

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 796 256**

51 Int. Cl.:

C02F 3/10 (2006.01)

C02F 3/12 (2006.01)

C02F 3/20 (2006.01)

C02F 3/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.09.2015 PCT/IL2015/050910**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.03.2016 WO16038606**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.09.2015 E 15778060 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.03.2020 EP 3191414**

54 Título: **Módulo, biorreactor y método para tratar el agua**

30 Prioridad:

08.09.2014 US 201462047267 P

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

26.11.2020

73 Titular/es:

**EMFCY LTD. (100.0%)
7 Ha-Eshel Street, P.O. Box 3171, Industrial Park
3088900 Caesarea, IL**

72 Inventor/es:

**SHECHTER, RONEN-ITZHAK;
LEVY, EYTAN BARUCH;
ESHED, LIOR;
BAR-TAL, YARON;
SPECTOR, TOMER y
SIEGEL, NOAM MORDECHAI**

74 Agente/Representante:

VIDAL GONZÁLEZ, Maria Ester

ES 2 796 256 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

Módulo, biorreactor y método para tratar el agua

5 Campo tecnológico

La descripción se refiere a tecnologías de tratamiento de agua y en particular al tratamiento de aguas residuales.

Técnica antecedente

10

A continuación, se enumeran las referencias que se consideran relevantes como antecedentes de la materia:

- Publicación de solicitud de patente internacional núm. WO 2011/073977
- Publicación de solicitud de patente internacional núm. WO 2008/130885
- 15 - Publicación de solicitud de patente internacional núm. WO 2013/059216
- Publicación de solicitud de patente internacional núm. WO 2013/039626
- Publicación de solicitud de patente internacional núm. WO 2001/066474

20 El reconocimiento de las referencias anteriores en la presente descripción no debe deducirse como que son de alguna manera relevantes para la patentabilidad de la materia descrita actualmente.

Antecedentes

25 Los sistemas reactores de tratamiento de agua pueden variar en dependencia del tipo de tratamiento requerido. Algunos reactores se consideran biorreactores, ya que típicamente utilizan microorganismos para la degradación biológica de los contaminantes orgánicos presentes en el agua a tratar. Algunos reactores emplean medios de aireación para, entre otras cosas, agitar el agua a tratar.

30 El documento WO 2011/073977 describe un sistema para tratar aguas residuales que incluye al menos una vía de tratamiento de agua que tiene al menos una entrada de aguas residuales, al menos una pared permeable al oxígeno, impermeable al agua, que separa el interior de la vía del aire exterior y al menos una salida de aguas residuales tratadas y dispuesta para al menos el tratamiento aeróbico de las aguas residuales a medida que fluyen desde la al menos una entrada de aguas residuales hasta al menos una salida de aguas residuales tratadas, al menos un conducto de suministro de aguas residuales, suministrar las aguas residuales a la al menos una entrada de aguas
35 residuales de la vía de tratamiento de agua y al menos un conducto de aguas residuales tratadas, suministrar las aguas residuales tratadas desde la al menos una salida de aguas residuales tratadas de la al menos una vía de tratamiento de agua.

40 El documento WO 2008/130885 describe un aparato de biopelícula soportada por membranas que tiene una pluralidad de membranas de fibra hueca permeables a los gases en un tanque que contiene agua a tratar. Las membranas tienen un diámetro exterior de aproximadamente 200 micras o menos y ocupan entre 0,5 por ciento y 4 por ciento del volumen del tanque. Una biopelícula soportada en las membranas ocupa entre aproximadamente 40 por ciento y 80 por ciento del volumen de agua a tratar en un reactor. Las membranas se orientan generalmente de manera vertical y puede localizarse un espaciador cerca de la parte inferior del aparato para dispersar las membranas. También se describen
45 procesos de tratamiento de aguas residuales.

50 El documento WO 2013/059216 describe un módulo para su uso en un reactor de biopelícula de membrana y sistemas que comprenden dichos módulos. El módulo comprende una tela formada a partir de una lámina de membranas de fibra hueca y un material separador situado entre láminas de membrana adyacentes, que se enrollan alrededor de un tubo núcleo central en el módulo.

55 El documento WO 2013/039626 describe un sistema de aireación con aireadores que generalmente permanecen llenos de aire cuando el suministro de aire a presión se desconecta o se ventila. El agua no alcanza los orificios de descarga de burbujas dedicados del aireador, que se mantienen sin obstrucciones. El aireador tiene un cuerpo con un orificio a través de una pared del cuerpo para descargar las burbujas. El orificio está rodeado por un faldón en la pared del cuerpo. El faldón se extiende por debajo de la elevación del orificio. El cuerpo del aireador se conecta a una fuente de gas a presión a través de una cámara con la parte inferior abierta. Una abertura entre el cuerpo del aireador y el interior de la cámara se encuentra debajo de la elevación del orificio. Cuando el suministro de gas se apaga, el agua entra a la cámara y posiblemente al faldón. Sin embargo, el agua solo puede subir hasta que haya alcanzado el faldón
60 y la abertura, ambos de los cuales están debajo del orificio, y todo el cuerpo del aireador se mantiene seco. El ensuciamiento del aireador se reduce, y el aireador comienza a producir rápidamente un flujo uniforme de burbujas cuando retorna el suministro de gas.

65 El documento WO 2001/066474 describe un aparato para transferir gas hacia o desde un líquido que tiene una membrana flexible y permeable al oxígeno, pero impermeable al agua líquida, un separador flexible y permeable a los

gases, un conducto de entrada, un conducto de salida y un sistema de retención no rígido. Cuando se usa para tratar aguas residuales, se cultiva una biopelícula aerobia adyacente a los elementos planos, se cultiva una biopelícula anóxica adyacente a la biopelícula aerobia y las aguas residuales se mantienen en un estado anaerobio. Un primer reactor para tratar aguas residuales tiene una sección anaerobia, una pluralidad de módulos de membranas de transferencia de gas y una sección aerobia. Se cultiva una biopelícula en la superficie de las membranas de transferencia de gas denle comunicación de fluidos con la sección anaerobia. Se logra la reducción biológica de COD, BOD, nitrógeno y fósforo. En un segundo reactor, el fósforo también se elimina químicamente en una rama de precipitación.

10 Descripción general

La presente descripción se basa en el desarrollo de un reactor mejorado para tratar agua o medios que contienen agua. Específicamente, se ha desarrollado un módulo eficiente, rentable y que ahorra tiempo para el tratamiento de agua con el uso de un recinto alargado, similar a un manguito, en el que el gas fluye y puede difundir desde al menos parte de las paredes del recinto similar a un manguito hasta el agua externa al recinto, el gas se selecciona de modo que participe en la descomposición de la materia dentro del agua externa al manguito (por ejemplo, contaminantes, materia orgánica); el agua se expone además a las corrientes de gas descargadas desde una disposición difusora como se analiza en más detalle más adelante.

20 Por lo tanto, la presente invención proporciona, de acuerdo con un primero de sus aspectos, un módulo de tratamiento de agua, como se define en la reivindicación 1, que comprende al menos un recinto de gas alargado que comprende una entrada de gas y dos paredes verticales. Al menos una de las paredes verticales tiene una membrana impermeable al agua y permeable a los gases con un lado orientado al agua y un lado orientado al gas. Por lo tanto, las dos paredes verticales separan el agua externa a dicho recinto de gas y el gas dentro de dicho recinto. El recinto de gas tiene una configuración enrollada o bobinada para definir de ese modo una trayectoria horizontal convoluta para el gas en el recinto de gas y uno o más espacios para el tratamiento de agua formados entre los lados opuestos orientados al agua del recinto de gas, es decir, externos al recinto convoluto. El módulo también comprende una disposición difusora con al menos un difusor de gas configurado para introducir una corriente de gas (típicamente en forma de burbujas) en el uno o más espacios para el tratamiento de agua.

30 En operación, el gas se difunde a través de dicha membrana al uno o más espacios para el tratamiento de agua y participa en la descomposición de los contaminantes dentro del agua. Además, en operación, la disposición difusora provoca, entre otras cosas, turbulencias dentro del agua lo que mejora el rendimiento del tratamiento.

35 En algunas modalidades, el gas que se difunde a través de la membrana hacia el(los) espacio(s) de tratamiento de agua es o comprende oxígeno, y las bacterias, que forman típicamente una biopelícula en la membrana, utilizan el oxígeno difundido y provocan la descomposición de los contaminantes orgánicos que existen en el agua. El gas descargado desde el al menos un difusor en la disposición difusora agita el agua en el espacio para el tratamiento de agua, lo que hace que los nutrientes de las bacterias dentro del agua estén más disponibles para las bacterias, y provoca la ruptura de la biopelícula adherida en el lado orientado al agua de las paredes (mediante la limpieza de las paredes), para reducir o incluso evitar de ese modo la obstrucción de las paredes y el espacio para el tratamiento de agua con la biopelícula.

45 El recinto convoluto puede definir uno o más espacios alargados para el tratamiento de agua configurados de modo que estén en comunicación con dicha agua. En algunas modalidades, el recinto convoluto, junto con uno o más espacios para el tratamiento de agua y la disposición difusora se sumergen (parcial o totalmente) en agua. El agua puede estar dentro de un tanque dedicado, un estanque, una fuente de agua natural, etcétera, como se describe en más detalle más adelante. En algunas modalidades adicionales, el recinto convoluto, junto con uno o más espacios alargados para el tratamiento de agua, tiene un extremo en comunicación de flujo con una entrada de agua de alimentación y otro extremo con una salida de agua tratada.

55 La disposición difusora se encuentra típicamente debajo del recinto de gas convoluto. Los difusores de gas en la disposición difusora comprenden aberturas de liberación de gas que se colocan debajo de uno o más espacios para el tratamiento de agua. Como resultado, y de acuerdo con algunas modalidades, las corrientes de gas expulsadas o liberadas de los difusores de gas proporcionan la mezcla del agua en el espacio para el tratamiento de agua, lo que limpia al menos partes de los lados orientados al agua del recinto, enriquece el agua con el gas requerido para la descomposición de la materia en la misma, etcétera.

60 En algunas modalidades, el módulo comprende uno o más primeros elementos separadores dispuestos dentro del recinto de gas alargado y configurados para mantener una primera distancia mínima entre los lados opuestos orientados al gas de las dos paredes verticales. El uno o más primeros elementos separadores tienen típicamente un grosor o se configuran de cualquier otro modo para mantener la primera distancia mínima entre aproximadamente 1 y aproximadamente 20 mm.

65 En algunas modalidades, el módulo comprende uno o más segundos elementos separadores dispuestos dentro del uno o más espacios para el tratamiento de agua para mantener una segunda distancia mínima entre dichos lados

ES 2 796 256 T3

opuestos orientados al agua. El uno o más primeros elementos separadores tienen típicamente un grosor o se configuran de cualquier otro modo para mantener la segunda distancia mínima entre aproximadamente 1 y aproximadamente 20 mm.

5 En algunas modalidades, el grosor del uno o más primeros elementos separadores está entre 1 y 10 mm, en ocasiones, entre 2-4 mm.

En algunas modalidades, el grosor del uno o más segundos elementos separadores está entre 1 y 10 mm, en ocasiones, entre 2-6 mm

10 El uno o más primer y segundo elementos separadores no necesitan tener el mismo grosor y, en algunas modalidades, el grosor del uno o más primer y segundo elementos separadores es diferente.

15 El uno o más primer o segundo elementos separadores pueden tener la forma general de una rejilla o red. Aunque pueden constituir elementos independientes, en algunas modalidades, el elemento separador se forma integralmente en al menos una parte de una de las paredes verticales. Por ejemplo, dichos elementos separadores integrales pueden configurarse como estribos en al menos una pared vertical. Los estribos pueden tener forma de barras, hoyuelos, ondulaciones, protuberancias en forma de gancho o cualquier combinación de los mismos.

20 Las dos paredes verticales del recinto son típicamente integrales; por ejemplo, formadas (por ejemplo, por extrusión) como un manguito alargado. En todavía alguna modalidad, las dos paredes verticales se sueldan entre sí en sus extremos superior y/o inferior.

25 Según una modalidad, el recinto de gas se enrolla en espiral. Según otra modalidad, el recinto de gas se bobina (se pliega) para formar una trayectoria de flujo de gas en acordeón (zigzag o "serpenteo de ida y vuelta").

30 Al menos una parte del lado orientado al agua de la membrana impermeable al agua, permeable a los gases, soporta el crecimiento de biopelícula sobre la misma. En algunas modalidades, el lado orientado al agua de la membrana impermeable al agua, permeable a los gases que soporta el crecimiento de biopelícula se trata en la superficie o comprende material que soporta el desarrollo de biopelícula. En algunas modalidades, la membrana proporciona un área superficial grande para el crecimiento de biopelícula sobre la misma y la permeabilidad de la membrana proporciona una ventaja selectiva para las bacterias convenientes, tal como el suministro de aire desde el interior del recinto para bacterias aerobias, el suministro de metano desde el interior del recinto para bacterias metanotróficas para metano, para así brindar soporte al desarrollo de biopelícula.

35 La disposición difusora comprende aberturas de gas para descargar corrientes de gas al agua en el espacio para el tratamiento de agua.

40 En algunas modalidades, la disposición difusora comprende aberturas de gas que proporcionan burbujas al agua en el espacio para el tratamiento de agua. En este contexto, la disposición difusora se considera una estructura de rociado de gas.

45 En algunas modalidades, la disposición difusora de gas comprende un conducto de gas con aberturas de gas separadas.

En algunas modalidades adicionales, la disposición difusora se forma como un segundo recinto alargado debajo de dicho recinto de gas. En algunas modalidades, el segundo recinto alargado se forma integralmente con dicho recinto de gas como se describe en más detalle y se ilustra a continuación.

50 Una disposición difusora también es parte de la presente descripción. Específicamente, esta descripción también proporciona una disposición difusora que comprende al menos uno, pero preferentemente una pluralidad de difusores de gas, cada uno de los cuales tiene un primer conducto, un segundo conducto y una cámara de gas/líquido. El primer conducto está en comunicación de gas en su parte superior con una o más aberturas de descarga de gas y está en comunicación de fluidos en su parte inferior con el segundo conducto. El segundo conducto está en comunicación de fluidos en su parte superior con la cámara de gas/líquido. La cámara de gas/líquido tiene una parte superior sellada, se abre en su parte inferior a una fuente de líquido y está en comunicación de gas con una fuente de gas a presión, la presión es suficiente para desplazar el líquido fuera de la cámara. En operación, el gas desplaza el líquido de la cámara de gas/líquido, y al mismo tiempo desplaza el líquido de los dos conductos (fuera de las aberturas de descarga). Una vez que todo el líquido se ha desplazado fuera de los dos conductos, se establece una unión de gas directa entre la cámara de gas/líquido y las aberturas de descarga de gas, lo que provoca una ráfaga de descarga de gas. Esta ráfaga drena el gas fuera de dicha cámara y la reentrada de líquido provoca el cese de la ráfaga de descarga de gas; y después se reinicia este ciclo de operación.

65 Esta disposición difusora es adecuada para el uso en el módulo de tratamiento de agua de esta descripción. En dicho uso, la fuente de líquido es típicamente el agua a tratar. Tal difusor puede encontrarse separado del recinto de gas y/o los elementos separadores. En algunas modalidades, este tipo de disposición difusora se forma integralmente con una

porción inferior de al menos una de las paredes verticales y/o una porción inferior del segundo elemento separador. En algunas modalidades, este tipo de disposición difusora se forma integralmente en una porción inferior del recinto de gas.

5 De acuerdo con la invención, el recinto de gas se mantiene unido con la ayuda de estructuras de soporte.

Se proporciona una estructura de soporte superior, que se conecta al menos a una porción superior de dicho recinto y se configura para mantener el recinto en su configuración de trayectoria horizontal convoluta prevista cuando el módulo se sumerge en agua.

10 Se proporciona una estructura de soporte inferior, que se conecta al menos a una porción inferior de dicho recinto y se configura para mantener el recinto en su configuración de trayectoria horizontal convoluta prevista cuando el módulo se sumerge en agua.

15 En algunas modalidades, la configuración del recinto de gas se encuentra soportada por una estructura de soporte vertical central, típicamente, una estructura de soporte vertical tubular que se extiende desde los extremos superior a inferior del recinto de gas. La estructura de soporte tubular central puede tener una sección transversal circular, por ejemplo, cuando el recinto de gas se enrolla en espiral, una sección transversal elíptica, una sección transversal cuadrada, etcétera, el recinto de gas se enrolla en consecuencia de modo que corresponda con la forma del elemento de soporte tubular central.

20 En algunas modalidades, la estructura de soporte central también proporciona un canal para recibir el agua a tratar y canalizarla al uno o más espacios para el tratamiento de agua.

25 El módulo de tratamiento de agua puede comprender en ocasiones dos o más de dichos recintos de gas alargados apilados uno encima del otro. En algunas modalidades, los dos o más recintos de gas alargados están separados por una estructura de soporte (cada par de módulos "se intercala con" una estructura de soporte). En algunas modalidades, dichos módulos apilados comparten una disposición difusora en la parte inferior del módulo más bajo en la pila.

30 Esta descripción también proporciona un biorreactor que comprende un tanque de tratamiento de agua con una entrada de agua de alimentación y una salida de agua tratada y uno o más módulos del tipo descrito anteriormente. Un biorreactor puede comprender uno, dos, tres o más módulos dentro del mismo tanque.

35 En algunas modalidades, como se analiza en más detalle más adelante, una cuenca o un estanque natural o artificial que retiene agua a tratar puede servir como un tanque.

40 En algunas modalidades, el biorreactor se configura para descargar los sólidos del agua que se trata. Con este fin, y de acuerdo con algunas modalidades, el tanque comprende una salida de descarga de sólidos y, en ocasiones, también comprende un tanque de separación para recibir el agua tratada y para eliminar los sólidos de dicha agua tratada.

45 En algunas modalidades, el biorreactor comprende en una porción superior de dicho tanque de tratamiento un vertedero de agua configurado para recibir el agua tratada y comunicar el agua tratada con dicha salida de agua tratada. En algunas modalidades, el vertedero se construye para recibir agua tratada clarificada.

50 En algunas modalidades, el biorreactor se proporciona con uno o más sensores para monitorear varios parámetros que son indicativos de la calidad del agua dentro de dicho tanque de tratamiento.

El biorreactor puede ser parte de un sistema. En consecuencia, la presente descripción también proporciona un sistema que comprende uno o más de dichos biorreactores y un controlador para controlar la operación de dicho uno o más biorreactores.

55 En algunas modalidades, dos o más biorreactores se interconectan en serie, de manera que el agua tratada que fluye de uno o más tanques de tratamiento de un biorreactor es el agua de alimentación de uno o más tanques de tratamiento subsiguientes de otro biorreactor de la serie. En algunas modalidades, dos o más biorreactores también pueden disponerse en paralelo para el flujo paralelo del agua sometida a tratamiento a través de los dos o más biorreactores. En todavía ciertas modalidades adicionales, el sistema puede comprender una combinación de dos o más biorreactores operados en serie y junto con dos o más biorreactores dispuestos en paralelo.

60 En algunas modalidades, el controlador se configura para recibir datos de uno o más sensores de dicho biorreactor y para la operación controlada de dicha disposición difusora en base a dichos datos. Por ejemplo, cuando la calidad del agua tratada descargada desde la salida de agua tratada está por debajo de un umbral predeterminado, dicho controlador manipula la disposición difusora para aumentar (volumen y/o duración) el rociado de gas al agua dentro de los espacios para el tratamiento de agua.

65

Esta invención también proporciona un método para tratar agua, como se define en la reivindicación 12, en donde el método comprende: introducir agua en uno o más espacios de agua de un biorreactor del tipo descrito en la presente descripción; introducir un gas de tratamiento de agua en el al menos un recinto de gas alargado; introducir gas en la disposición difusora para provocar de ese modo la descarga de una corriente de gas en el uno o más espacios para el tratamiento de agua; y recolectar el agua tratada. Como puede apreciarse, las secuencias de operación definidas anteriormente no son secuenciales, sino que más bien todas se producen típicamente en paralelo.

En dependencia de la naturaleza de los contaminantes en el agua, el gas puede ser aire, aire enriquecido con oxígeno o aire complementado con metano, oxígeno puro, metano puro o cualquier gas que contenga metano u oxígeno. Cuando el agua a tratar comprende materia orgánica y/o amoníaco, el gas de tratamiento de agua es típicamente uno rico en oxígeno. Cuando el agua a tratar comprende compuestos que contienen óxidos de nitrógeno (por ejemplo, nitrato), el gas de tratamiento de agua también puede ser rico en metano.

En algunas modalidades, el método comprende operar dicha disposición difusora para introducir gas de forma continua o intermitente en dicho espacio para el tratamiento de agua. En algunas modalidades, el gas introducido está en forma de burbujas discretas.

En algunas modalidades, el método comprende de forma continua (i) introducir agua en un biorreactor; y (ii) recolectar el agua tratada.

En todavía ciertas modalidades, el método comprende descargar de forma periódica el agua tratada. En esta modalidad, típicamente, se detiene la operación de la disposición difusora cuando se descarga el agua tratada.

En algunas modalidades, el método comprende cualquiera de lo siguiente:

- retener los biosólidos en forma suspendida en el tanque de tratamiento
- separar los sólidos del agua tratada y hacer circular al menos una parte de dichos sólidos a dicho tanque de tratamiento;
- descargar al menos una parte del agua tratada desde una localización superior de dicho tanque de tratamiento.

