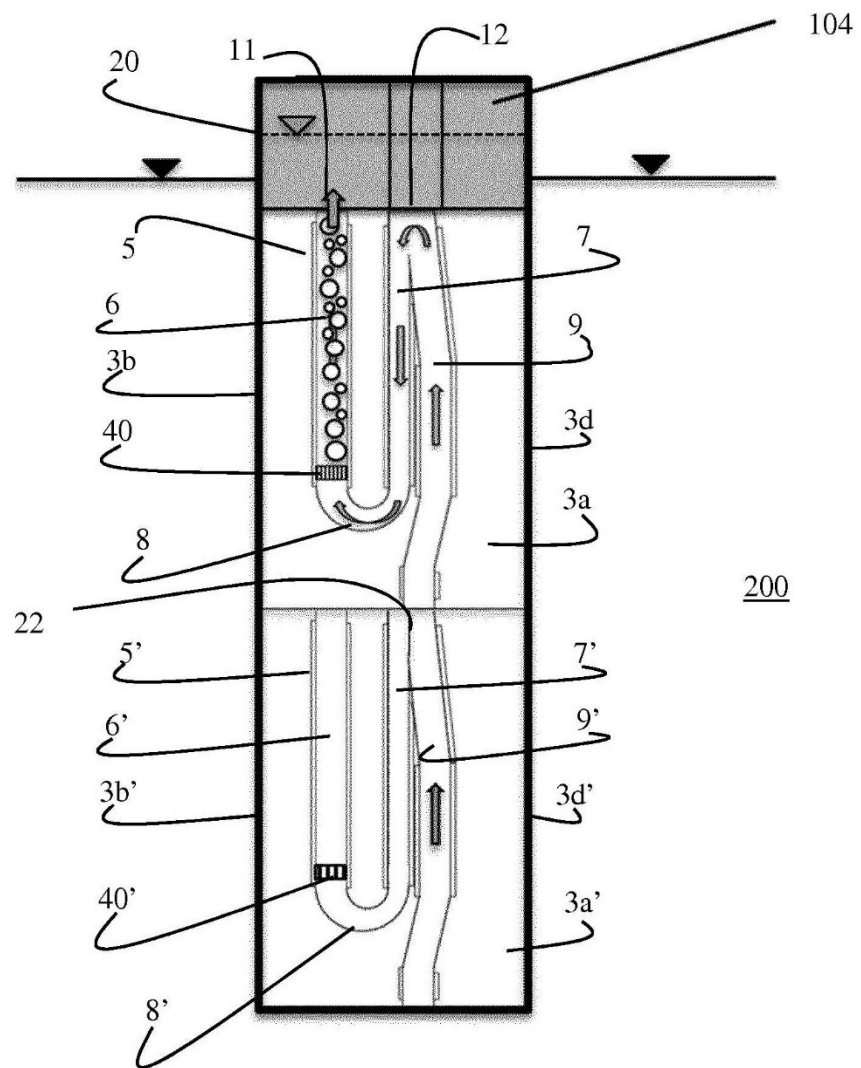


Figura 6B

