

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 739 643**

21 Número de solicitud: 201800180

51 Int. Cl.:

**C02F 3/12** (2006.01)

**B01J 19/18** (2006.01)

**B01D 69/08** (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

**02.08.2018**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**03.02.2020**

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA (100.0%)  
Pabellón de Gobierno, Av. de los Castros s/n  
39005 Santander (Cantabria) ES**

72 Inventor/es:

**TEJERO MONZÓN, Juan Ignacio;  
CASTRILLO MELGUIZO, María;  
DÍEZ MONTERO, Ruben y  
ESTEBAN GARCÍA, Ana Lorena**

54 Título: **Reactor de biomembrana para depurar un afluente de líquido contaminado**

57 Resumen:

Reactor de biomembrana para depurar un afluente de líquido contaminado.

Comprende un depósito (11), para recibir el afluente, en el que se disponen haces de membranas (121) formando un lecho (12), para soportar una biopelícula. Un colector de entrada (122) recibe gas para alimentarias membranas (121). Un colector de salida (123) recoge el gas tras su paso por las membranas (121). Las membranas (121) están dispuestas según una fracción de empaquetamiento homogénea respecto de la planta del depósito (11). Permite mejorar transferencia de masa entre biopelícula y líquido contaminado (111), mediante supresión de canales de circulación preferenciales.

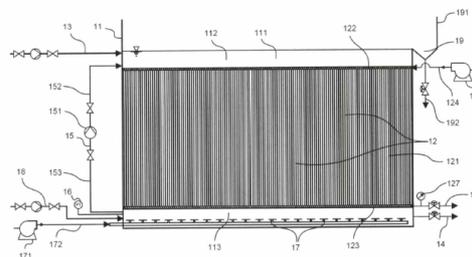


FIGURA 1

## DESCRIPCIÓN

Reactor de biomembrana para depurar un afluente de líquido contaminado.

### 5 Objeto de la invención

La presente invención corresponde al sector técnico de los procesos biológicos de depuración de aguas residuales; en concreto, al sector de los reactores de biopelícula soportada sobre membranas permeables a gases, también denominados reactores de biomembrana.

10

### Antecedentes de la invención

A medida que surgen nuevos retos y necesidades en cuanto al tratamiento de aguas residuales, la normativa referente a la defensa y conservación de las masas y corrientes de agua, y en concreto a los requerimientos de calidad del efluente a verter en los distintos medios receptores, es cada vez más estricta. Como respuesta, el desarrollo de nuevos y mejores procesos de tratamiento de aguas residuales se hace una tarea imperativa. Sin embargo, estos propios procesos conllevan una serie de impactos ambientales negativos, como son el elevado consumo energético, las emisiones gaseosas contaminantes y la ocupación de espacio. Estos impactos son cada vez más relevantes tanto desde el punto de vista medioambiental como económico y social. El desarrollo de nuevas tecnologías en este campo no sólo ha de responder a los problemas medioambientales que trata de resolver, sino que ha de minimizar los posibles impactos negativos en todos los ámbitos.

15

20

25

El consumo energético ligado al tratamiento de aguas residuales se estima en 0,5 - 0,7 kWh por cada metro cúbico de agua tratada, lo que en España equivale a aproximadamente el 1% del consumo energético nacional. Además, debido al incremento en la exigencia sobre la calidad del agua tratada, en concreto de la eliminación de nutrientes, se prevé un aumento de la demanda energética al incorporarse nuevas unidades de proceso y aumentar los flujos de recirculación. En general, el mayor consumo energético por habitante equivalente se produce en depuradoras que son pequeñas, pero no lo suficiente como para implementar tecnologías blandas, siendo este tipo de depuradoras el más numeroso. En este tipo de instalaciones la aireación suele estar sobredimensionada por motivos de robustez y además se emplea el mismo sistema para aportar oxígeno y para generar mezcla. El consumo energético derivado de la aireación en una depuradora convencional para aguas residuales urbanas puede alcanzar el 75% del consumo energético total de la planta. Además, cuando el aire es suministrado mediante difusores, sólo entre el 5 y el 25% del oxígeno aportado es transferido al seno del líquido. El consumo puede disminuir si se aplican técnicas de control de la aireación y sobre todo si se implementan tecnologías innovadoras con mayor eficiencia de transferencia y menor consumo energético.