Por último, en algunas modalidades, el método comprende recibir datos que representan la calidad de dicha agua tratada y controlar la operación de dicha disposición difusora en base a dichos datos.

Breve descripción de los dibujos

Para entender mejor la materia que se describe en la presente descripción y para ejemplificar cómo puede llevarse a cabo en la práctica, ahora se describirán las modalidades, solo a modo de ejemplo no limitante, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La **Figura 1** es una vista en perspectiva esquemática de un módulo de tratamiento de agua de acuerdo con una modalidad de esta descripción.

Las **Figuras 2A y 2B** son, respectivamente, una vista esquemática de sección transversal en perspectiva (Figura 2A) y despiezada (Figura 2B) del módulo de tratamiento de agua de la Figura 1.

La **Figura 3A** es una vista en perspectiva esquemática de un módulo de tratamiento de agua de acuerdo con una modalidad de esta descripción.

Las **Figuras 3B-3D** son vistas en corte ampliadas y más detalladas de las regiones indicadas con B-D, respectivamente, en la Figura 3A.

La **Figura 3E** es una vista ampliada y más detallada de la región indicada con E en la Figura 3D.

La **Figura 4A** es una sección transversal en perspectiva esquemática de un módulo de tratamiento de agua de acuerdo con una modalidad de esta descripción.

Las **Figuras 4B y 4C** son vistas en perspectiva lateral e inferior, respectivamente, con cortes parciales, de un segmento aplanado de una pared que forma parte de dicho módulo de tratamiento.

La **Figura 5A** es una sección transversal en perspectiva esquemática de un módulo de tratamiento de agua de acuerdo con una modalidad de esta descripción.

La **Figura 5B** es una vista en perspectiva, con cortes parciales de un segmento aplanado de una pared que forma parte de dicho módulo de tratamiento.

La **Figura 5C** es una vista despiezada de la porción inferior del segmento de la Figura 5B que ilustra el difusor.

La **Figura 5D** son ilustraciones esquemáticas de etapas de operación del difusor de la Figura 5C.

Las **Figuras 6A y 6B** son, respectivamente, una elevación lateral y una vista desde arriba de una disposición difusora de acuerdo con una modalidad de esta descripción.

Las **Figuras 7A-7B** son, respectivamente, una vista en perspectiva y una vista despiezada de un módulo de acuerdo con otra modalidad más de esta descripción.

Las **Figuras 8A-8C** son, respectivamente, una sección transversal en perspectiva (Figura 8A) de un tanque con un módulo de esta descripción, una vista despiezada (Figura 8B) de dicho tanque y un sistema de tratamiento de agua con una pluralidad de dichos tanques (Figura 8C).

Las **Figuras 9A-9C** son, respectivamente, una sección transversal en perspectiva (Figura 9A) de un tanque con un módulo de acuerdo con otra modalidad de esta descripción, una vista despiezada (Figura 9B) de dicho tanque y un sistema de tratamiento de agua con una pluralidad de dichos tanques (Figura 9C).

Las **Figuras 10A-10B** son, respectivamente, un módulo apilado retenido en una estructura de refuerzo (Figura 10A) de acuerdo con una modalidad de esta descripción y un sistema con una pluralidad de dichos módulos (Figura 10B).

Las **Figuras 11A-11B** son, respectivamente, un módulo apilado retenido en una estructura de refuerzo (Figura 11A) de acuerdo con otra modalidad de esta descripción y un sistema con una pluralidad de dichos módulos (Figura 11B).

Las **Figuras 12A-12C** son diagramas de flujo del proceso para la desnitrificación del agua de acuerdo con algunas modalidades de esta descripción.

La **Figura 13** es un diagrama de flujo del proceso para el tratamiento biológico aerobio del agua de acuerdo con algunas modalidades de esta descripción.

Descripción detallada

Se hace referencia a la **Figura 1** que proporciona un módulo de tratamiento de agua de acuerdo con una modalidad de la presente descripción, generalmente designado como **100** y que comprende un recinto de gas alargado **110** que comprende una entrada de gas **112** y se define entre dos paredes verticales **114** y **116**, al menos una de las cuales comprende una membrana impermeable al agua y permeable a los gases. Cada pared **114** y **116** tiene un lado orientado al agua **114a** y **116a**, respectivamente, y un lado orientado al gas **114b** y **116b**, respectivamente (el lado orientado al agua y el lado orientado al gas también se denominan en la presente descripción "cara externa" y "cara interna", respectivamente).

Las dos paredes verticales se sellan longitudinalmente en cualquiera de un extremo superior **118** y un extremo inferior **120** de las mismas. El sellado puede ser mediante soldadura, unión, costura o cualquier otro medio para unir de forma fija las dos paredes para formar un recinto sellado para líquido. En una modalidad alternativa, el recinto se forma como una sola unidad donde las dos paredes se forman integralmente como parte de un manguito alargado.

El recinto de gas **110** se enrolla o bobina (se pliega) para formar una configuración de trayectoria horizontal convoluta. En esta modalidad particular, el recinto de gas **110** se enrolla en una configuración espiral concéntrica. Sin embargo, otras configuraciones son igualmente aplicables. En algunas configuraciones alternativas, la trayectoria horizontal convoluta se proporciona mediante el enrollamiento del recinto en una configuración en espiral elíptica. Sin embargo, en algunas configuraciones alternativas adicionales, la trayectoria horizontal convoluta se proporciona mediante bobinado en una configuración en acordeón ("serpenteo de ida y vuelta" o "zigzag"), como se ilustra en la Figura 7A.

Las paredes **114** y **116** definen entre sus lados orientados al agua respectivos un espacio para el tratamiento de agua **122** continuo e igualmente en espiral que se forma entre los lados opuestos orientados al agua del recinto **110**. En algunas modalidades, el recinto convoluto define más de un espacio alargado para el tratamiento de agua. Esto se logra, por ejemplo, mediante la introducción de paredes divisorias que se extienden verticalmente desde un lado de una pared hasta el lado opuesto de su pared opuesta (no se ilustra).

Ambas paredes **114** y **116** son impermeables al agua. Al menos una, y en ocasiones, ambas paredes **114** y **116** comprenden porciones de membrana permeables a los gases. En algunas modalidades, la membrana comprende una tela polimérica. Por ejemplo, la tela polimérica puede ser una tela polimérica no tejida, tal como una tela formada a partir de una primera lámina polimérica recubierta por extrusión o laminada con una segunda película o capa polimérica orientada al agua. Según algunas modalidades, la primera lámina polimérica comprende una poliolefina

(que incluye una poliolefina unida por hilado), tal como polietileno (particularmente PE de alta densidad) o polipropileno, o comprende un poliéster.

5 La película o capa polimérica orientada al agua es una que puede proporcionar a la membrana su impermeabilidad al agua mientras permite la permeabilidad a los gases. En una modalidad, la lámina polimérica orientada al agua comprende homopolímeros y copolímeros de poli (acrilato de n-alquilo), conocidos por su permeabilidad a los gases. En una modalidad alternativa más, la lámina polimérica orientada al agua comprende poli(metilpenteno) tal como poli(4-metil-1-penteno) (PMP), usado típicamente en empaques permeables a los gases.

10 Se observa que el poli (acrilato de n-alquilo) es compatible con las poliolefinas, mientras que el poli(metilpenteno) es compatible con los poliésteres. En consecuencia, en una modalidad, la membrana impermeable al agua, permeable a los gases comprende una primera lámina polimérica que comprende una poliolefina y una lámina polimérica orientada al agua que comprende un poli (acrilato de n-alquilo); y en otras modalidades, la membrana impermeable al agua, permeable a los gases comprende poliéster y una lámina polimérica orientada al agua que comprende un PMP.

15 Los polímeros que forman la membrana impermeable al agua, permeable a los gases pueden combinarse mediante cualquier técnica adecuada conocida en la técnica, tal como recubrimiento por extrusión, laminación en caliente y/o laminación en frío.

20 La presente descripción también proporciona un recinto alargado que comprende una pared que separa una trayectoria alargada interna dentro de dicho recinto y un espacio externo a dicho recinto alargado, la pared comprende un primer material polimérico recubierto por extrusión con una segunda membrana impermeable al agua, permeable a los gases.

25 Debe observarse que las telas y materiales poliméricos ilustrativos descritos anteriormente también son aplicables para el uso en otras modalidades descritas anteriormente.

30 El gas entra al recinto de gas a través de la entrada **112** y mientras fluye a lo largo del recinto de gas **110** partes del mismo se difunden al agua circundante en el espacio de agua a través de la membrana impermeable a los gases. En ocasiones, y de acuerdo con algunas modalidades, el recinto de gas **110** comprende una salida de gas **124** desde la cual el gas se ventila a la atmósfera, se sopla en el agua dentro del espacio para el tratamiento de agua, se recolecta y/o se hace recircular al recinto de gas. El flujo de gas es generalmente en la dirección desde la entrada de gas **112** hasta la salida de gas **124** y en la **Figura 1**, esta dirección sigue una trayectoria en espiral generalmente horizontal.

35 En el uso, cuando el espacio de agua **122** aloja agua contaminada o impura, crecerá una biopelícula en el lado de la pared orientado al agua que comprende la membrana impermeable al agua, permeable a los gases. El módulo **100** comprende además una disposición difusora **126** que comprende una entrada de gas **128**, que está en comunicación de flujo del gas y el fluido a través de tubos dedicados, tal como un colector múltiple **130** con los difusores **132**, cada uno con al menos una abertura configurada para liberar una corriente de burbujas de gas al espacio para el tratamiento de agua **122**. En algunas modalidades, la disposición difusora **126** se construye y opera para introducir una corriente de burbujas de gas de manera que fluya hacia arriba junto a las paredes orientadas al agua del recinto de gas **110**. En algunas modalidades, el gas descargado desde las aberturas del difusor facilita la turbulencia y la mezcla del agua, para brindar soporte al crecimiento de la biopelícula por un lado y minimizar la obstrucción del espacio de agua por la biopelícula en crecimiento, por otro lado.

45 En la modalidad ilustrada en la **Figura 1**, los difusores **132** se encuentran en una porción inferior del recinto **110** y cuando están en operación, las burbujas de gas se descargan por la abertura **134**, ascienden a través del espacio para el tratamiento de agua **122** y generalmente junto a los lados opuestos orientados al agua del recinto **110**. Esta corriente de burbujas de gas proporciona al menos uno de (i) mezclar el volumen de agua para permitir que los nutrientes de la biopelícula presentes en el agua entren en contacto con la biopelícula suspendida en el agua y se unan a la membrana generalmente a todo lo largo del lado orientado al agua de las paredes del recinto; y (ii) limpiar la biopelícula adherida a la membrana, para minimizar de ese modo la obstrucción del espacio de agua por la biopelícula; y (iii) suspender y homogeneizar la biomasa sedimentada en el volumen de agua en el espacio para el tratamiento de agua.

50 En algunas modalidades, los difusores **132** se configuran para proporcionar burbujas finas. En algunas modalidades, los difusores se configuran como un tubo poroso o perforado, una membrana punzonada o perforada, una membrana con poros finos o una boquilla.

60 De acuerdo con algunas modalidades ilustrativas adicionales, los difusores pueden tener aberturas orientadas hacia abajo, tal como se observa en las Figuras 4A-4C o pueden tener una configuración como se muestra en las Figuras 5A-5D o como se muestra en las Figuras 6A-6B. Los difusores pueden configurarse para operar en un modo continuo, es decir, introducir una corriente continua de burbujas o pueden configurarse para operar en un modo intermitente o solo cuando sea necesario (por ejemplo, cuando exista el riesgo de obstrucción o indicios de obstrucción).

65 Un módulo ilustrativo, según una modalidad de esta descripción, se muestra en las **Figuras 2A y 2B**. Para simplificar, se usan los mismos números para representar elementos que tienen una función o estructura similar a los de la **Figura**

1 y se remite al lector a la descripción de la Figura 1 para la explicación de la estructura o función. En las Figuras 2A-2B se presta atención a la disposición difusora **126** que incluye un tubo de suministro **128** conectado a una fuente de gas (no se muestra), típicamente aire a presión, unido a un colector múltiple o conjunto de tubos (3 en este ejemplo de tubos circulares) **123** con una pluralidad de aberturas de descarga de gas (no se observan). En algunas modalidades, las aberturas de descarga de gas se forman en la parte inferior de los tubos. En algunas modalidades, el colector múltiple o conjunto de tubos se disponen como un conjunto de tubos rectos generalmente paralelos.

En las Figuras 2A y 2B se ilustra además una estructura de refuerzo que incluye un elemento de soporte superior **140**, un elemento de soporte inferior **142** y un elemento núcleo central **144**. El elemento de soporte inferior, estructurado como una malla, también permite el paso del aire desde la disposición difusora **126** a todo el espacio para el tratamiento de agua, así como el paso del agua a los espacios para el tratamiento de agua.

En algunas modalidades, el módulo **100** contiene al menos uno de los elementos de refuerzo/soporte. En algunas modalidades alternativas, se incluye una combinación de dichos elementos de refuerzo en el módulo.

El elemento de soporte (superior, inferior y/o núcleo) se configura para mantener el recinto **110** en su configuración convoluta, preferentemente cuando el recinto de gas se sumerge (incluso parcialmente) en agua. La fijación se logra, por ejemplo, mediante la conexión o la unión firme de cualquier otro modo del recinto **110** a dichas estructuras de refuerzo. En ocasiones, el elemento de soporte superior **140** y el elemento de soporte inferior **142** se fijan al elemento núcleo central **144**.

El elemento de soporte inferior **142** también se configura y opera para retener el recinto **110** encima de la disposición difusora **120**. Cuando múltiples módulos **100** se apilan uno encima del otro, puede haber un solo elemento de soporte inferior **142** debajo del módulo inferior y un elemento de soporte superior **140** encima del módulo superior o también pueden proporcionarse elementos de soporte intermedios que se colocan entre dos módulos apilados. Se puede usar una sola estructura núcleo central **144** para alinear concéntricamente dos o más módulos de tratamiento de agua apilados.

En algunas modalidades, la estructura núcleo central **144** sirve además como un amortiguador de alimentación (o pozo de alimentación) para el agua entre el rociado de gas intermitente desde los difusores y, de ese modo, eventos de mezcla de agua, a través de los cuales se mezcla en los espacios para el tratamiento de agua durante el evento de mezcla intermitente y como resultado del cual las aguas residuales sin tratar (es decir, el agua antes del tratamiento) no entran en contacto directo con las paredes verticales (y la membrana) y no provocan el crecimiento excesivo de la biopelícula y la consiguiente obstrucción de la membrana.

La presente descripción también proporciona un biorreactor que comprende una membrana impermeable al agua, permeable a los gases dentro de una cámara de tratamiento de agua, y una segunda cámara formada integralmente dentro de dicho biorreactor, la segunda cámara se configura para recibir el agua a tratar y comunica dicha agua a la cámara de tratamiento de agua. En algunas modalidades, la segunda cámara se encuentra físicamente dentro de la cámara de tratamiento de agua.

Las estructuras de refuerzo pueden configurarse en una variedad de formas y formarse de una variedad de materiales, tales como, y sin limitarse a estos, fibra de vidrio, un polímero reforzado con fibra y/o acero inoxidable.

En algunas modalidades, el elemento núcleo central **144** puede actuar como un esqueleto al cual se conectan los elementos del módulo **100** y, por lo tanto, se fijan en su lugar. En algunas modalidades, la estructura núcleo central **144** tiene una dimensión de la sección transversal de al menos 200 mm. Como se aprecia, las dimensiones de la estructura núcleo central **144** pueden variar en dependencia de las dimensiones totales del módulo. Generalmente, las dimensiones de la sección transversal de la estructura núcleo central deben ser pequeñas con respecto al uso eficiente del volumen, pero, no obstante, no demasiado pequeñas, para permitir el enrollamiento del recinto de gas a su alrededor y el flujo de agua suficiente a través del mismo durante la operación.

Regresando ahora a las Figuras 3A-3E, se ilustra un módulo de tratamiento de agua similar al de la Figura 1 y la Figura 2, que ahora muestra los elementos separadores. Para simplificar, se usan los mismos números de referencia usados en las Figuras 1 y 2 para representar elementos idénticos en las Figuras 3A-3E y se remite al lector a las descripciones anteriores para la explicación de la estructura y función de dichos elementos.

La Figura 3B proporciona una ampliación de la sección B de la Figura 3A e ilustra un primer elemento separador **150**, dispuesto dentro del recinto de gas alargado **110** y configurado para mantener una primera distancia mínima entre los lados opuestos orientados al gas de las dos paredes verticales **114** y **116** del recinto **110**. El primer elemento separador **150** de esta modalidad tiene una configuración en forma de red. En algunas modalidades, el primer elemento separador **150** puede extenderse por todo el recinto y, en algunas modalidades adicionales, varios elementos separadores separados se disponen a lo largo del recinto **110**, cada uno de los cuales ocupa un segmento del mismo.

El primer elemento separador **150** se diseña para garantizar una vía abierta para el gas que fluye en el recinto de gas **110** y, en otras palabras, una distancia mínima entre las paredes opuestas orientadas al gas del recinto de gas **110**.

5 Como puede observarse en la **Figura 3C**, un segundo elemento separador **160** se dispone en el espacio para el tratamiento de agua **122**, entre lados opuestos orientados al agua del recinto **110**. El segundo elemento separador **160** se configura para mantener una segunda distancia mínima entre dichos dos lados opuestos orientados al agua del recinto **110**.

10 En algunas modalidades, el segundo elemento separador **160** es una lámina que tiene un conjunto de estribos **162** con hoyuelos (a saber, cada uno define hoyuelos en un lado y protuberancias en el otro) que se proyectan en lados opuestos de la lámina, la distancia entre el plano definido por el vértice de las protuberancias en un lado y el definido por las protuberancias en el otro lado definen el grosor del elemento separador **160**. Estas protuberancias que se forman por partes que forman la lámina (que dejan por lo tanto una depresión en el lado opuesto) también pueden observarse en la **Figura 3E**.

15 El segundo elemento separador se dispone junto al recinto **110**, en el espacio para el tratamiento de agua. En algunas modalidades, el segundo elemento separador **160** puede extenderse por todo el espacio para el tratamiento de agua junto al recinto **110** y en algunas modalidades adicionales, varios elementos separadores separados se disponen dentro de dicho espacio, cada uno de los cuales ocupa un segmento del mismo.

20 El segundo elemento separador **160** se diseña para garantizar un espacio abierto para el agua dentro del espacio para el tratamiento de agua **122**; y en otras palabras, una distancia mínima entre los lados opuestos orientados al agua de las paredes del recinto **110**. Aunque el espacio **122** puede, en ocasiones, expandirse, el segundo separador garantiza que el espacio libre entre las dos paredes verticales no sea menor que la distancia mínima impuesta por el ancho del segundo elemento separador.

25 Se observa que la estructura y configuración del primer elemento separador **150** y el segundo elemento separador **160** es solo un ejemplo y no se limita a los ilustrados. Además, el primer y segundo elementos separadores pueden tener una configuración igual o diferente, cada uno independientemente puede tener la forma de un elemento hidráulico o de flujo abierto, tal como una red o una lámina con protuberancias, tal como la lámina con hoyuelos ilustrada. En algunas modalidades, la protuberancia se extiende en una sola dirección desde la lámina (protuberancias unilaterales) y en algunas modalidades adicionales, la protuberancia se extiende desde la lámina en dos direcciones opuestas (protuberancias bilaterales), como se muestra en la **Figura 3C** y la **Figura 3E**.

35 Como alternativa a una lámina con hoyuelos, el separador puede comprender elementos tridimensionales individuales y discretos distribuidos unidos al menos a un lado de al menos una de las paredes verticales y así mantener la distancia impuesta por el grosor de los elementos discretos. En algunas modalidades, los elementos individuales están formados por un material polimérico tal como pegamento caliente aplicado sobre cualquiera del lado orientado al agua y/o el lado orientado al aire de las paredes verticales. En otras modalidades, los elementos individuales están formados por piezas, tales como discos de plástico, colocados en el lado de cualquiera del lado orientado al agua y/o el lado orientado al aire de una o ambas paredes verticales.

40 La presente descripción también proporciona un biorreactor con al menos un elemento separador que comprende estribos discretos, separados que se sujetan a la superficie (elementos tridimensionales). En algunas modalidades, los estribos separados se encuentran en una membrana impermeable al agua, permeable a los gases como se describe en la presente descripción.

45 En la presente descripción también se describe un recinto alargado que comprende una pared que separa una trayectoria alargada interna dentro de dicho recinto y un espacio externo a dicho recinto alargado, la pared que comprende integralmente estribos discretos y separados de un tipo descrito en la presente descripción.

50 En algunas modalidades, la membrana con los estribos separados forma parte de un biorreactor de un tipo descrito en la presente descripción.

55 En algunas modalidades, el primer y/o segundo elemento separador es una combinación de cualquiera de las configuraciones de separador anteriores. Por ejemplo, el elemento separador puede comprender una estructura en forma de red que se lamina a una lámina con hoyuelos, etcétera.

60 La distancia mínima impuesta por el primer elemento separador, como el elemento separador ilustrado **150** y la distancia mínima impuesta por el segundo elemento separador, como el elemento separador ilustrado **160** son independientes entre sí y pueden ser iguales o diferentes.

65 La selección del tipo y/o ancho del segundo separador puede depender del tipo de agua a tratar. La selección del tipo y/o ancho del primer separador puede depender del tipo de gas a introducir en el recinto y de algunas condiciones de operación, tales como la presión de gas dentro del recinto y otras.