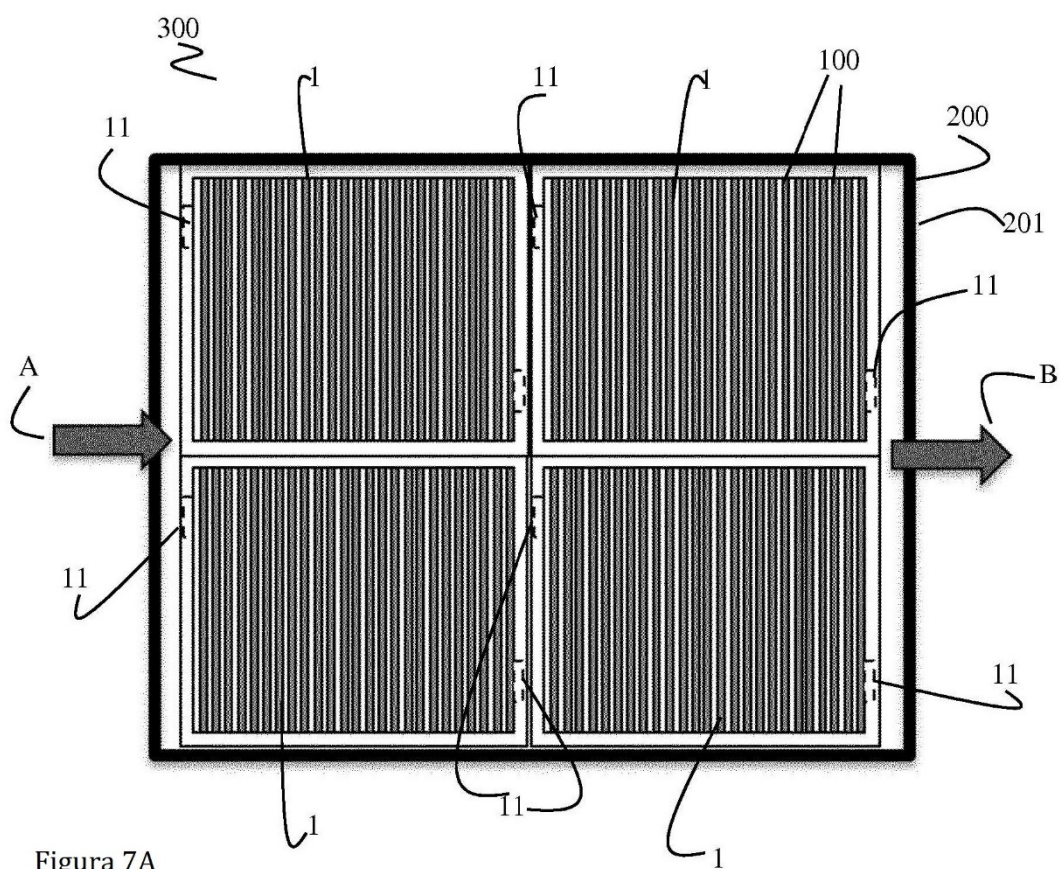


Figura 7A

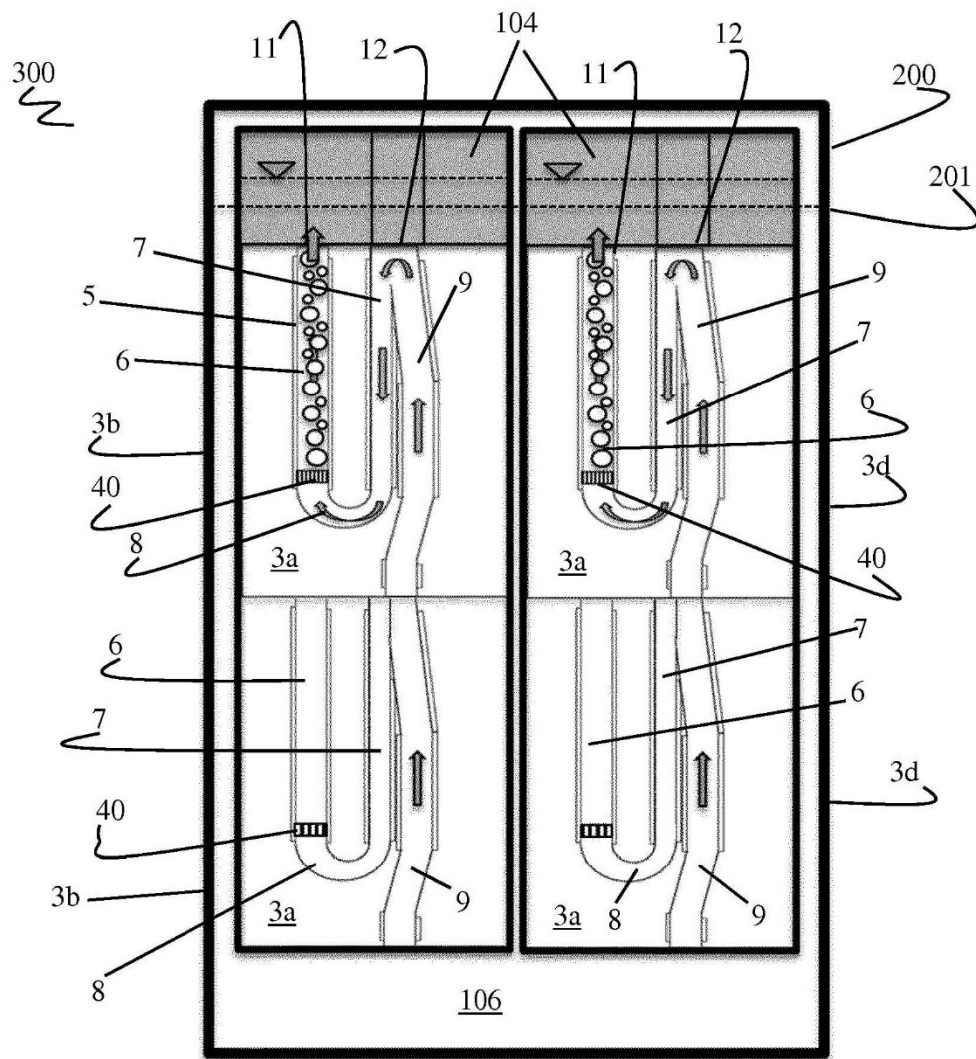