30

35

40

Por otro lado, el crecimiento de población al que se ven sometidas las ciudades hace que ciertas estaciones depuradoras se vean sobrecargadas de manera constante o periódica y sea necesario incrementar su capacidad sin aumentar el espacio de implantación, ya que este se ve limitado por la presión del entorno, tanto urbano como natural. Además, con el objetivo de reducir costes en la conducción de las aguas residuales desde su generación hasta su tratamiento, las estaciones depuradoras han de encontrarse cerca o en los propios núcleos urbanos. Por estos motivos, tanto la flexibilidad de operación como la compatibilidad de las infraestructuras de tratamiento de aguas residuales empiezan a ser factores muy valorados a la hora de seleccionar una alternativa de depuración.

45

50

El esquema de un tren de tratamiento de aguas residuales depende fundamentalmente de los contaminantes a eliminar (principalmente materia orgánica, nitrógeno, fósforo, sólidos en suspensión u otros contaminantes emergentes) además del tipo de tecnología que se decida

implantar. De forma general el tren de tratamiento está formado por una primera separación física y en algunos casos físico-química, posteriormente tienen lugar uno o varios procesos biológicos y por último se produce una separación física secundaria. En función de los contaminantes que se vayan a eliminar, el tratamiento biológico puede contar con uno o varios ambientes: anaerobio, anóxico y/o aerobio. Cuando los requisitos de vertido son más exigentes, son necesarios procesos ulteriores que permiten alcanzar una mayor calidad del vertido.

En la actualidad el proceso de tratamiento biológico más común es el de fangos activos, habitualmente seguido de un proceso físico en el que se separa la biomasa en suspensión del efluente clarificado, retornando parte de la biomasa en suspensión al tanque de fangos activos para mantener una concentración determinada. Sin embargo, desde finales del siglo XX, con el desarrollo de tecnologías como los biofiltros o los reactores de lecho móvil, están recobrando importancia los procesos basados en biopelículas que previamente habían sido desplazados por los procesos de fango en suspensión.

En este tipo de procesos la biocenosis se fija en la superficie de un material o medio soporte y recibe el sustrato disuelto y el sustrato gaseoso desde el seno del agua con la que está en contacto. En los años 80, comenzó la investigación de los procesos de biopelícula sobre soportes permeables a gases: generalmente membranas que separan la fase líquida de la fase gaseosa en las que la biopelícula crece sobre la cara que se encuentra en contacto con la fase líquida y el sustrato gaseoso es transferido desde el lumen de la membrana hasta la biopelícula mediante difusión.

Existen distintos tipos de membranas en función de su geometría: planas, tubulares, de fibra hueca, etc. Este documento se centra en las membranas de fibra hueca, es decir, tubos o fibras de pequeño diámetro (generalmente entre 50 y 1000 µm) que suelen disponerse en haces cuyos extremos se encuentran unidos a sendos cabezales. La biopelícula que crece sobre este tipo de soporte tiene unas características diferentes a la que crece sobre un soporte convencional, debido principalmente a que recibe el sustrato líquido y el sustrato gaseoso en contradifusión al encontrarse las fases correspondientes a cada lado de la biopelícula.

Tanto los sólidos en suspensión que puedan llegar con el agua afluente, como los que se desprendan de la biopelícula, han de ser separados del efluente, lo que se consigue bien mediante un proceso de separación posterior o bien mediante la introducción de membranas de filtración en el propio reactor de biopelícula.

Las principales ventajas que suponen los reactores de biopelícula sobre soporte permeable a gases en comparación con los reactores de biopelícula convencionales son:

- Reducción del consumo energético asociado a la transferencia de sustrato gaseoso debido a la reducción de pérdidas de carga. En sistemas de aireación mediante burbujas se deben superar las pérdidas de rozamiento en las tuberías, la presión hidrostática del agua en función de su profundidad y las pérdidas de carga en el difusor. En un reactor de biopelícula sobre membranas permeables a gases, las únicas pérdidas de presión son debidas a la resistencia friccional del aire al circular en el interior de las membranas.

- Posibilidad de alcanzar eficiencias de transferencia de gas hasta el 100% mediante la regulación del caudal de gas saliente.

- Gran flexibilidad en el diseño y capacidad para responder rápidamente a los requerimientos variables en la transferencia de gas gracias a la posibilidad de manipular de forma independiente las variables que influyen en la transferencia del gas (coeficiente de transferencia, área superficial y concentración/presión parcial del gas dentro de la membrana).