Cuando se usan separadores de la misma configuración, estos se disponen de manera que no se entrelacen, por ejemplo, cuando ambos separadores tienen protuberancias, tales como los hoyuelos ejemplificados, los separadores pueden disponerse de manera que una protuberancia/hoyuelo de un separador se oriente esencialmente a una protuberancia/hoyuelo opuesto del otro separador para evitar el entrelazamiento de las protuberancias. De manera similar, cuando se usa un separador en forma de una rejilla o red, y el otro en forma de una lámina de protuberancias, los separadores pueden disponerse de manera que las protuberancias no encajen en las aberturas del otro separador.

Los elementos separadores pueden ser de un material igual o diferente. En algunas modalidades, el elemento separador **150** y el elemento separador **160** se fabrican cada uno, independientemente, de un material polimérico resistente al agua. Los ejemplos no limitantes de materiales poliméricos incluyen polietileno de alta densidad, polietileno de baja densidad, tereftalato de polietileno (PET), polipropileno, poliamida.

En algunos ejemplos, los separadores se caracterizan por tener una resistencia a la compresión por encima de 2 ton/m², en ocasiones, por encima de 20 ton/m² según lo determinado por el fabricante y evaluado por estándares internacionalmente conocidos para cumplir con al menos dos requisitos: (i) resistir las fuerzas aplicadas durante el procesamiento y (ii) resistir la presión de agua (principalmente aplicable a los requisitos del primer separador **150**).

La **Figura 3E** es una vista superior ampliada de una parte del módulo **100** que muestra específicamente el elemento de soporte superior **140**, el elemento núcleo central **144** con la salida de gas **124**. En la modalidad ilustrativa de las Figuras 3A-3E, el recinto alargado **110** se enrolla sobre la estructura núcleo central **144**.

Aunque en ciertas modalidades, el primer y segundo elementos separadores son elementos formados por separado, en algunas modalidades adicionales, el primer o el segundo elemento separador se forma integralmente con al menos una de las paredes verticales del recinto **110**. En ocasiones, por lo tanto, la pared vertical integral se configura para proporcionar varias funcionalidades: (i) impermeabilidad al agua; (ii) separación lateral del agua; (iii) separación lateral del gas y (iv) opcionalmente permeabilidad a los gases y soporte de crecimiento de biopelícula. Esto puede lograrse, por ejemplo, y sin que se limite al mismo, con una membrana impermeable al agua, permeable a los gases que tiene protuberancias formadas integralmente en la cara interna y de la cara externa.

De manera similar, en algunas modalidades adicionales, el segundo elemento separador se forma integralmente con al menos una de las paredes verticales del recinto **110**. Esto significa que al menos una de las paredes verticales del recinto se configura para proporcionar también la distancia mínima requerida desde su pared vertical opuesta orientada al agua. En otras palabras, la membrana tiene protuberancias en un lado orientado al agua que mantienen la separación de la pared que se orienta contraria. En algunas modalidades, la pared vertical con separador integral se configura para proporcionar varias funcionalidades: (i) impermeabilidad al agua; (ii) separación lateral del agua; (iii) opcionalmente permeabilidad a los gases y soporte de crecimiento de biopelícula. Esto puede lograrse, por ejemplo, y sin limitarse a esto, con el uso de una membrana impermeable al agua, permeable a los gases (opcional) que tiene, protuberancias que se extienden hacia afuera formadas integralmente con la misma.

En algunas modalidades, solo una de las dos paredes verticales de un recinto es permeable a los gases. En algunas modalidades, solo partes de una o ambas paredes verticales son permeables a los gases. En todavía ciertas modalidades adicionales, una o ambas paredes verticales de un recinto son esencialmente completamente permeables a los gases.

La presente descripción también proporciona un recinto alargado que comprende una pared que separa una trayectoria alargada interna dentro de dicho recinto y un espacio externo a dicho recinto alargado, al menos una parte de la pared que comprende una membrana permeable a los gases, dicha pared que comprende además estribos separados que se extienden hacia afuera desde dicho recinto y/o hacia adentro en dicha trayectoria interna.

Ahora se hace referencia a las **Figuras 4A-4C** que ilustran esquemáticamente un módulo con una disposición difusora de acuerdo con otra modalidad de la presente descripción. Se usan números de referencia similares a los usados en las Figuras 1 a 3, desplazados por 100 para identificar componentes que tienen una función similar. Por ejemplo, el componente **110** en la Figura 1 es un recinto con la misma función que el recinto **210** en la Figura 4A. Se remite al lector a la descripción respectiva anterior para una explicación de la estructura y función de dichos elementos.

La modalidad ilustrada en las **Figuras 4A-4C** difiere del módulo ilustrado en las Figuras 1-3 en la configuración de la estructura de aireación, que ahora se proporciona en forma de un segundo recinto alargado **226**, formado entre dos paredes verticales **214'** y **216'** que son una extensión y se forman integralmente con las paredes **214** y **216**, respectivamente.

La disposición difusora **226** se proporciona con una abertura de entrada de gas **264** y aberturas difusoras de gas separadas **232** en forma de aberturas formadas en el lado inferior del recinto **226** de manera que las burbujas de gas se descargan de las aberturas **232** al espacio para el tratamiento de agua **222** y ascienden a lo largo de la cara externa de la pared del recinto **210** como se representa con la flecha **233**. Como puede observarse, la disposición difusora **226** también incluye un elemento separador **250'** que se muestra que tiene la misma configuración que la del elemento **250** (aunque puede tener una configuración diferente).

La presente descripción también proporciona un recinto alargado que comprende una pared que separa una trayectoria alargada interna dentro de dicho recinto y un espacio externo a dicho recinto alargado, dicho recinto que comprende una primera zona alargada para tratar el agua y una segunda zona alargada formada integralmente, paralela a dicha primera zona alargada que se configura para descargar gas a las caras del recinto alargado en dicha primera zona alargada.

Las **Figuras 5A-5C** ilustran un módulo de tratamiento de agua de acuerdo con otra modalidad de la presente descripción. Para simplificar, se usan números de referencia similares a los usados en las Figuras 1 a 3, desplazados por 200 para identificar componentes que tienen una función similar. Por ejemplo, el componente **110** en la Figura 1 es un recinto con la misma función que el recinto **310** en la Figura 5A. Se remite al lector a las partes relevantes de esta descripción para la explicación de la estructura y función.

Las características únicas del módulo **300** de esta descripción son los difusores en la disposición difusora que se observa en la Figura 5B y con más detalles en la Figura 5C. Esta disposición difusora, como se explicará en más detalle más adelante, es operativa para descargar gas en pulsos (que actúa como un difusor de descarga pulsátil). La forma de operación se ilustra esquemáticamente en la Figura 5D.

La disposición difusora **326** de esta modalidad incluye un elemento alargado invertido en forma de artesa **368** que tiene un extremo superior sellado **370** (ver la **Figura 5B**) con una pluralidad de aberturas **334** y una parte inferior abierta. Como puede observarse mejor en la **Figura 5C**, el elemento **368** se forma entre un panel con hoyuelos **374** que tiene una pluralidad de depresiones **375** y la porción inferior de la pared vertical **316** del recinto de gas **310**. En el panel **374** también se forman rebajes alargados, que incluyen un primer rebaje alargado horizontal **376A** y tres rebajes alargados verticales que incluyen un segundo rebaje **376B** que se extiende desde la parte superior hasta la parte inferior del panel con hoyuelos **374**, un tercer rebaje **376C** que se extiende hacia arriba desde el extremo de la depresión **376A** y termina debajo del extremo superior del panel **370** y el cuarto rebaje **376D** que se extiende hacia abajo desde el extremo superior del panel **370** hacia una porción media del primer rebaje **376A**, pero termina por encima de esta. La profundidad de la depresión y los rebajes alargados, así como el ancho de la pared que define el extremo superior **370** son todos sustancialmente iguales y, en consecuencia, las depresiones y los rebajes se apoyan en la pared **316** y se adhieren a las partes opuestas de la pared **316**. A través de dicha adherencia, se define una cámara de líquido/gas **378** con una parte inferior abierta entre dos rebajes consecutivos **376B** que se unen a través de un conducto **380** generalmente en forma de U que incluye un segmento de conducto descendente **380D** y un segmento de conducto ascendente **380U** que termina en la abertura **334**. La porción inferior de la pared **316** incluye una pluralidad de aberturas **382** que abren cada una a una de las cámaras **378** lo que permite que el gas del recinto **310** entre a la cámara **378** a través de su parte inferior abierta, para llenar la cámara y salga de ella para evacuar la cámara. Por la acción de la presión del gas que entra a través de las aberturas **382**, el gas se liberará por las aberturas **334** de forma pulsátil, como se ilustrará más adelante con referencia a la **Figura 5D**.

La forma de operación de la disposición difusora de esta modalidad se ilustra en la **Figura 5D**. Al principio (**etapa 1**), la cámara **378** se llena de agua, que entra a través de la parte inferior abierta. Igualmente, ambos segmentos del conducto **380** (mostrados por el segmento **380D** y **380U**) también se llenan de agua, que entra a través de la abertura **334**. Sin embargo, la presión del gas (a través de las aberturas **382**; no se muestra en esta Figura), representada con las flechas descendentes, ejerce una fuerza de desplazamiento sobre el agua dentro de la cámara y en el conducto **380** (**Etapa 2**). Después de una fase umbral, en la que el nivel del agua alcanza el nivel inferior del segmento de conducto **380U** (**Etapa 3**), se drena toda el agua del conducto y después el gas de la cámara **378** puede fluir a través de la abertura **334** en una ráfaga que drena el gas de la cámara (**Etapa 4**), lo que permite el retorno del líquido, como se representa con las flechas ascendentes, hasta retornar a la etapa original (**Etapa 5**).

La **Figura 6** es una ilustración esquemática de una disposición difusora de otra modalidad que, aunque es estructuralmente diferente, opera de una forma funcionalmente similar a la de las Figuras 5A-5D. La disposición difusora, generalmente designada como **402**, es parte de un módulo **400** e incluye una cámara de gas/líquido **478** que tiene una parte inferior abierta y unida a una fuente de aire a presión **406**. Dentro de la cámara **478** se forma un primer conducto generalmente vertical dirigido hacia arriba **480D** que es funcionalmente equivalente al tubo descendente **380D** y define un espacio cilíndrico **404** que aloja un segundo conducto generalmente vertical **480U** que es funcionalmente equivalente al tubo ascendente **380U** y está en comunicación de fluidos con el cabezal difusor **438** que en esta modalidad incluye dos conjuntos transversales de aberturas (Figura 6B) pero también puede tener una gran cantidad de otras configuraciones.

Desde un punto de vista de operación, inicialmente la cámara de gas/líquido **478**, el espacio cilíndrico **404** definido por el primer conducto generalmente vertical **480D** y el segundo conducto generalmente vertical **480U** se llenan de agua. Después, la presión del gas ejerce una fuerza de desplazamiento del agua que provoca una disminución del nivel del agua en la cámara de gas/líquido **478** y, al mismo tiempo, empuja el agua hacia abajo en el primer conducto generalmente vertical **480D** y en el segundo conducto generalmente vertical **480U** que sale a través de los difusores **438**. Una vez que el primer conducto generalmente vertical **480D** y el segundo conducto generalmente vertical **480U** se drenan de agua, la comunicación de gas descendente hacia el primer conducto generalmente vertical **480D** y ascendente en el segundo conducto generalmente vertical **480U** así establecida provoca una ráfaga de descarga de

gas fuera del cabezal difusor **434**. Esta ráfaga drena el gas y provoca que el agua vuelva a entrar y se reinicie este ciclo de operación.

5 Regresando ahora a las configuraciones alternativas del módulo descrito en la presente descripción, se hace referencia a las **Figuras 7A-7B** que proporcionan una ilustración en perspectiva esquemática de un módulo **500** de acuerdo con otra modalidad. Para simplificar, se usan números de referencia similares a los usados en la Figura 3A, desplazados por 400 para identificar componentes que tienen una función similar. Por ejemplo, el componente **110** en la Figura 2 es un recinto de gas que tiene la misma función que el recinto de gas **510** en las Figuras 7A-7B.

10 Las **Figuras 7A y 7B** ilustran un módulo **500** con entrada de gas **512** y salida de gas **524**, elemento de soporte superior **540** y elemento de soporte inferior **542** y una disposición difusora **526** con una pluralidad de boquillas de descarga de gas dispersas a lo largo de todo el tubo (no se muestra). El recinto de gas **510** está en una configuración de bobinado de ida y vuelta (zigzag) en lugar de la configuración concéntrica, en espiral, descrita anteriormente.

15 En algunas modalidades, el recinto **510** se bobina sobre o alrededor de elementos verticales **543** de una estructura de soporte **540**.

20 En algunas modalidades, el recinto **510** tiene varias entradas de gas, similares a la entrada de gas **512** a lo largo de su longitud y varias salidas de gas, como la salida de gas **524** para reducir la ca da de presión o las pérdidas de carga. En algún punto a lo largo del recinto alargado **510** hay una salida (no se ilustra) para la descarga de agua condensada y fugas. De cualquier otro modo, este módulo opera funcionalmente de manera similar a los módulos de tratamiento de agua de otras modalidades descritas anteriormente.

25 En algunas modalidades, el módulo forma parte de un biorreactor, donde uno o más de los módulos descritos se colocan dentro de un entorno acuoso, por ejemplo, tanque, cuenca, estanque de agua, etcétera, como se explica con más detalle con respecto a las Figuras 9A y 9B más adelante.

30 Las **Figuras 8A-8B** son una ilustración esquemática de un biorreactor y la Figura 8C es una ilustración esquemática de un conjunto de biorreactores como se describe en la presente descripción dentro de un sistema que comprende una pluralidad de biorreactores de un tipo ilustrado en las Figuras 8A y 8B, el conjunto de biorreactores que est  en comunicación de flujo con la ayuda de tuberías interconectadas.

35 Específicamente, como puede observarse en las **Figuras 8A y 8B**, el módulo **600**, que es una pila de dos unidades de recinto enrollado **610** apiladas una encima de la otra, con un elemento de soporte superior **640**, un elemento de soporte inferior **642** y un elemento de soporte intermedio **641**, así como una disposición difusora **626**.

40 Cada módulo **600** se encuentra encerrado dentro de un tanque **602** respectivo que incluye una cubierta de tanque **602'** que se configura para retener el agua a tratar y el módulo **600** sumergido en el agua. El elemento de soporte superior se une al tanque **602** y la cubierta del tanque **602'** a través de elementos de unión **645**. El tanque **602** comprende la entrada de agua **605** y la salida de agua tratada **606**.

45 En algunas modalidades, como también se ilustra en las **Figuras 8A-8C**, cada tanque **602** se encuentra equipado además con un vertedero de recolección de agua **608**, que se encuentra en una porción superior del tanque **602** y se configura para recolectar el clarificado tratado desde un nivel superior del agua dentro del tanque **602**. En algunas modalidades, el vertedero **608** tiene la forma de una artesa perforada que permite que solo entre agua en el vertedero. En operación, el tanque **602** retiene la biomasa y descarga el agua tratada y clarificada a través del desbordamiento del agua clarificada al vertedero **608** en períodos de operación cuando la disposición difusora está inactiva (es decir, entre eventos de mezcla) y se permite que la biomasa sedimente al menos parcialmente en el tanque **602**. El agua en el vertedero **608** se dirige a la salida de agua tratada en la parte inferior del vertedero. De forma periódica, típicamente
50 también entre eventos de mezcla por la disposición difusora, la biomasa sedimentada puede descargarse del tanque **602** a través de la salida de descarga de biomasa (no se muestra). Después, la biomasa descargada puede hacerse recircular al biorreactor o a un biorreactor diferente o recolectarse para su uso futuro.

55 La presente descripción también proporciona un biorreactor para el tratamiento de agua que comprende un espacio para el tratamiento de agua y un vertedero (cámara) formado integralmente en una porción superior de dicho espacio para el tratamiento de agua, dicho vertedero se configura para recibir agua tratada clarificada y descargar dicha agua tratada clarificada del biorreactor. En algunas modalidades, el vertedero formado integralmente puede operarse para descargar el agua tratada clarificada cuando el agua en el espacio para el tratamiento de agua está en reposo (es decir, esencialmente no hay mezcla o turbulencia en el agua).

60 Un biorreactor como se describe en la presente descripción también puede, o como alternativa al vertedero **608**, equiparse con un tanque de separación sólido-líquido (por ejemplo, un clarificador) para recibir agua tratada descargada que incluye sólidos suspendidos y para eliminar los sólidos de dicha agua tratada. Específicamente, y como también se ilustra en la **Figura 12B**, el agua tratada que tiene sólidos suspendidos en la misma se descarga (a través de la salida de descarga de agua tratada) a una unidad de separación de agua y sólido dedicada ("clarificador").
65

La biomasa recolectada puede hacerse recircular a un biorreactor o recolectarse para su uso futuro mientras se recolecta el agua tratada y clarificada.

5 Además, un biorreactor como se describe en la presente descripción puede comprender uno o más sensores para detectar uno o más parámetros de tratamiento indicativos de la calidad del agua dentro de dicho tanque. Los sensores pueden ser de cualquier tipo conocido o necesario para el uso en la monitorización y aseguramiento de la calidad del agua. Estos incluyen cualquiera y cualquier combinación de sensores de pH, sensores de potencial de oxidación-reducción (ORP), sensores de oxígeno disuelto, sensores de densidad óptica (sensores de turbidez), sensores químicos (por ejemplo, para determinar el nivel de compuestos que contienen N, que incluyen nitrato o amonio) y sensores potenciométricos, etcétera. Típicamente, pero no de manera exclusiva u obligatoria, los sensores se encontrarían en un punto de salida del agua tratada para monitorear la calidad del agua tratada. En una modalidad, el parámetro monitoreado se usa para controlar la operación de uno o más elementos del biorreactor. En algunas modalidades, en base a los datos recibidos de uno o más sensores, puede manipularse la operación de la disposición difusora. Por ejemplo, la frecuencia de mezcla y/o la duración de la mezcla provocada por la disposición difusora puede aumentarse como respuesta a cualquier indicio de disminución de la calidad del efluente.

Además, el biorreactor puede comprender una pluralidad de módulos. En una modalidad, se apilan dos módulos uno encima del otro de manera similar a la ilustrada en las **Figuras 8A-8B**.

20 En algunas modalidades, múltiples tanques de tratamiento, cada uno de los cuales contiene uno o más módulos, por ejemplo, de un tipo ilustrado en cualquiera de las **Figuras 1 a 3 u 8A y 8B** se disponen de modo que se conecten en serie para formar un conjunto de tanques de tratamiento aguas arriba y un conjunto de tanques de tratamiento aguas abajo, en donde todos los módulos en cada conjunto se encuentran conectados en paralelo. El agua a tratar primero entra y se trata con el conjunto de módulos aguas arriba, después de lo cual se comunica al conjunto de módulos aguas abajo.

El biorreactor descrito en la presente descripción también puede ser parte de un sistema de tratamiento de agua **601** (planta de tratamiento de agua) tal como el que se ilustra esquemáticamente en la **Figura 8C** (parte de la cubierta de un biorreactor se ha eliminado para mostrar los elementos internos) que incluye una multiplicidad de biorreactores **602** del tipo ilustrado en las **Figuras 8A-8B**. El conducto de agua de alimentación **692** suministra el agua a tratar a cada uno de los biorreactores y el agua tratada se descarga a través del conducto de descarga de agua **693**. El gas, por ejemplo, aire, se suministra a los recintos de gas a través de un primer conducto de gas **694**, y las estructuras difusoras reciben gas, típicamente aire, a través del segundo conducto de gas **695**, ambos conductos de gas se alimentan con el gas respectivo con el uso del soplador **GB1** y el soplador **GB2**. La operación del sistema se controla con un módulo de control **696**.

Las **Figuras 9A-9C** ilustran un sistema de otra modalidad que usa, como puede observarse en las **Figuras 9A-9B**, módulos de tratamiento de agua del tipo mostrado en las **Figuras 7A-7B** y se usan elementos similares a los usados en las **Figuras 7A-7B** para elementos similares. El sistema en sí, ilustrado en la **Figura 9C**, incluye una serie superior de biorreactores apilados sobre una serie inferior de biorreactores, pero por lo demás es funcionalmente similar al sistema de las **Figuras 8A-8C**, aparte del hecho de que los sistemas de conductos son dobles, uno para cada serie de biorreactores. En consecuencia, se usan números de referencia similares a los usados en la **Figura 8C** para elementos funcionalmente equivalentes del sistema de conductos con una "A" para los elementos inferiores y "B" para los elementos superiores (por ejemplo, conductos de agua **692A** y **692B**).

En una modalidad alternativa, un sistema de acuerdo con la presente descripción puede comprender una pluralidad de módulos sumergidos juntos dentro de un solo tanque como se muestra en la ilustración ilustrativa de las **Figuras 10A y 10B**. Para simplificar, se usan números de referencia similares a los usados en la **Figura 8A y 8B**, para identificar componentes que tienen una función similar.

La **Figura 10A** ilustra esquemáticamente otra modalidad de un solo módulo sumergible **600** que comprende dos recintos de gas **610** en una disposición similar a la ilustrada en la **Figura 8A**. Los elementos del módulo **600** ensamblados con un elemento estabilizador **697** también se conectan a elementos de soporte **640** y **642** (no se observan en la **Figura 10A**). El elemento estabilizador **697** se construye típicamente para retener los módulos sumergidos en su lugar y proporcionarles el peso suficiente para estabilizar toda la estructura dentro del entorno acuoso. Alternativamente, los módulos sumergibles pueden unirse mecánicamente al piso del tanque por medios mecánicos tales como anclajes de tornillo, ganchos, perchas y pernos.