Figura 7B

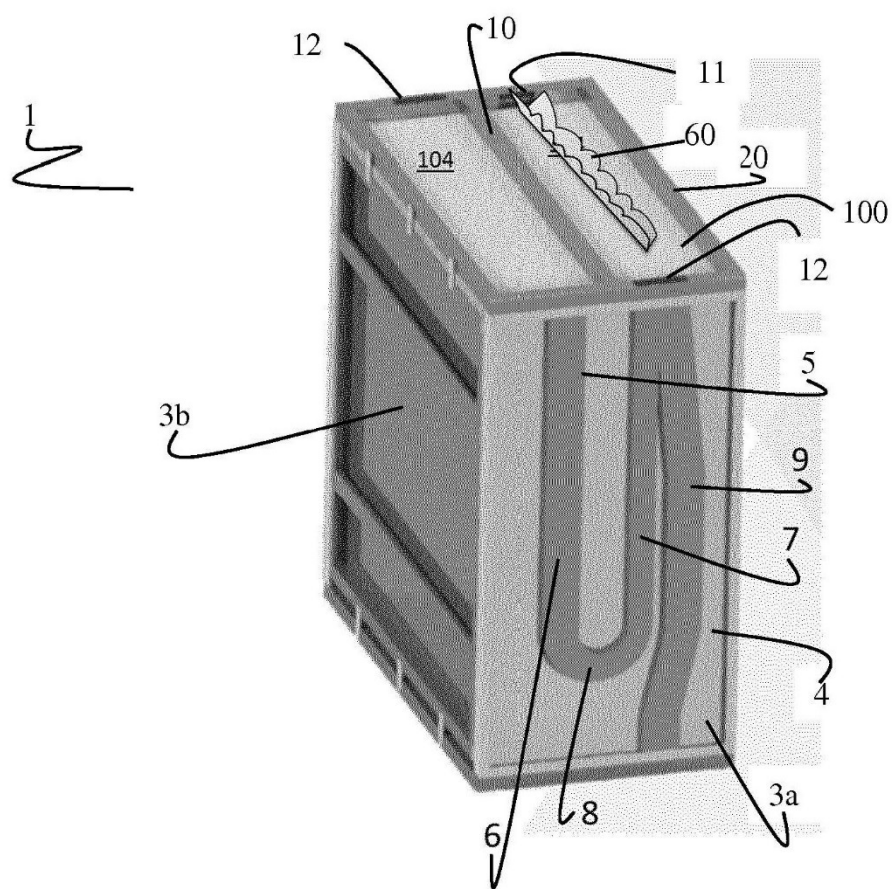