5 - Estratificación de los ambientes que se dan en la biopelícula al producirse el aporte del sustrato líquido y el sustrato gaseoso en contradifusión. En concreto, en los sistemas en los que el sustrato gaseoso es el oxígeno, aportado bien como oxígeno puro o bien como aire, se pueden encontrar diferentes capas o ambientes dependiendo del espesor de la biopelícula y de la difusión de los sustratos. Por ejemplo, partiendo del soporte (en este caso la membrana) hacia el seno del líquido, podría darse una primera capa con una concentración elevada de oxígeno en la que se darían las condiciones para la nitrificación, a continuación una capa con menor disponibilidad de oxígeno pero mayor disponibilidad de materia orgánica donde se daría la oxidación heterótrofa, a continuación una capa sin disponibilidad de oxígeno pero sí de materia orgánica y de nitrato donde se daría la desnitrificación y por último una capa en la que se producirían fenómenos anaerobios.

15 - Al no haber burbujas, se minimiza la formación de espumas y la emisión de compuestos volátiles y olores.

A pesar de estas ventajas, algunos inconvenientes han limitado el desarrollo de esta tecnología desde el inicio de su investigación hasta la actualidad:

20 - Hasta la fecha se ha producido un lento desarrollo de materiales adecuados para la construcción de las membranas, principalmente en cuanto a la presencia o ausencia de poros, a su resistencia química y mecánica y al diámetro suficientemente reducido para alcanzar superficies específicas competitivas con otros procesos de biopelícula.

25 - Se han presentado dificultades para lograr una adecuada transferencia de masa de la fase líquida a la biopelícula. Estas dificultades se deben a distintos fenómenos:

30 - Aparición de resistencias difusionales debidas a un excesivo espesor y densidad de la biopelícula. A mayor espesor de biopelícula mayores son las resistencias difusionales de los solutos, por lo que el rendimiento del proceso disminuye. El crecimiento excesivo de la biopelícula sin un control adecuado también puede provocar la limitación de la transferencia del sustrato procedente de la fase gaseosa. Por ejemplo, en el caso del oxígeno, podrían darse condiciones anaerobias o anóxicas en la capa de biopelícula más alejada de la membrana. La aparición de zonas anóxicas es una ventaja si se quiere lograr un proceso de nitrificación-desnitrificación simultánea en la biopelícula, pero incluso en este caso es necesario controlar el espesor para garantizar el acceso al sustrato procedente de la fase líquida a las capas más cercanas a la membrana.

40 - Mezcla escasa o incompleta en el interior del reactor debido al complejo comportamiento hidrodinámico de la fase líquida al atravesar el lecho formado por las biomembranas. Para diseñar sistemas con una elevada capacidad de tratamiento es necesario disponer de una superficie elevada de biopelícula, lo que se consigue con una elevada superficie específica de medio soporte (superficie de soporte por volumen de reactor). Como ejemplo, en reactores de biopelícula sobre lecho móvil se encuentran diseños con superficies específicas entre 500 y 1200 m<sup>2</sup> m<sup>3</sup>, dependiendo de la forma del soporte. En el caso de los reactores de biomembranas, los diseños con superficies específicas en el rango de estos valores, han dado lugar a una mala distribución del flujo en el reactor. Por lo general, en los diseños encontrados hasta el momento las membranas se disponen en haces que a su vez forman módulos. Esto da lugar a que aparezcan distintos tipos de separación entre las membranas: entre las propias membranas de un haz, entre haces contiguos, entre módulos contiguos o entre los haces y la pared. Según el diseño de los módulos estas distancias pueden ser muy diferentes entre sí, lo que da lugar a la aparición de canales de circulación primaria, por los que el fluido a tratar circulará preferentemente, y canales de circulación secundaria a través de los cuales la circulación será minoritaria y dependerá especialmente de las condiciones hidrodinámicas en el reactor. Como consecuencia, las zonas de la biopelícula

que se encuentran en los canales de circulación primaria están más expuestas a la circulación y renovación de los solutos, y además la capa límite líquida entre la biopelícula y el seno del líquido en constante renovación será menor. Sin embargo, el acceso al sustrato disuelto en las zonas que se encuentran en los canales secundarios es mucho más dificultoso llegando a aparecer incluso zonas muertas. Cuanto mayor es la fracción de empaquetamiento de cada haz, mayor es la resistencia al flujo y la tendencia a circular por canales preferenciales alrededor del haz. Se define como fracción de empaquetamiento la relación entre la sección de un haz ocupada por membranas y la sección total del haz.