La **Figura 10B** ilustra esquemáticamente una sección de una modalidad de una multiplicidad de módulos de la **Figura 10A** sumergidos dentro de un tanque común **602**. En la **Figura 10B** también se ilustra la entrada de agua de alimentación **605**, la salida de descarga de lodo sedimentado **611**, la salida de agua tratada **606**, a través del vertedero **608**, la descarga de agua tratada se controla mediante la válvula de descarga **606'**, la válvula está en una configuración cerrada durante la operación de la disposición difusora.

Las **Figuras 11A y 11B** proporcionan un módulo (**Figura 11A**) y un sistema (**Figura 11B**) similar al ilustrado en las **Figuras 10A y 10B**, respectivamente, aunque de un tipo ilustrado en las **Figuras 7A-7B**. El conjunto de módulos se

coloca en un solo tanque **602**, cada uno de los cuales se mantiene en su lugar con la ayuda del elemento estabilizador **697**.

Como pueden apreciar los expertos en la técnica, el módulo, biorreactor y/o sistema descrito en la presente descripción puede construirse y operarse para tratar el agua en combinación con otros tipos de módulos, biorreactores y/o sistemas. En algunas modalidades, puede usarse un sistema que comprende una pluralidad de módulos o biorreactores como se describe en la presente descripción para proporcionar una primera etapa o como una etapa subsiguiente de tratamiento de agua en combinación con uno o más de otros tipos de módulos de tratamiento de agua. En otras palabras, los sistemas de la presente invención pueden instalarse aguas arriba y/o aguas abajo de otros sistemas de tratamiento de agua como parte de una planta de tratamiento de agua completo. Sin limitarse a esto, el módulo, biorreactor y/o sistema como se describe en la presente descripción puede operarse en combinación con un sistema como se describe en la publicación PCT núm. WO/11073977 que describe un sistema con un recinto enrollado en espiral, similar al recinto de gas descrito en la presente descripción, previsto para retener y canalizar el agua y brindar soporte al crecimiento de biopelícula dentro del mismo.

El módulo, biorreactor y/o sistema descrito en la presente descripción puede configurarse para tratar varios tipos de agua con el uso de diferentes tipos de gases respectivamente. En lo siguiente, cuando se hace referencia a un sistema, debe entenderse que se refiere de manera similar a un módulo o un biorreactor análogo con los cambios necesarios. Algunos métodos ilustrativos de tratamiento de agua que usan un sistema descrito en la presente descripción se describen con referencia a los diagramas de flujo ilustrados en las **Figuras 12A-12C** y las **Figuras 13A-13C** a continuación. Para simplificar, se usan los mismos números de referencia en las **Figuras 12A-12C** y las **Figuras 13A-13C** para representar elementos idénticos.

[0001] Generalmente, el sistema se configura para realizar el tratamiento de agua mediante la ejecución de las siguientes etapas generales del método:

- introducir gas en el recinto de gas;
- introducir el agua a tratar en un biorreactor;
- operar la disposición difusora (de forma continua o periódica o cuando sea necesario) para introducir corrientes de gas en el agua retenida dentro del biorreactor;
- recolectar el agua tratada.

En algunas modalidades, el gas introducido en el recinto de gas es aire. En algunas modalidades adicionales, el gas introducido en el recinto de gas es aire enriquecido con oxígeno, otra mezcla de gases que contiene oxígeno o metano o una mezcla de gases que contiene metano.

En algunas modalidades, el sistema se opera en un modo por lotes, a saber, se introduce un lote de agua en el(los) biorreactor(es) y el agua tratada se recolecta una vez que el agua ha alcanzado la calidad deseada (la calidad deseada depende de la necesidad particular del agua y típicamente se determina a priori caso por caso). Cuando se opera en un modo por lotes una vez que el agua tratada alcanza un criterio de calidad predefinido, el agua tratada se recolecta, típicamente a través de una salida de agua tratada. Un criterio de calidad predefinido puede variar, en dependencia del tipo de agua, el uso definido del agua tratada (por ejemplo, para beber, para riego, para la industria, etcétera), la etapa de tratamiento, por ejemplo, cuando el sistema es parte de una planta de tratamiento de agua que incluye una combinación de sistemas de tratamiento de agua, etcétera.

En algunas modalidades adicionales, el sistema se opera en un modo continuo donde el agua se introduce de forma continua en un biorreactor desde una localización y se descarga desde otra localización del (de los) biorreactor(es).

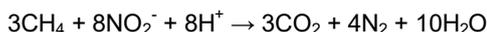
En todavía ciertas modalidades adicionales, el sistema se opera de manera que el agua a tratar se alimenta en un modo esencialmente continuo mientras que el agua tratada se descarga de forma periódica. La descarga de agua tratada se detiene durante la operación de la disposición difusora y de ese modo también se detiene la mezcla del agua dentro del tanque.

En algunas modalidades, la estructura para gas se opera de forma periódica. A modo de ejemplo, la disposición difusora puede operarse regularmente 10-20 segundos cada 5-20 minutos. Además o alternativamente, la disposición difusora puede operarse cuando sea necesario, por ejemplo, para permitir la limpieza de la acumulación excesiva de biopelícula en la membrana o para mejorar la calidad del agua tratada cuando se detecta dicha acumulación o el deterioro de la calidad del agua (por ejemplo, con el uso de sensores dedicados tales como ORP o DO) y/o cuando existe la necesidad de provocar turbulencia en el agua sometida a tratamiento y de ese modo mezclar los sólidos en suspensión. En algunas modalidades adicionales, la disposición difusora se opera de forma continua.

Regresando ahora a los ejemplos no limitantes del uso de un biorreactor de acuerdo con algunas modalidades de la presente descripción, cada una de las **Figuras 12A-12C** ilustra esquemáticamente un diagrama de flujo del proceso que explica las etapas secuenciales para tratar el agua nitrificada con el uso de metano como gas donante de electrones (gas de desnitrificación) dentro del recinto de gas, de acuerdo con una modalidad de la presente

descripción. En el contexto de la presente descripción cuando se hace referencia al "agua nitrificada", debe entenderse como agua que contiene nitrógeno y específicamente al agua que contiene compuestos de óxido de nitrógeno disueltos, más específicamente nitrato y nitrito). En algunas modalidades, el agua nitrificada se caracteriza además por una baja concentración de materia orgánica.

El agua nitrificada puede acoplarse a la oxidación anóxica del metano para producir de ese modo dióxido de carbono, gas nitrógeno y agua de acuerdo con la siguiente serie de reacciones químicas:



Con este fin, se alimenta gas metano al recinto de gas

El gas que contiene metano puede obtenerse de varias fuentes. En algunos ejemplos, el gas que contiene metano es un biogás derivado de reactores anaerobios, por ejemplo, de un digestor anaerobio empleado en instalaciones de tratamiento biológico de aguas residuales (aguas cloacales).

De acuerdo con una modalidad ilustrada en la **Figura 12A**, un biorreactor **610** de un tipo ilustrado en la presente descripción recibe agua nitrificada. Un gas que contiene metano ("biogás rico en metano") se sopla de forma continua dentro de los recintos de gas, y el gas con metano agotado se descarga desde la salida del recinto de gas.

La mezcla se realiza de forma periódica mediante la introducción de aire a presión a través de la disposición difusora y se expulsa a los espacios para el tratamiento de agua entre las paredes del recinto de gas enrollado en espiral, lo que también proporciona la limpieza de la biopelícula de los lados orientados al agua del recinto de gas. Una biopelícula que se desarrolla en la superficie externa de las paredes verticales del recinto de gas y es operativa para oxidar el gas metano que difunde a través de la membrana con el uso de los óxidos de nitrógeno en el agua, por lo tanto, reduce los óxidos de nitrógeno en el agua (desnitrificación del agua).

De acuerdo con otra modalidad más que se ilustra en la **Figura 12B**, un biorreactor **610** operado de manera similar a la descrita con respecto a la **Figura 12A**, se configura para recibir agua nitrificada de un tanque de aireación. Las aguas residuales que incluyen sólidos en suspensión, material orgánico y amoníaco, se alimentan primero al tanque de aireación donde (i) el material orgánico se oxida con la ayuda del aire aireado dentro del tanque de aireación (ii) el amoníaco se oxida a nitrato para proporcionar de ese modo agua nitrificada que entra, junto con su lodo, al biorreactor **610**, donde el agua nitrificada se somete a desnitrificación. En la **Figura 12B** también se ilustra un clarificador aguas abajo del biorreactor **610** construido y operado para recibir agua tratada y donde se permite que los sólidos en el agua tratada sedimenten en la parte inferior del clarificador y solo entonces el agua tratada libre de sólidos ("efluente desnitrificado") se recolecta en un colector de agua tratada (desnitrificada) (por ejemplo, tanque, tubería, etcétera). Al menos parte del lodo recolectado en el clarificador se comunica a una unidad de descarga de lodo.

Los dispositivos de sedimentación de sólidos (clarificadores) se conocen en la técnica y en ocasiones incluyen una cuenca de forma cónica con una descarga de lodo en la parte inferior de la misma, mientras que el agua se descarga (se desborda) desde una salida que se encuentra (en una localización superior) por encima de la descarga de lodo.

El agua tratada que sale del biorreactor **610** se recibe en un clarificador para la separación sólido-líquido subsiguiente en el clarificador. En ocasiones, parte del lodo del clarificador se comunica (circula o recircula) a un tanque de aireación donde se mezcla con el agua a tratar como se describió anteriormente. En particular, el lodo de retorno del clarificador es biomasa activa que trata el agua en el tanque de aireación. Después se separa del agua en el clarificador para descargar el agua limpia y retener los sólidos activos en el sistema.

Teniendo en cuenta lo anterior, la presente descripción también proporciona un método de tratamiento de agua que comprende (i) sumergir dentro del agua nitrificada un recinto alargado que comprende una pared que separa una trayectoria alargada interna dentro de dicho recinto y un espacio para el tratamiento de agua nitrificada externo a dicho recinto alargado, la pared comprende una membrana impermeable al agua, permeable al metano; y (ii) hacer fluir gas metano dentro de dicha trayectoria alargada interna.

En algunas modalidades, el gas metano se difunde al espacio para el tratamiento de agua nitrificada para participar en la reacción redox de las especies de óxido de nitrógeno en el agua nitrificada.

En algunas modalidades, el gas metano es un biogás derivado de reactores anaerobios.

La **Figura 12C** proporciona un diagrama esquemático de flujo del proceso que ilustra las etapas secuenciales que usan un sistema de un tipo ilustrado en la **Figura 8C** para tratar aguas residuales similar al ejemplificado en la **Figura 12B**. En esta modalidad, el agua descargada del biorreactor **610**, que contiene materiales orgánicos disueltos que se producen como resultado de la oxidación por la biopelícula del gas metano también introducido en el biorreactor, se alimenta a un tanque de aireación para enriquecer el agua a tratar con una fuente de carbono que brinda soporte a y

promueve la desnitrificación en el tanque de aireación. Después, el agua desnitrificada que incluye sólidos suspendidos se somete a la eliminación de los sólidos en un clarificador desde el cual los sólidos se eliminan hacia una unidad de descarga de lodo o se retornan al tanque de aireación. El agua tratada (clarificada) se descarga a la salida de efluente desnitrificado con, en ocasiones, al menos una parte de la misma en comunicación/circulación al biorreactor **610**, para un uso posterior. El agua de la que se han eliminado los sólidos se introduce al biorreactor **610** o se recolecta como efluente desnitrificado. En ocasiones, el agua que sale del biorreactor **610** puede volver a comunicarse al tanque de aireación.

En ocasiones, y aunque no se ilustra, puede usarse metanol, acetato u otras fuentes de materia orgánica biodegradable disponibles comercialmente para facilitar el proceso de desnitrificación anóxica. Además, en ocasiones, el gas que contiene metano puede recibirse como biogás de un reactor anaerobio, por ejemplo, de un digestor de lodo, que trata el exceso de lodo de un proceso de tratamiento biológico de aguas residuales.

Las configuraciones de operación anteriores superan los problemas de recursos insuficientes (donantes de electrones) para la desnitrificación a los niveles requeridos por las reglamentaciones. Una solución común para dicha falta de recursos es la compra de metanol o un acetato o un material orgánico biodegradable soluble diferente, para alimentarlo a una parte de desnitrificación anóxica del proceso de tratamiento biológico. El proceso ilustrado en la Figura 12A-12C permite un proceso de desnitrificación más eficiente debido al suministro continuo de las especies donantes de electrones requeridas.

De lo anterior se deduce que la presente descripción también proporciona métodos para producir una solución que contiene compuestos orgánicos. El método comprende (i) sumergir dentro del agua un recinto alargado que comprende una pared que separa una trayectoria alargada interna dentro de dicho recinto y un espacio para el tratamiento de agua externo a dicho recinto alargado, la pared que comprende una membrana impermeable al agua, permeable al metano; y (ii) hacer fluir gas metano dentro de dicha trayectoria alargada interna; (iii) comunicar el agua tratada a un tanque de lodo activado mediante el cual se produce una solución que contiene compuestos orgánicos.

En algunas modalidades, el método comprende descargar aire (o cualquier otro gas que incluya al menos especies que contienen oxígeno) en dicho espacio para el tratamiento de agua. La biopelícula oxida el metano en presencia de las especies que contienen oxígeno introducidas en el agua y produce, entre otras cosas, compuestos orgánicos en solución. Los compuestos orgánicos pueden ser, por ejemplo, metanol, acetato, butirato, etcétera. Esta solución puede usarse después como solución donante de electrones en procesos de desnitrificación, tales como los descritos en la presente descripción. En algunas modalidades, el gas metano es un biogás derivado de reactores anaerobios.

Regresando ahora a la **Figura 13**, se proporciona un diagrama de flujo del proceso que ilustra las etapas de operación para el tratamiento aeróbico del agua de acuerdo con otra modalidad más de la presente descripción y con el uso del biorreactor **610** de un tipo ilustrado en la Figura 8C. En este ejemplo, se ilustran particularmente los elementos de monitorización y control. El agua a tratar se introduce en el biorreactor **610** con el recinto de gas alimentado con gas que contiene oxígeno con el uso de un soplador **GB**. El controlador controla la operación del soplador **GB** y controla la duración a la que el soplador **GB** está activo (T1) o cerrado (T2) y, en consecuencia, el gas difunde en el biorreactor **610** a través de su disposición difusora (no se ilustra). Los períodos de tiempo T1 y T2 se determinan para proporcionar, entre otras cosas, un equilibrio entre la mezcla de la materia suspendida en el agua, la limpieza suficiente/eficaz de las paredes del recinto y la sedimentación del lodo en el biorreactor. Como se aprecia, T1 y T2 pueden adaptarse durante la operación del sistema, de acuerdo con las necesidades, y esta adaptación puede controlarse con el controlador.

La **Figura 13** ilustra además un módulo indicador de flujo "FI" que permite la monitorización del flujo de agua desde una fuente de agua hasta el sistema, y un módulo indicador de la calidad "QI" que incluye uno o más sensores para detectar la calidad del agua tratada que sale del biorreactor **610**. Los sensores pueden proporcionar datos al controlador que incluyen parámetros indicativos de cualquiera de la concentración de iones amonio, la concentración de COD, el potencial de oxidación reducción (ORP), la turbidez, etcétera, como se describió anteriormente. El controlador recibe los datos y se configura para provocar al menos un cambio en cualquiera de T1 y T2, por ejemplo, mediante el aumento de T1 y/o la disminución de T2 en respuesta a cualquier indicio de disminución en la calidad del efluente.

En la **Figura 13** se ilustra además una válvula que puede estar en una configuración abierta o cerrada según lo impuesto por el controlador y en algunas modalidades se cierra cuando se activa el soplador **GB**

Por último, se deduce de lo anterior que la presente descripción también proporciona un método para determinar el programa de aireación del agua durante el tratamiento de agua, el método comprende recibir datos relacionados con la calidad del agua y modificar el programa de difusión/descarga de gas de acuerdo con dichos datos. En algunas modalidades, dichos datos se reciben desde un indicador de calidad de un tipo descrito en la presente descripción. En algunas modalidades, el programa de aireación comprende la duración de las aireaciones de la disposición difusora de gas de un tipo descrito en la presente descripción,

REIVINDICACIONES

1. Un módulo de tratamiento de agua (100; 300; 500; 600) que comprende:
 - 5 al menos un recinto de gas alargado (110; 210; 310; 510; 610) que comprende una entrada de gas (112; 512) y dos paredes verticales (114; 116; 214; 216; 314; 316), al menos una pared vertical que comprende una membrana impermeable al agua y permeable a los gases que tiene un lado orientado al agua (114a; 116a) y un lado orientado al gas (114b; 116b), las dos paredes verticales que tienen un extremo superior (118) y un extremo inferior (120), las dos paredes verticales se sellan longitudinalmente en el extremo superior (118) y en el extremo inferior (120), y separan el agua externa a dicho recinto y el gas dentro de dicho recinto, el recinto de gas (110; 210; 310; 510; 610) está en una configuración enrollada o bobinada para definir de ese modo una trayectoria horizontal convoluta y uno o más espacios para el tratamiento de agua (122) formados entre los lados opuestos orientados al agua del recinto; y
 - 10 una disposición difusora (126; 226; 326; 402; 526; 626) que comprende difusores de gas configurados para introducir una corriente de gas en el uno o más espacios para el tratamiento de agua para provocar la mezcla del agua en el mismo, los difusores de gas (132) que comprenden aberturas de liberación de gas (134; 232; 334) colocadas debajo del uno o más espacios para el tratamiento de agua (122);
 - 15 dicho módulo de tratamiento de agua se **caracteriza porque** el módulo comprende una estructura de refuerzo que incluye un elemento de soporte superior (140; 540; 640) y un elemento de soporte inferior (142; 542; 642) que se conectan a una porción superior y a una porción inferior de dicho recinto y se configuran para mantener el recinto en su configuración de trayectoria horizontal convoluta prevista cuando se sumerge en agua, dicho elemento de soporte inferior (142; 542; 642) que se estructura como una malla para permitir el paso del aire desde dicha disposición difusora a la totalidad de uno o más espacios para el tratamiento de agua, así como el paso del agua hacia uno o más espacios para el tratamiento de agua.
 - 20
 - 25 2. El módulo de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende uno o más primeros elementos separadores (150) dispuestos dentro de dicho recinto de gas alargado (110; 210; 310; 510; 610) y configurado para mantener una primera distancia mínima entre los lados opuestos orientados al gas (114b; 116b) de las dos paredes verticales y uno o más segundos elementos separadores (160) dispuestos dentro del uno o más espacios para el tratamiento de agua (122) para mantener una segunda distancia mínima entre dichos lados opuestos orientados al agua (114a; 116a).
 - 30
 - 35 3. El módulo de acuerdo con la reivindicación 2, en donde cualquiera del uno o más elementos separadores (150, 160) comprende elementos tridimensionales individuales y discretos distribuidos unidos al menos a un lado de al menos una de las paredes verticales (114; 116) y configurados para mantener una distancia impuesta por el grosor de los elementos discretos.
 - 40 4. El módulo de acuerdo con cualquiera las reivindicaciones 1 a 3, en donde dichas dos paredes verticales se forman integralmente en un manguito alargado y dicho manguito alargado se enrolla en un espiral.
 - 45 5. El módulo de acuerdo con cualquiera las reivindicaciones 1 a 4, en donde dicha membrana comprende una tela polimérica no tejida formada a partir de una primera lámina polimérica recubierta por extrusión o laminada con una segunda capa polimérica orientada al agua.
 - 50 6. El módulo de acuerdo con cualquiera las reivindicaciones 1 a 5, que comprende además al menos un difusor de gas (132) que tiene un primer conducto generalmente vertical, un segundo conducto generalmente vertical y una cámara de gas/líquido (378; 478); el primer conducto está en comunicación de gas en su parte superior con una o más aberturas de gas y está en comunicación de fluidos en su parte inferior con el segundo conducto; el segundo conducto está en comunicación de fluidos en su parte superior con la cámara de gas/líquido (378; 478); y la cámara de gas/líquido (378; 478) tiene una parte superior sellada, en comunicación de gas con una fuente de gas a una presión suficiente para desplazar el líquido fuera de dicha cámara y con al menos una abertura en su parte inferior hacia una fuente de líquido.
 - 55
 - 60 7. El módulo de acuerdo con cualquiera las reivindicaciones 1 a 6, en donde dicha configuración enrollada es una espiral y el módulo comprende un tubo vertical central (144) configurado para recibir dicha agua y canalizarla a uno o más espacios para el tratamiento de agua.
 8. Un biorreactor (610) que comprende un tanque de tratamiento de agua (602) con una entrada de agua de alimentación y una salida de agua tratada y uno o más módulos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.
 - 65 9. El biorreactor de acuerdo con la reivindicación 8, que comprende un tanque de separación para recibir agua tratada y para eliminar los sólidos suspendidos de dicha agua tratada.