Figura 8

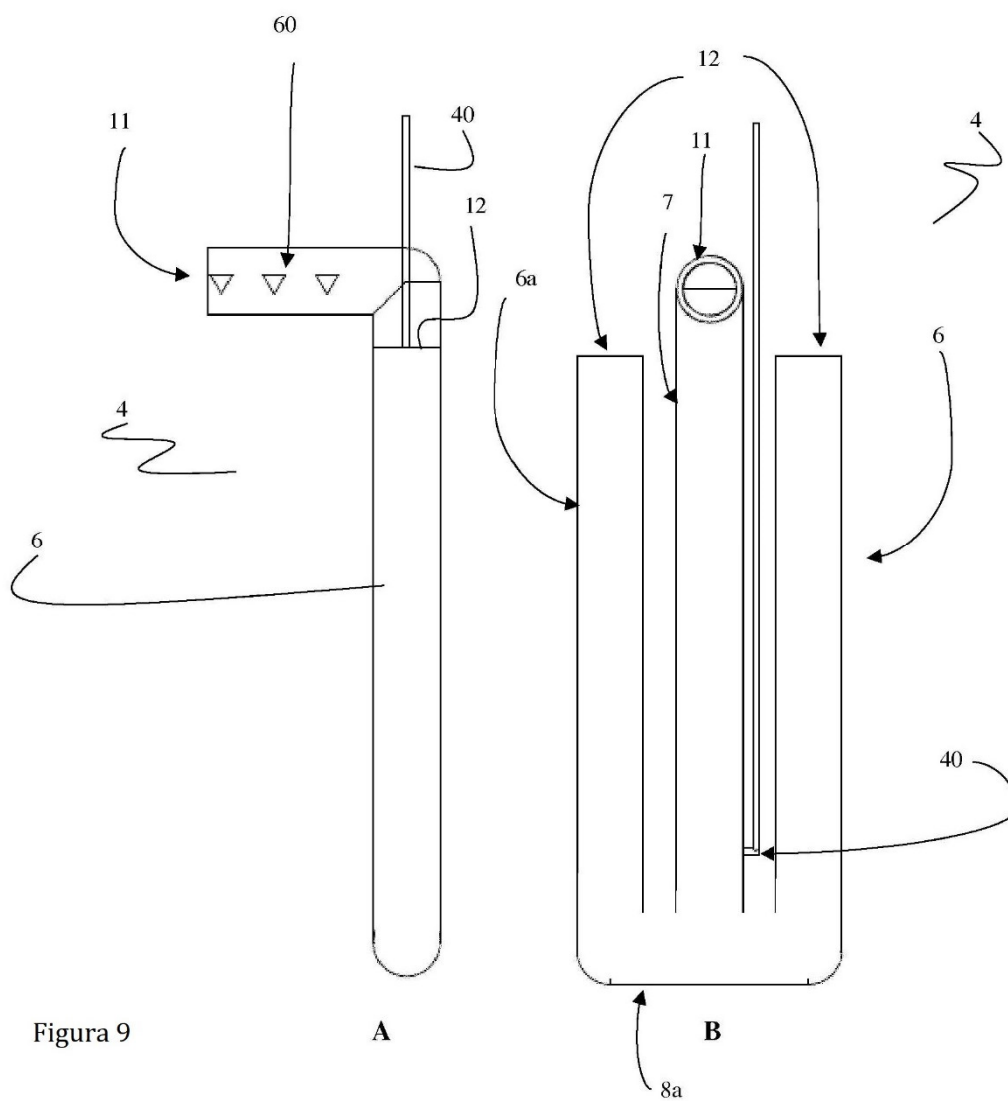