- 5
10. El biorreactor de acuerdo con cualquiera las reivindicaciones 8 y 9, que comprende en una porción superior de dicho tanque de tratamiento un vertedero de agua (608) configurado para recibir agua tratada esencialmente libre de sólidos suspendidos y comunicar el agua tratada a la salida de agua tratada.
- 10
11. El biorreactor de acuerdo con cualquiera las reivindicaciones 8 a 10 que comprende una cámara de tratamiento de agua en la que se dispone dicha membrana impermeable al agua, permeable a los gases, y una segunda cámara formada integralmente dentro de dicho biorreactor de agua, la segunda cámara se configura para recibir el agua a tratar y comunicar dicha agua a la cámara de tratamiento de agua.
- 15
12. Un método para tratar agua, el método comprende:
- introducir agua en uno o más espacios para el tratamiento de agua (122) de un biorreactor (610) que comprende un tanque de tratamiento de agua (602) con una entrada de agua de alimentación (605) y una salida de agua tratada (606) y uno o más módulos de tratamiento de agua (100; 300; 500; 600), el módulo de tratamiento de agua que comprende:
 - al menos un recinto de gas alargado (110; 210; 310; 510; 610) que comprende una entrada de gas (112; 512) y dos paredes verticales (114; 116; 214; 216; 314; 316), al menos una pared vertical que comprende una membrana impermeable al agua y permeable a los gases que tiene un lado orientado al agua (114a; 116a) y un lado orientado al gas (114b; 116b), las dos paredes verticales tienen un extremo superior (118) y un extremo inferior (120), las dos paredes verticales se sellan longitudinalmente en el extremo superior (118) y en el extremo inferior (120), y separan el agua externa a dicho recinto y el gas dentro de dicho recinto, el recinto de gas (110; 210; 310; 510; 610) está en una configuración enrollada o plegada para definir de ese modo una trayectoria horizontal convoluta y uno o más espacios para el tratamiento de agua (122) formados entre los lados opuestos orientados al agua (114a; 116a) del recinto; y
 - una disposición difusora (126; 226; 326; 402; 526; 626) que comprende difusores de gas (132) configurados para introducir una corriente de gas al uno o más espacios para el tratamiento de agua para provocar la mezcla del agua en los mismos; los difusores de gas (132) que comprenden aberturas de liberación de gas (134; 232; 334) colocadas debajo del uno o más espacios para el tratamiento de agua (122);
 dicho módulo de tratamiento de agua se **caracteriza porque** -
 - el módulo comprende una estructura de refuerzo que incluye un elemento de soporte superior (140; 540; 640) y un elemento de soporte inferior (142; 542; 642) que se conectan a una porción superior y a una porción inferior de dicho recinto y se configuran para mantener el recinto en su configuración de trayectoria horizontal convoluta prevista cuando se sumerge en agua, dicho elemento de soporte inferior (142; 542; 642) que se estructura como una malla para permitir el paso del aire desde dicha disposición difusora hasta uno o más espacios para el tratamiento de agua como así como el paso del agua a uno o más espacios para el tratamiento de agua,
 - introducir un gas de tratamiento de agua en el al menos un recinto de gas alargado (110; 210; 310; 510; 610);
 - introducir gas en la disposición difusora (126; 226; 326; 402; 526; 626) para provocar de ese modo la descarga de una corriente de gas en el uno o más espacios para el tratamiento de agua (122); y
 - recolectar el agua tratada.
- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65
13. El método de acuerdo con la reivindicación 12, en donde dicho gas de tratamiento de agua es un gas que contiene oxígeno o un gas que contiene metano.
14. El método de acuerdo con cualquiera las reivindicaciones 12 y 13, que comprende operar dicha disposición difusora (126; 226; 326; 402; 526; 626) para introducir gas de forma intermitente en dicho espacio para el tratamiento de agua (122).
15. El método de acuerdo con cualquiera las reivindicaciones 12 a 14, que comprende además separar los sólidos del agua tratada fuera de dicho tanque de tratamiento (602) y hacer circular al menos una parte de dichos sólidos a dicho tanque de tratamiento.
16. El método de acuerdo con cualquiera las reivindicaciones 12 a 14, que comprende además separar los sólidos del agua tratada dentro de dicho tanque de tratamiento (602) y descargar al menos una parte del agua tratada desde una localización superior de dicho tanque de tratamiento (602), en períodos de operación cuando la disposición difusora (126, 226, 326, 402, 526, 626) está inactiva, el tanque de tratamiento (602) retiene los sólidos de biomasa y descarga el agua tratada clarificada a través del desbordamiento del agua clarificada en un vertedero recolector de agua (608) que se encuentra en una porción superior del tanque de tratamiento (602).

17. El método de acuerdo con cualquiera las reivindicaciones 12 a 16, que comprende recibir datos que representan la calidad de dicha agua tratada y controlar la operación de al menos dicha disposición difusora (126; 226; 326; 402; 526; 626) en base a dichos datos.

5

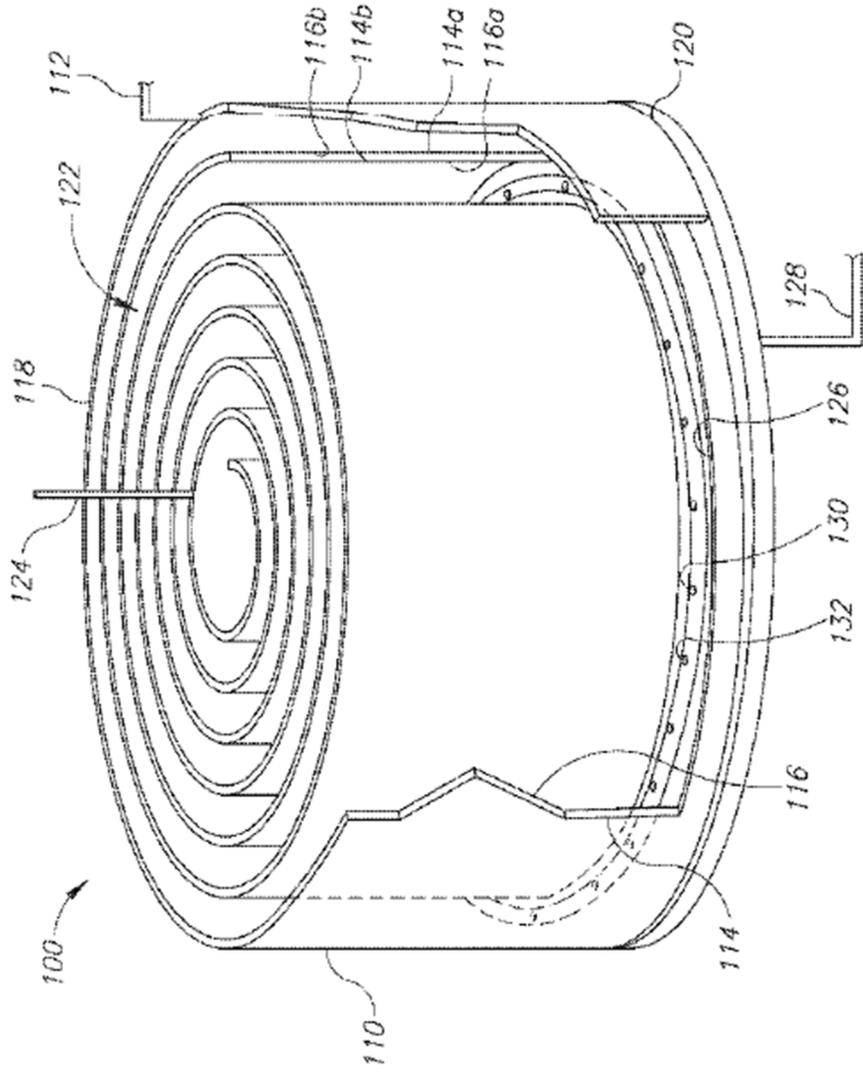


Figure 1

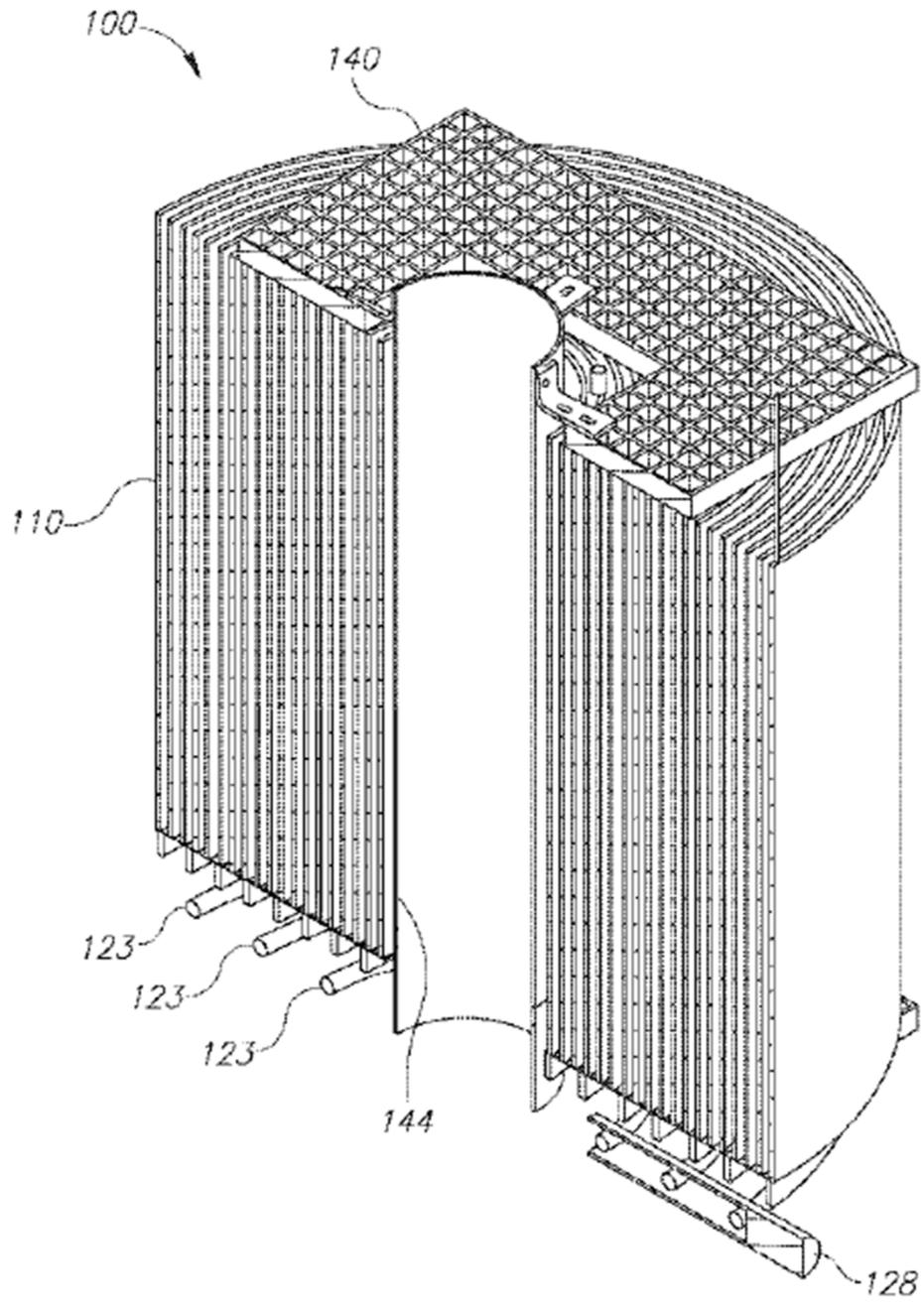


Figura 2A

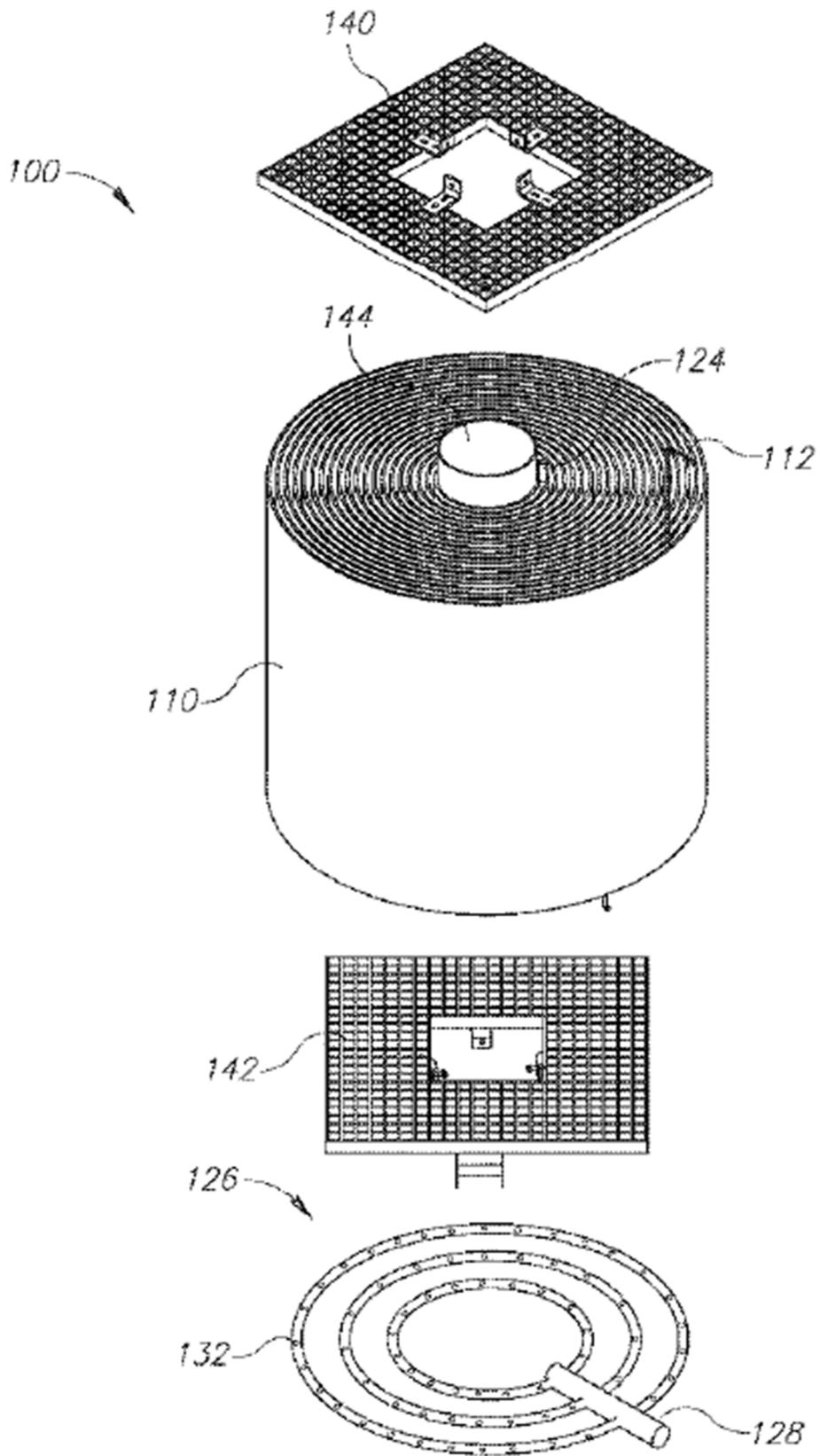


Figura 2B

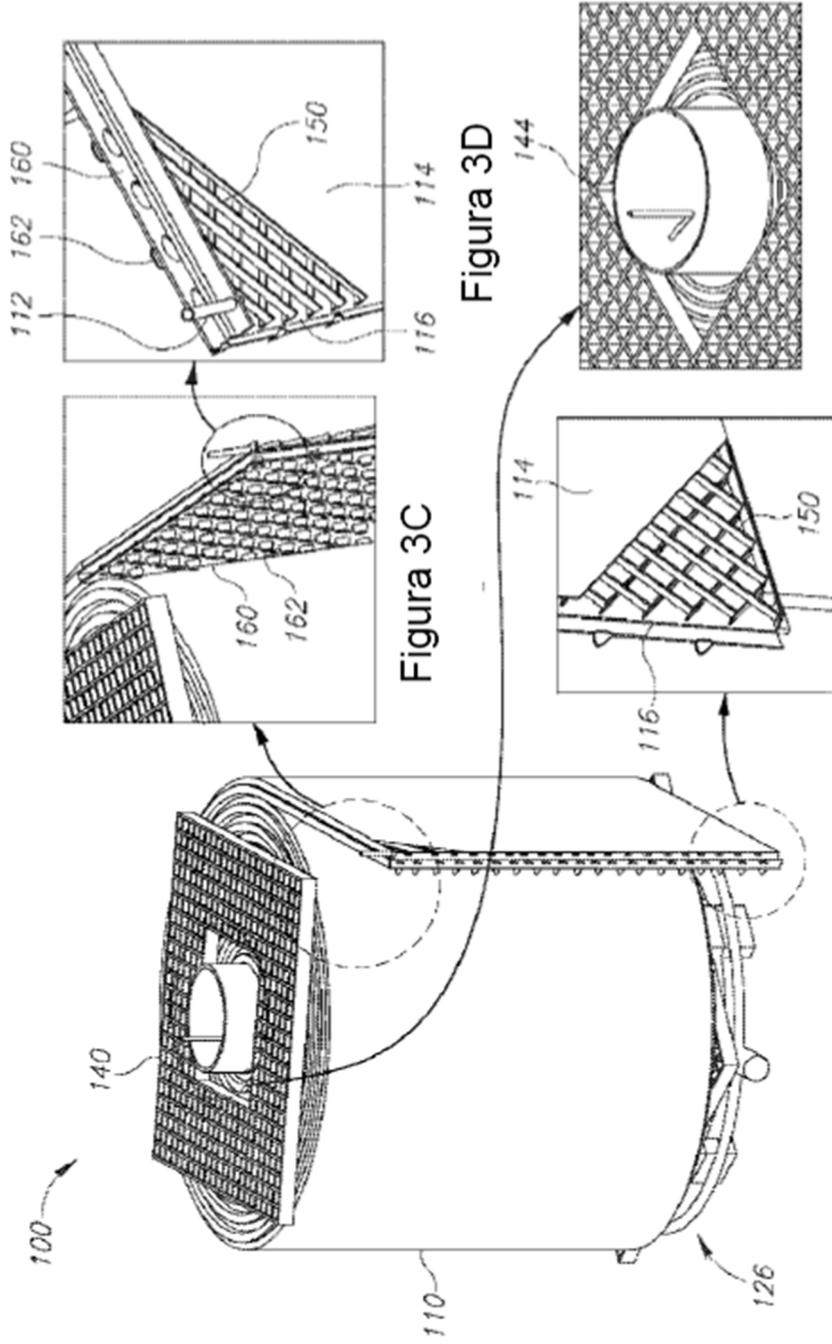


Figura 3E

Figura 3B

Figura 3A

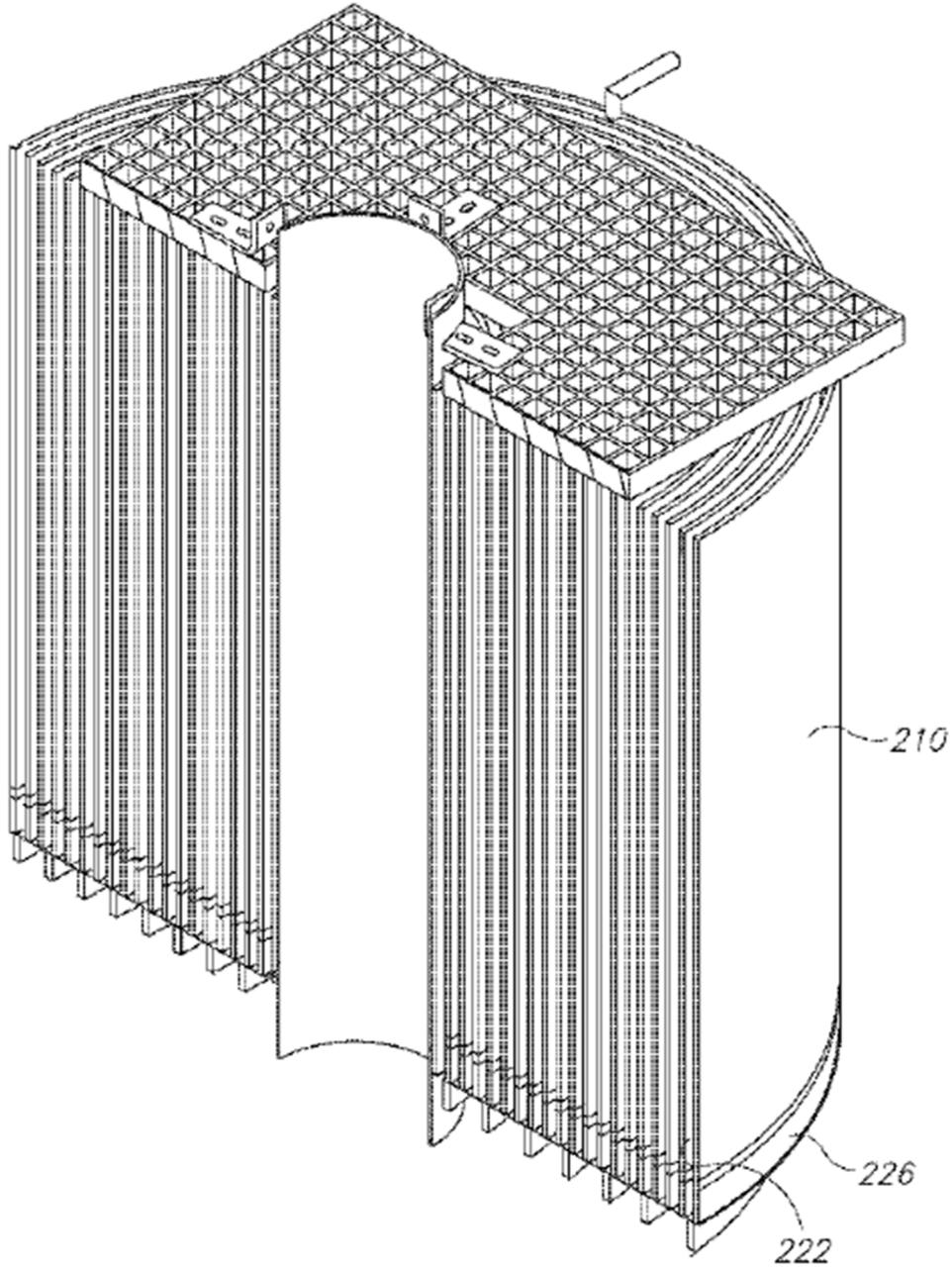


Figura 4A

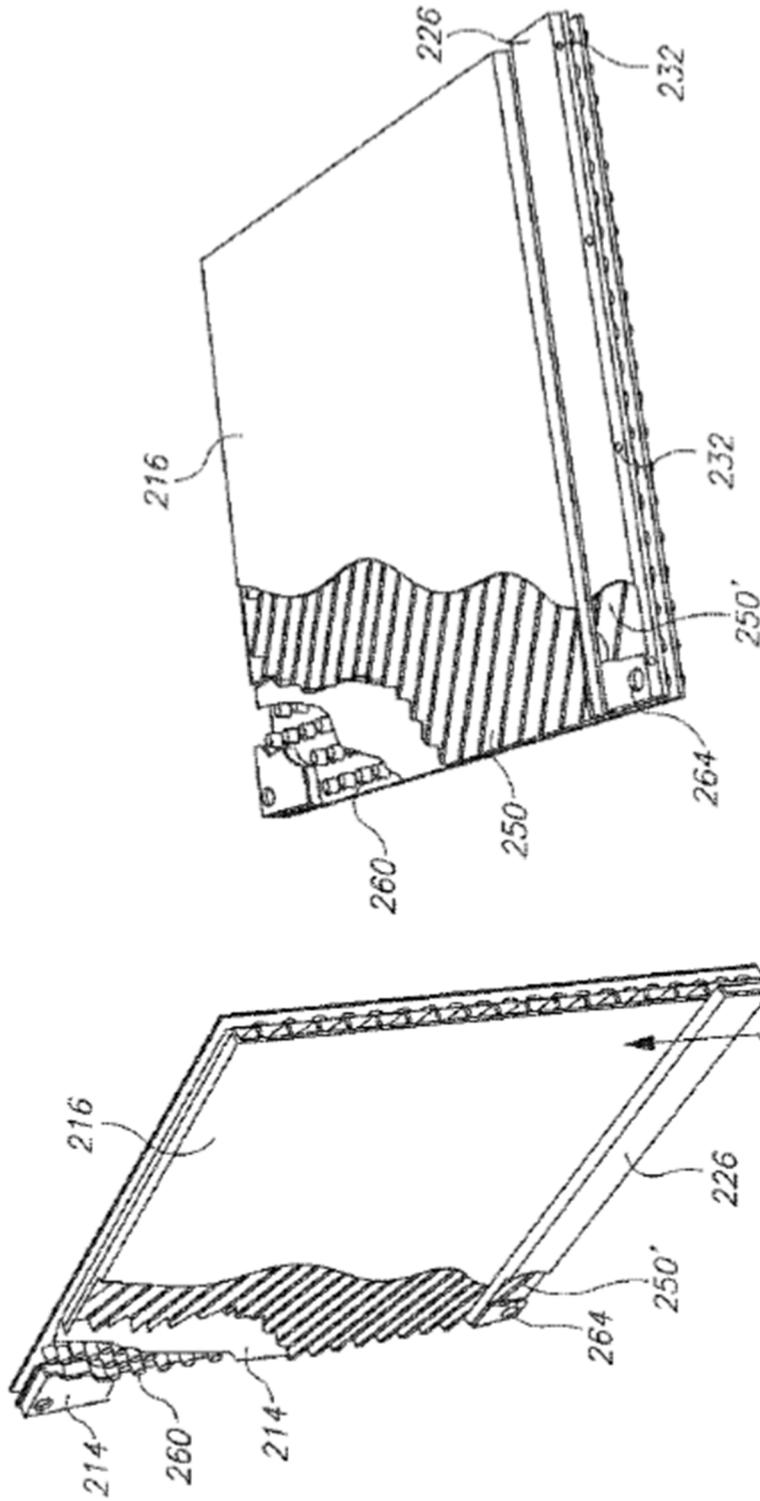


Figura 4C

Figura 4B

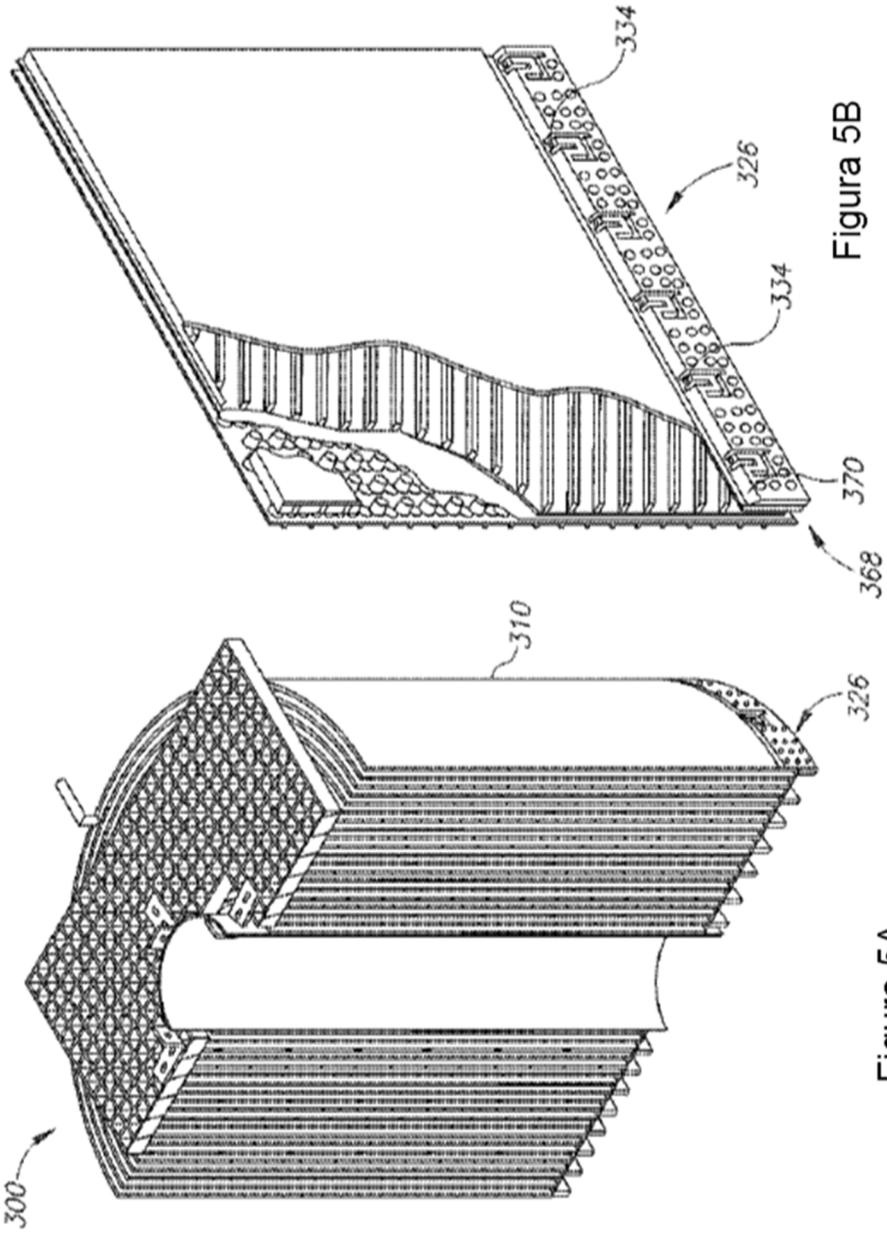


Figure 5B

Figure 5A

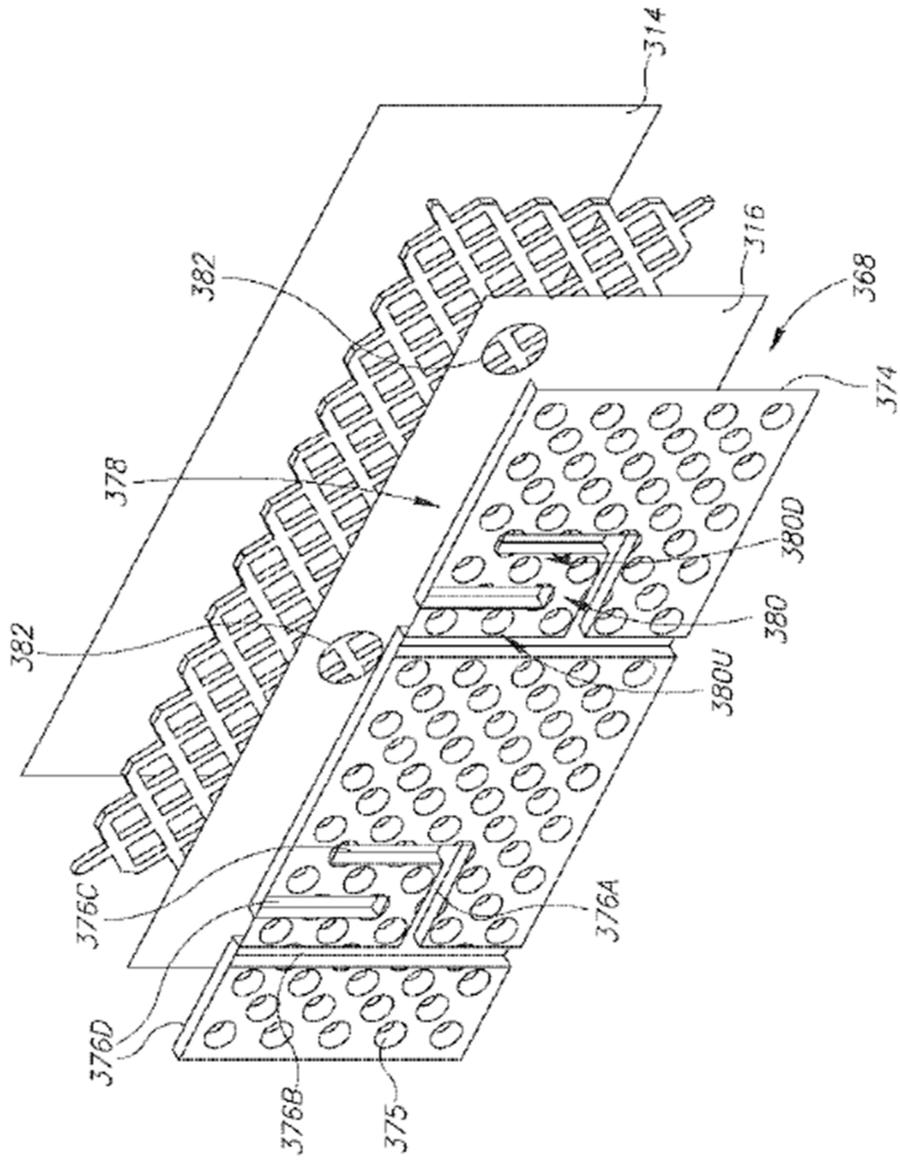


Figure 5C

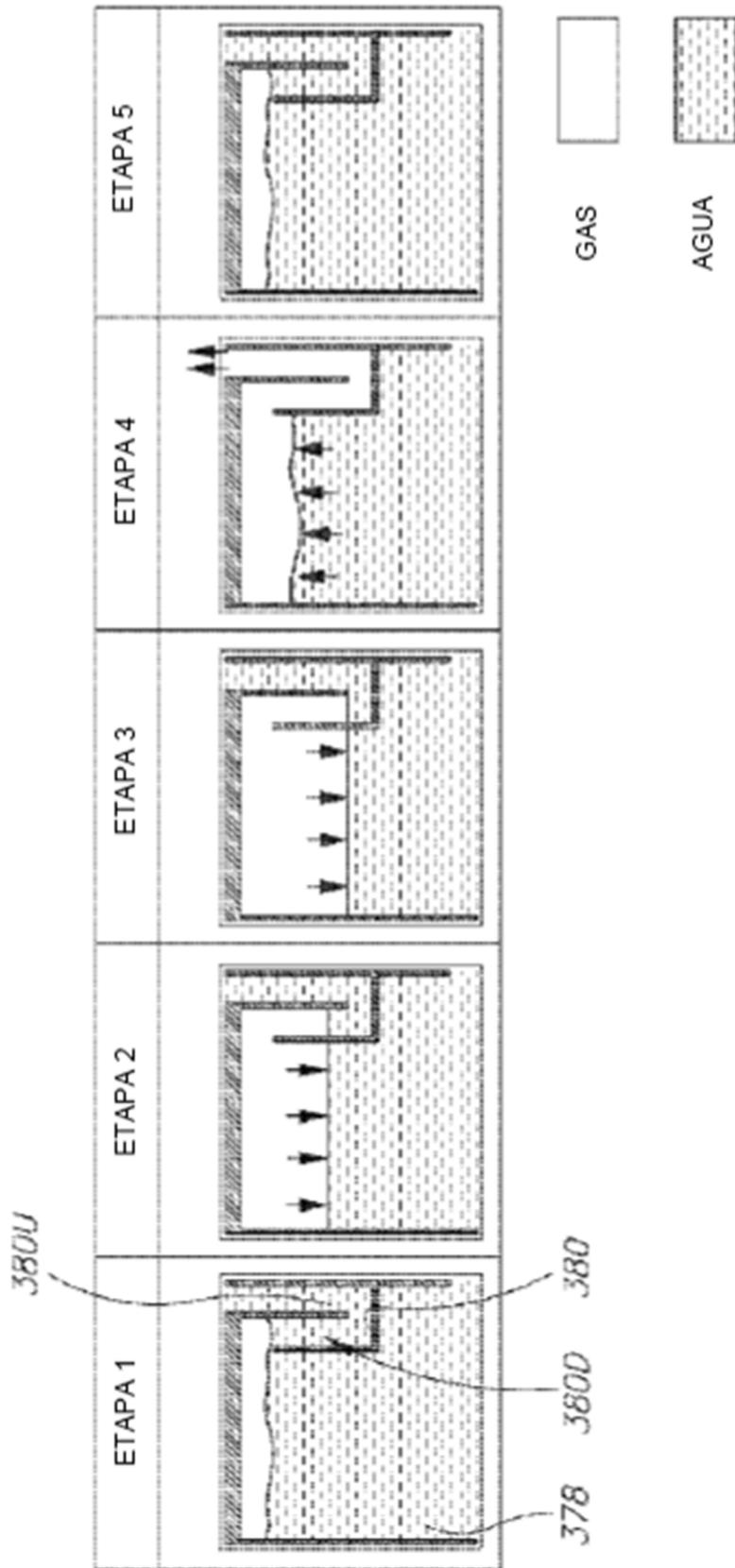
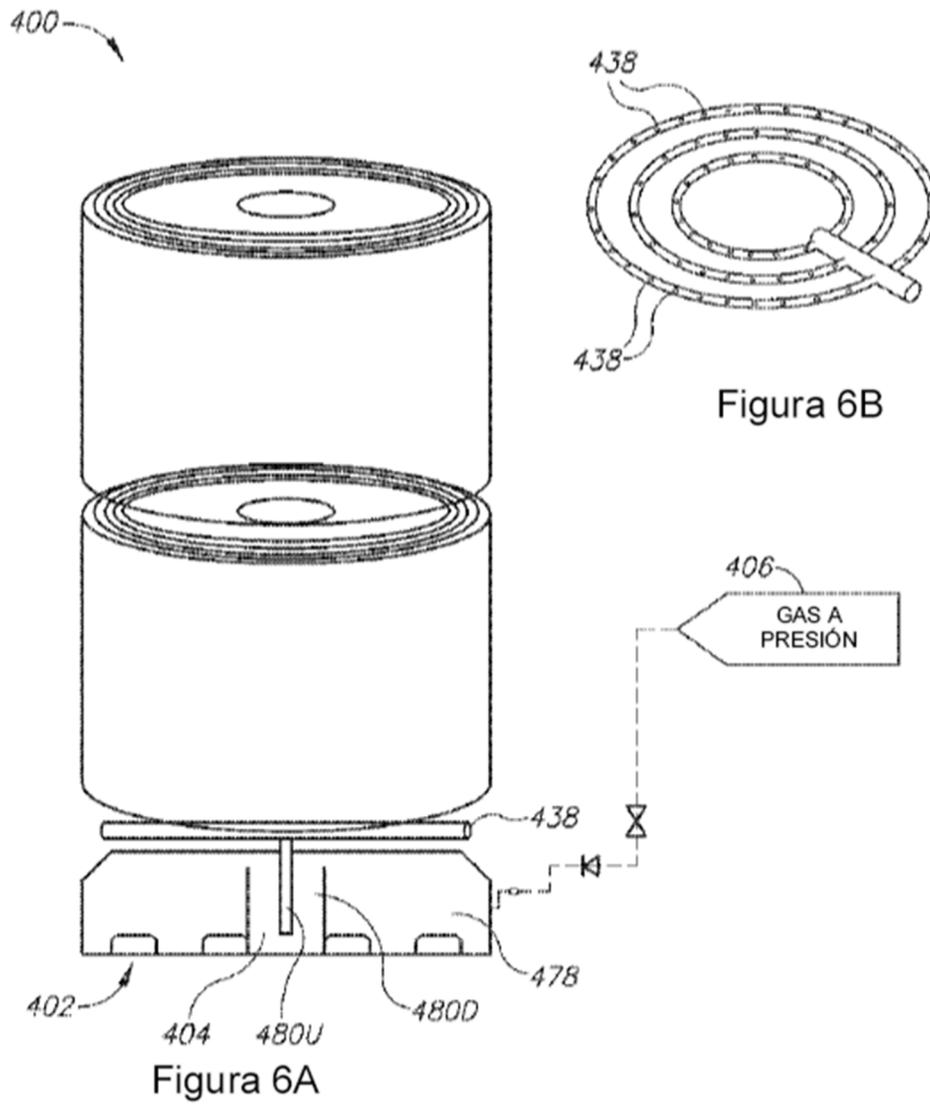