Figura 9

A

B

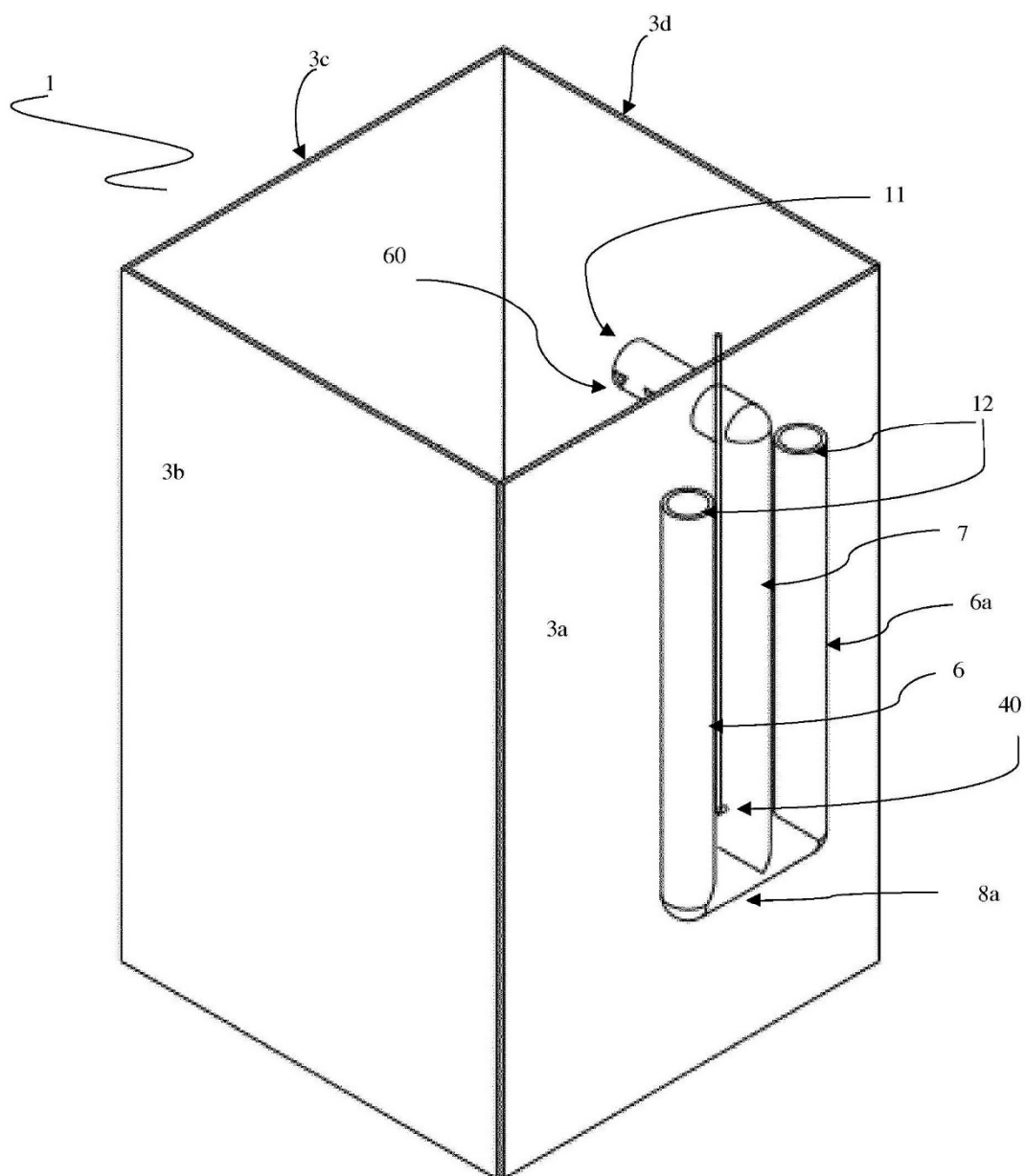


Figura 9C