Figura 5D



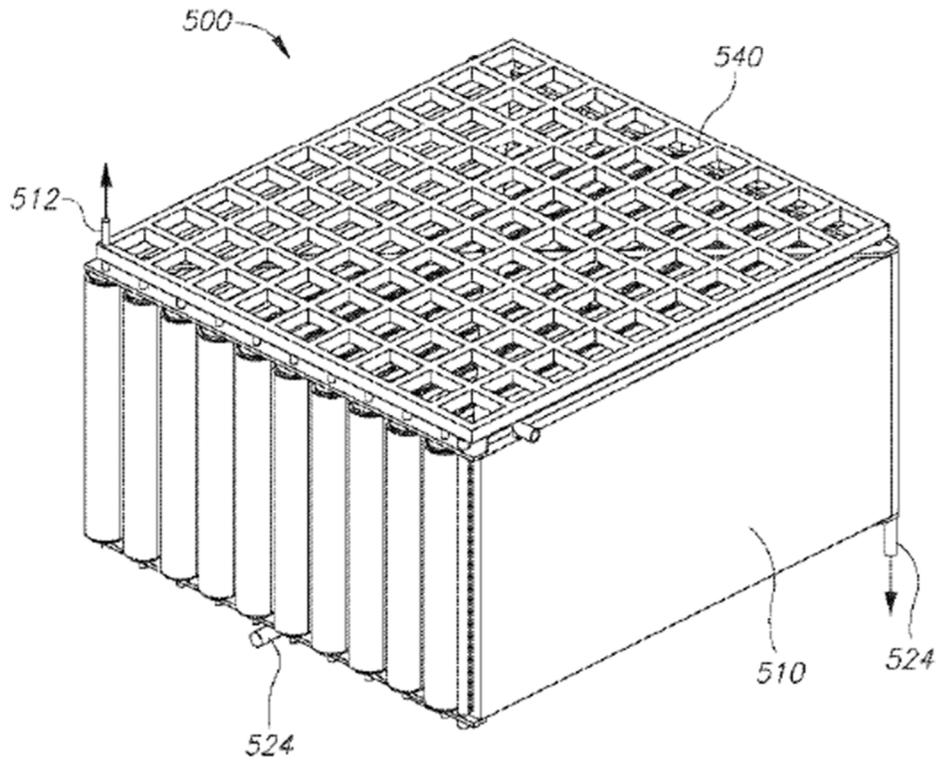


Figura 7A

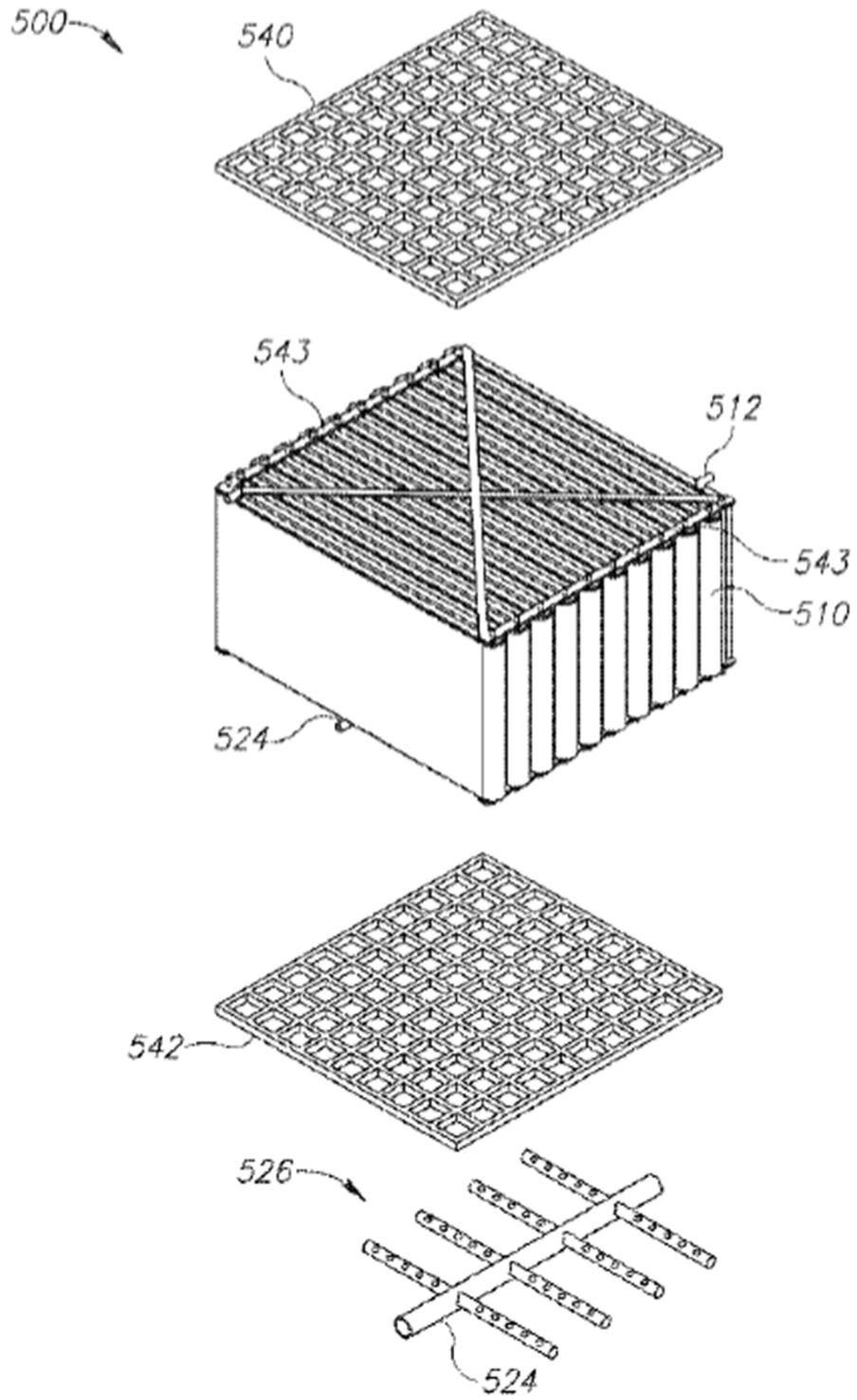


Figura 7B

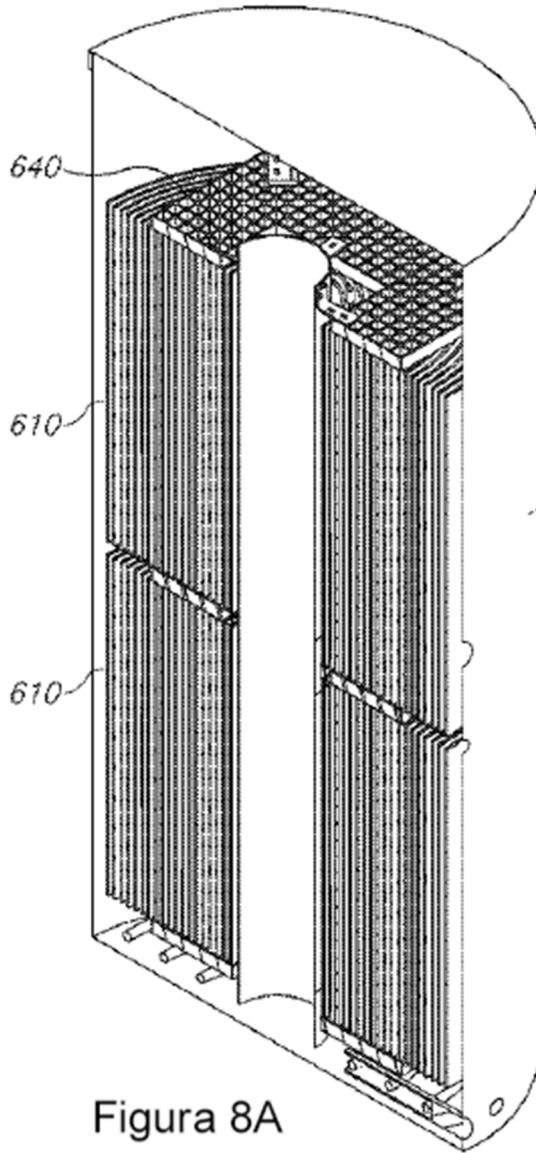


Figura 8A

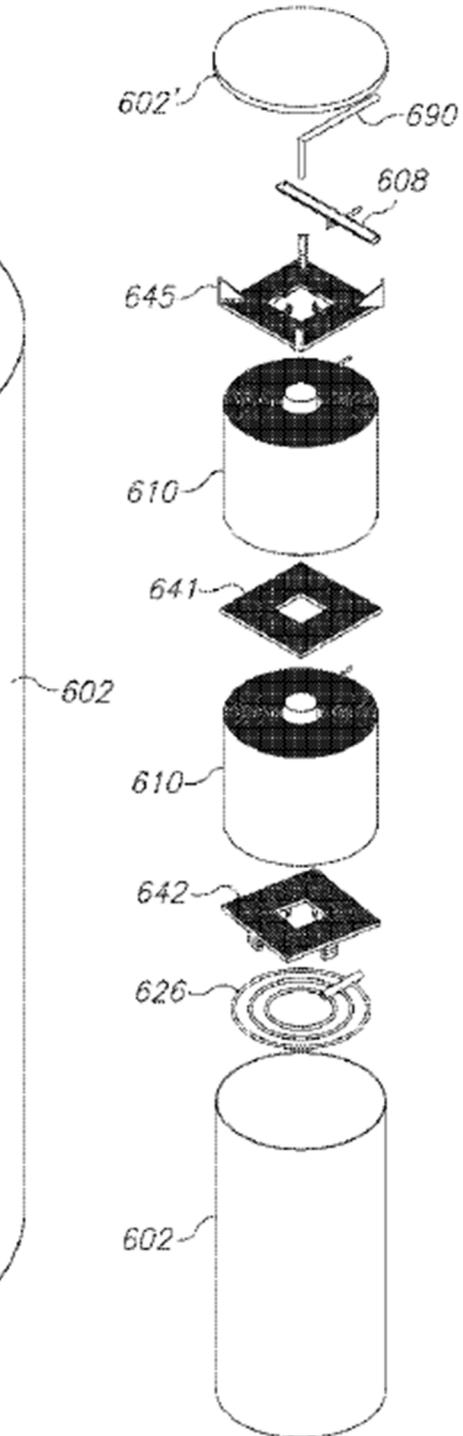


Figura 8B

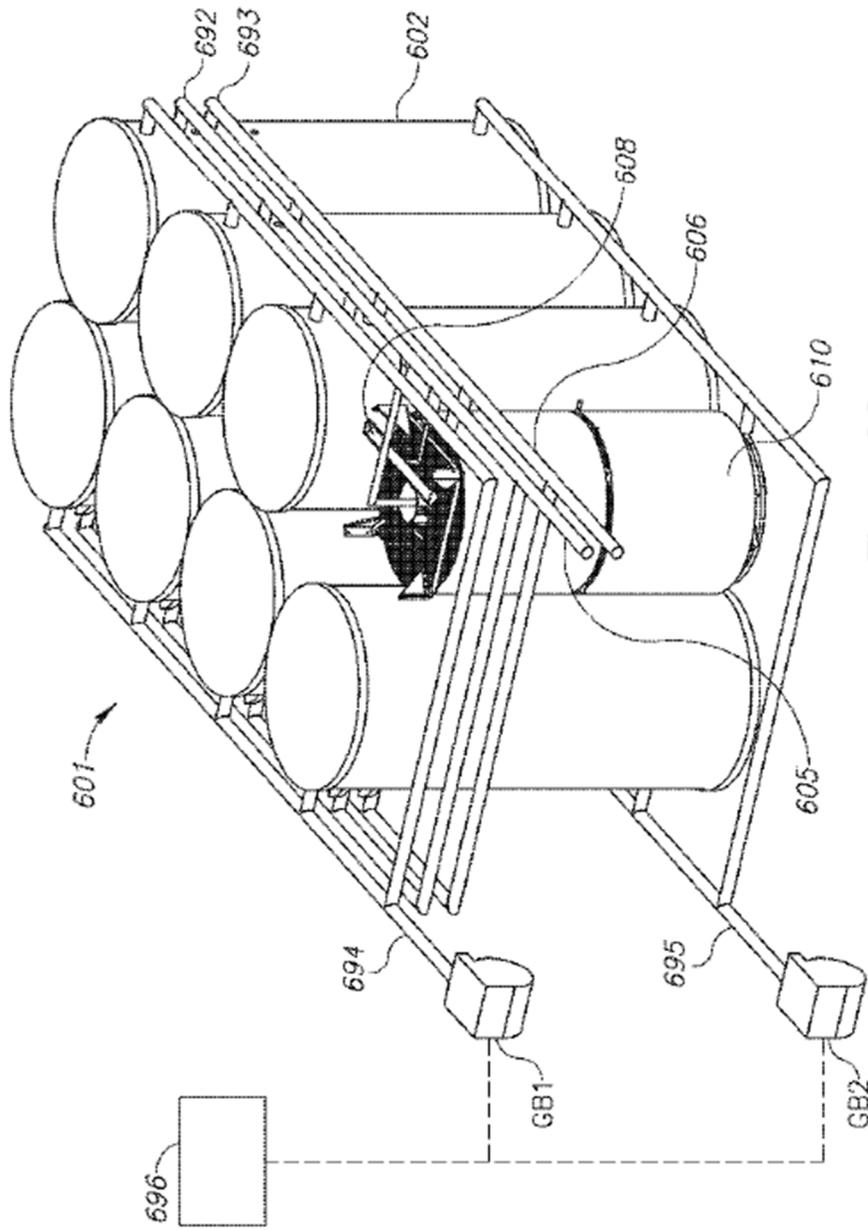


Figura 8C

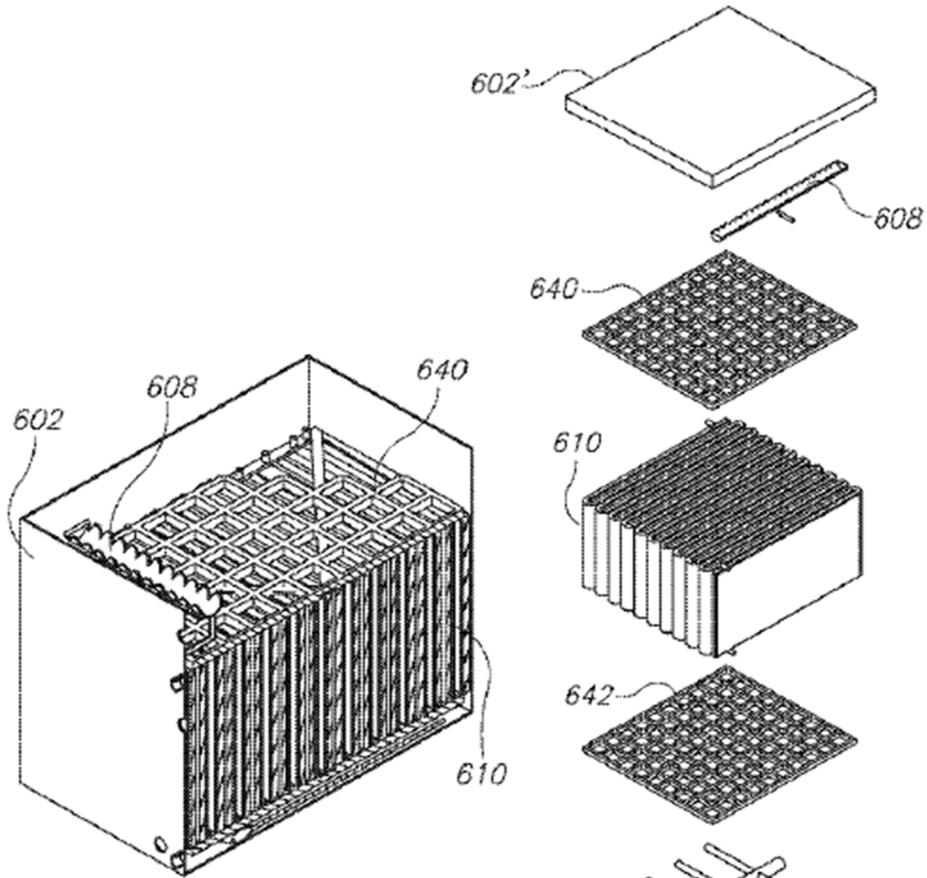


Figura 9A

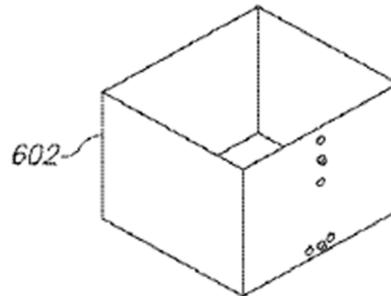
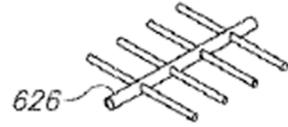


Figura 9B

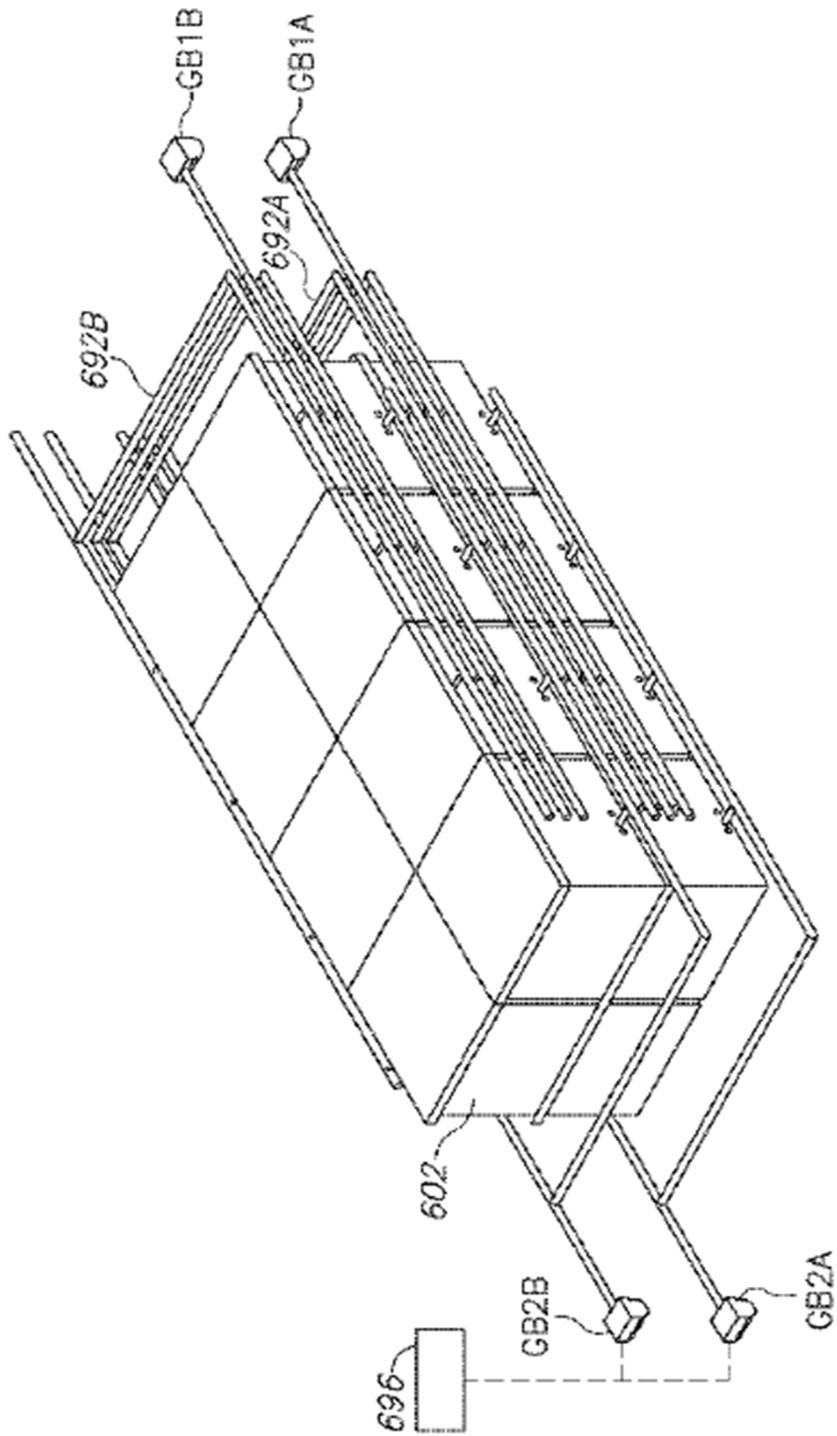


Figura 9C

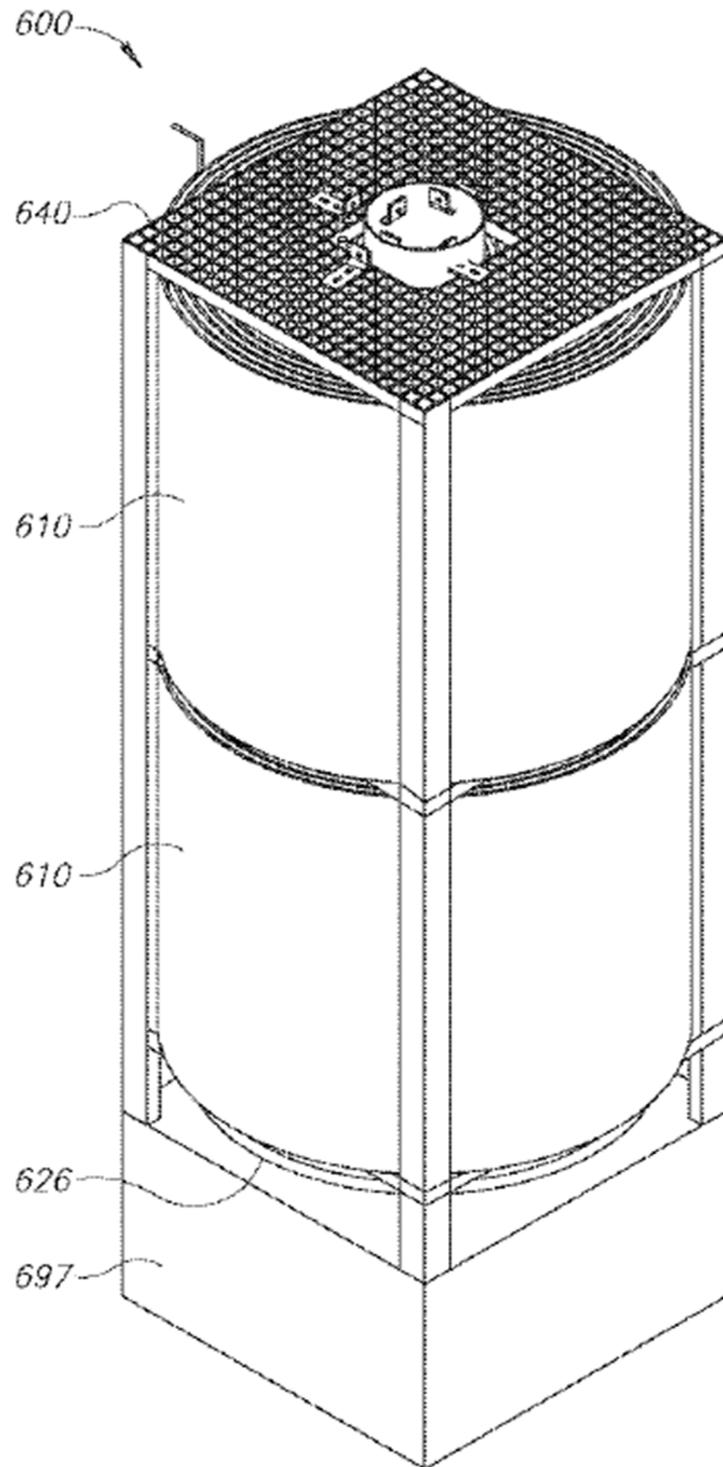


Figura 10A

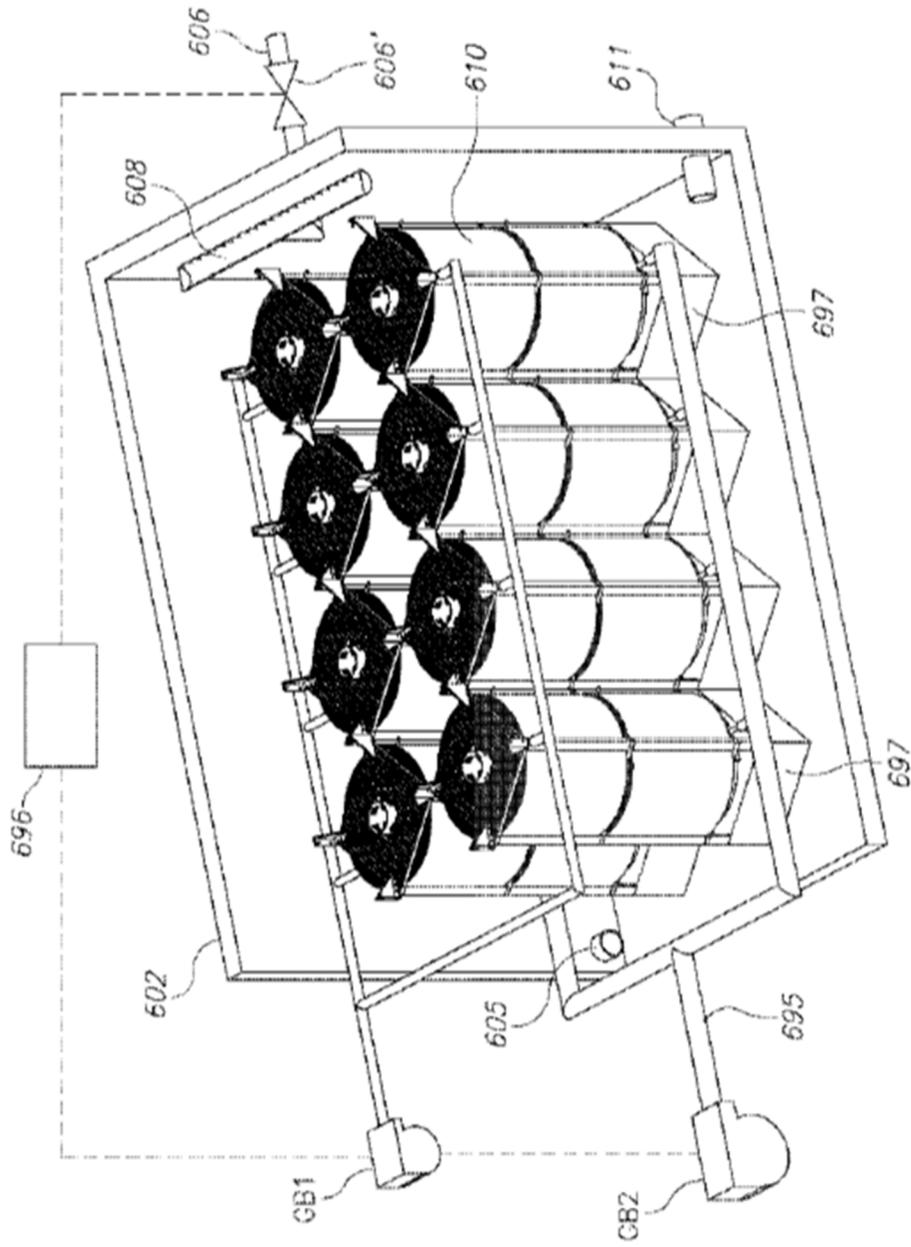


Figura 10B

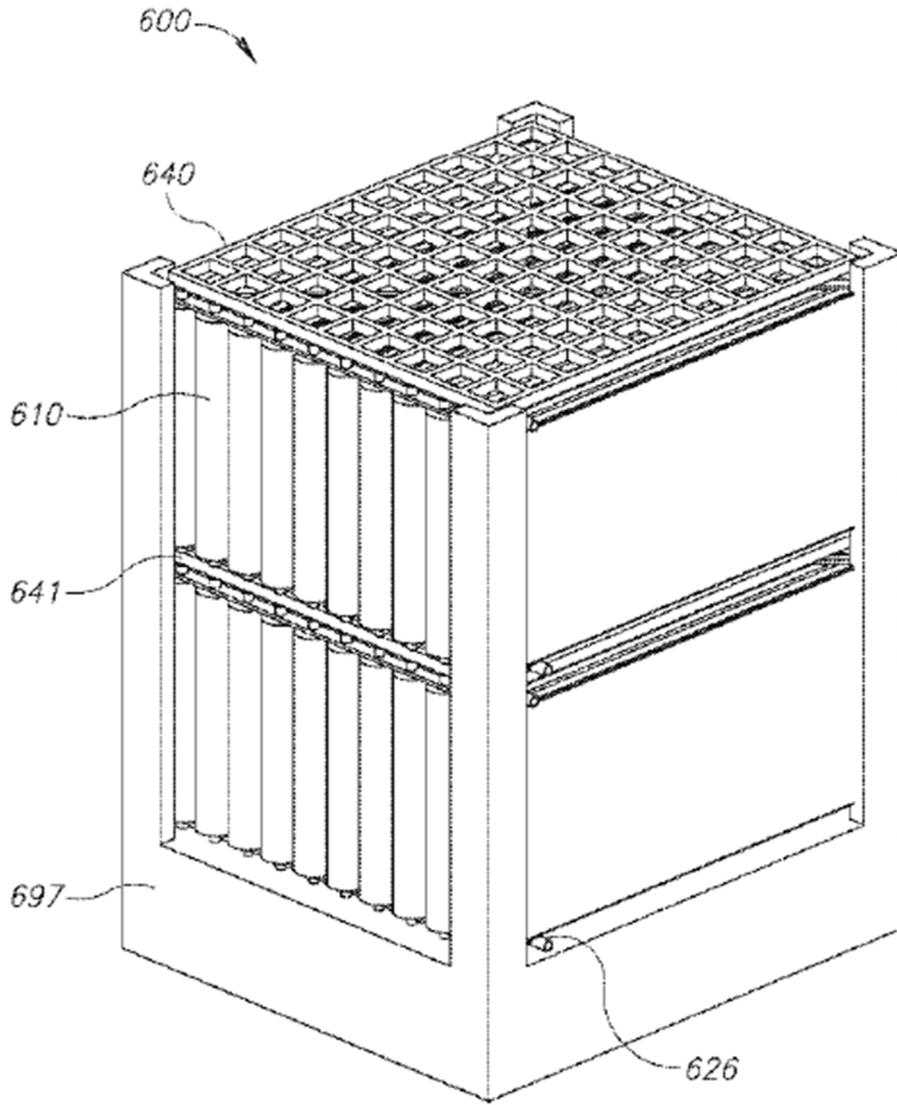


Figura 11A

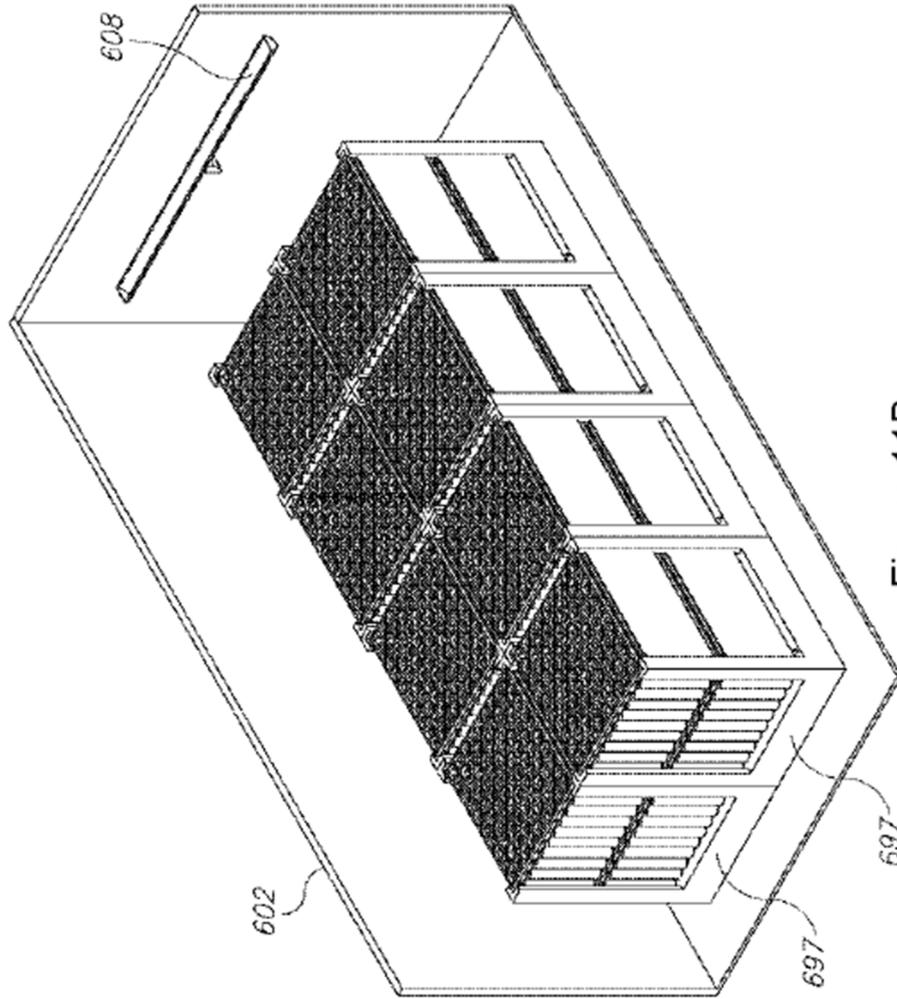


Figura 11B

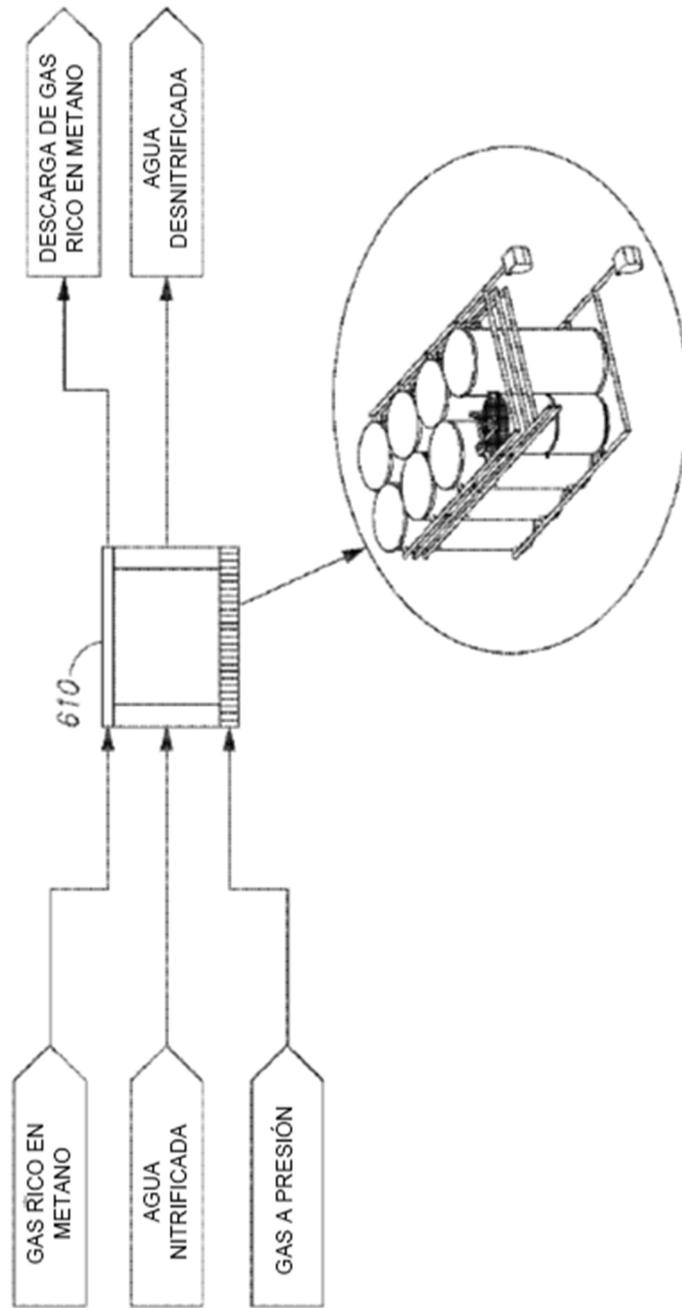


Figura 12A

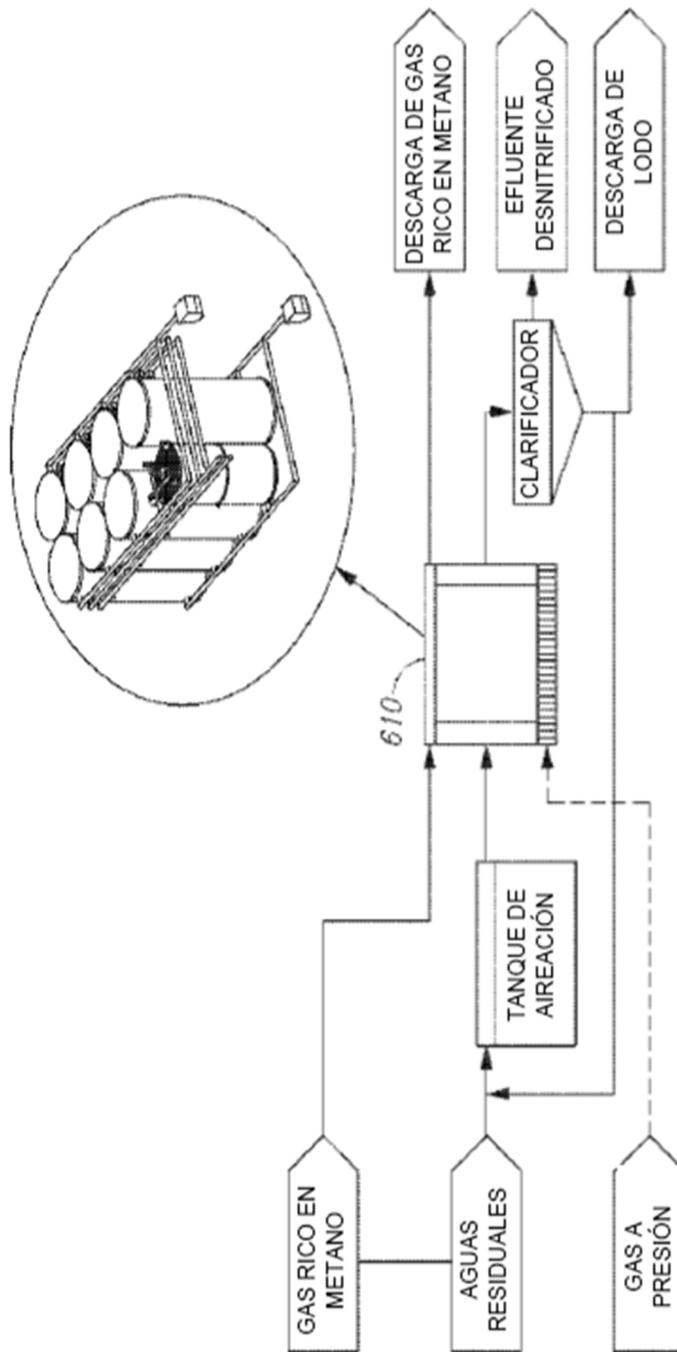


Figura 12B

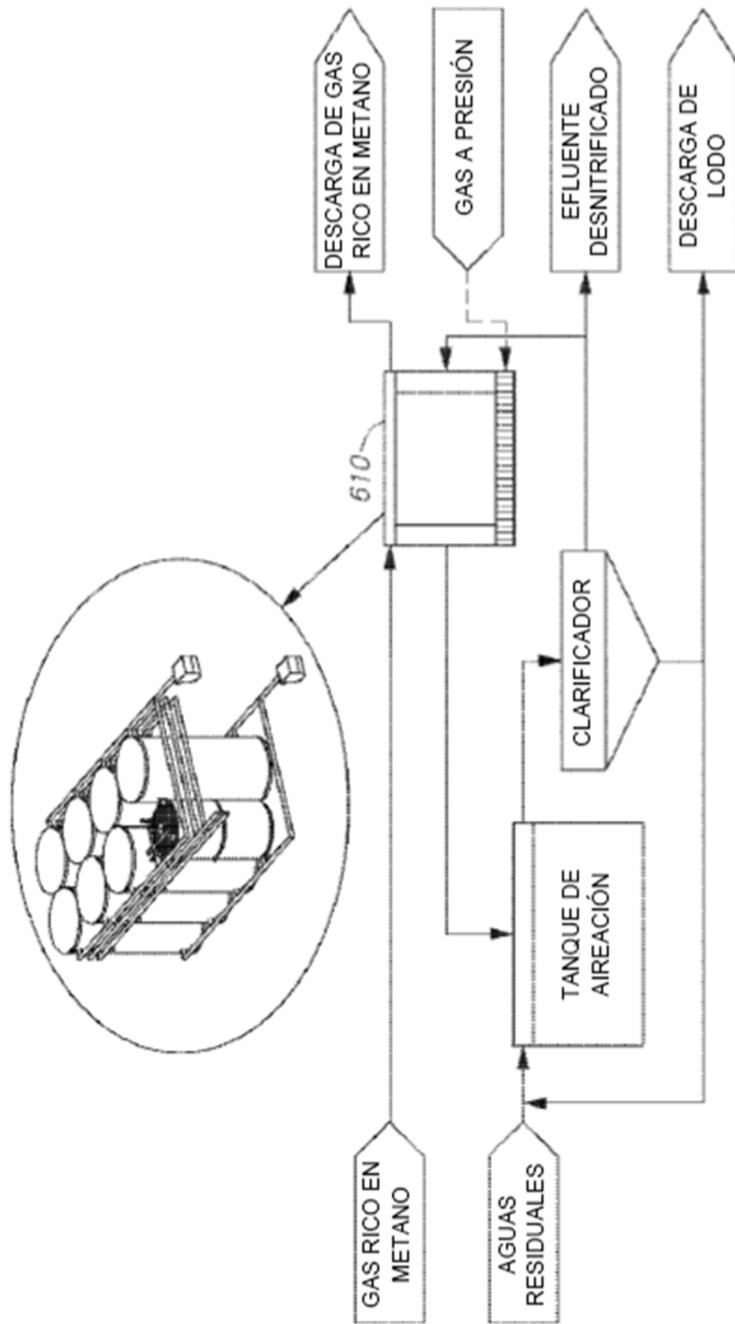


Figura 12C

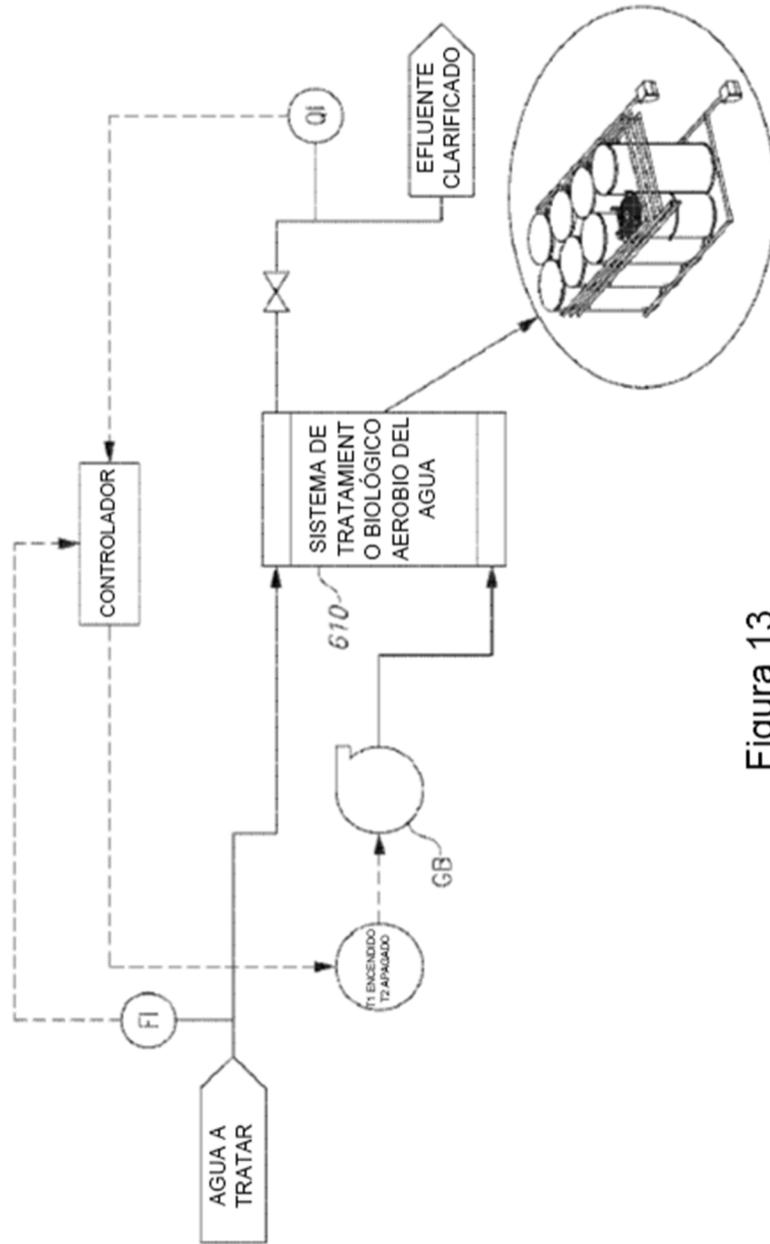


Figura 13