Debido a sus ventajas y al potencial de esta tecnología para solucionar varios de los principales problemas presentados en la actualidad en las estaciones de tratamiento de aguas residuales, han surgido distintos diseños con diversas finalidades.

Por ejemplo, el proceso presentado en la patente ES2038556 se basa en la estratificación que tiene lugar en la biopelícula, mediante la cual es posible lograr los procesos de nitrificación y desnitrificación conjuntas con la oxidación de la materia orgánica carbonosa y la fermentación anaerobia de la materia orgánica presente tanto en el agua como formando parte de la propia biopelícula.

La solicitud de patente internacional CA2300719A1 presenta un tren de tratamiento para eliminación de materia orgánica, fósforo y nitrógeno que incluye un reactor con membranas de aireación híbrido, es decir que combina biomasa en biopelícula y en suspensión, en el que el seno del líquido permanece anaerobio y la biopelícula tiene zonas anóxicas y aerobias, un reactor aerobio de biomasa en suspensión y por último un dispositivo para la separación de la biomasa de la fase líquida, desde el cual parte de la biomasa es recirculada al primer reactor.

La solicitud de patente internacional W02008130885A2 describe un dispositivo que consiste en un módulo de membranas en el que los extremos inferiores se encuentran unidos a un cabezal y los extremos superiores se encuentran sujetos o flotando cerca de la lámina de agua. En este módulo los cabezales inferiores pueden estar separados por espaciadores para conseguir una mejor distribución de las membranas en el plano horizontal. Los módulos pueden ser colocados en tanques que tienen un puerto cercano al fondo para la extracción de sólidos sedimentados. Este puerto puede encontrarse por debajo de un deflector con forma de tolva. Alternativamente, los módulos se pueden usar en un proceso híbrido, es decir, que combina biomasa en suspensión y biomasa fijada a las membranas, en cuyo caso los sólidos se separan en un dispositivo posterior.

Otro esquema de tratamiento que hace uso de la tecnología de reactores de membranas de aireación es el presentado en la solicitud de patente internacional W02014130042A1. Consta de una primera unidad de separación sólido-líquido, a continuación, un reactor de membranas y posteriormente una segunda unidad de separación sólido-líquido. El fango extraído en las dos unidades de separación se trata en un gestor anaerobio.

Con el objetivo de superar algunas de las limitaciones concretas citadas anteriormente, en los últimos años se han logrado importantes avances en diversos campos. Se han desarrollado membranas que cumplen con los requisitos de robustez, superficie específica y permeabilidad al oxígeno, como las membranas de fibra hueca de silicona. Como ejemplo, la solicitud de patente internacional WO2015135977A1 describe una membrana para ser utilizada en reactores de biopelícula soportada sobre membranas, en la que al menos una parte de su cara externa está diseñada para favorecer la retención de la biopelícula mediante rugosidades, concavidades u otras formas específicas.

Asimismo, se ha desarrollado un método para controlar el espesor de la biopelícula, presentado en la solicitud de patente internacional W02010061365A1, que consiste en un

5 sistema de autolimpieza que se acciona tras la detección de un valor umbral de grosor de la biopelícula. El método para determinar el grosor de la biopelícula se basa en la relación del gradiente de presión con el tiempo de un gas inerte introducido en las membranas con el grosor de la biopelícula. El sistema consta de instrumentación para conocer el gradiente de la presión intramembrana en un momento dado.

10 La solicitud de patente internacional WO2016108227A1 describe módulos consistentes en haces de membranas que llevan asociados en su zona inferior uno o varios difusores que descargan burbujas que ascienden entre las fibras produciendo agitación y mezcla además de limpiar los sólidos en exceso en la superficie de la biopelícula. Los haces de membranas pueden estar confinados en una envoltura cilíndrica que canaliza las burbujas entre las membranas.

15 Algunos diseños han evitado la introducción de burbujas para producir agitación y mezcla en el reactor mediante la introducción de otros sistemas de mezcla:

20 La patente CN102531153A describe un diseño que consta de un reactor en el que se introduce un módulo de membranas y en la parte inferior del tanque hay una bomba que recircula el líquido con los sólidos hacia la zona superior a las membranas. La tubería de impulsión se ramifica en dos partes de modo que el líquido y los sólidos recirculados se inyectan a ambos lados del módulo de membranas.

25 La solicitud de patente internacional WO2015132291A1 presenta un reactor que contiene un módulo de membranas comprendido entre un espacio superior y un espacio inferior, los cuales se encuentran comunicados mediante un conducto que contiene los medios para hacer circular el líquido en sentido ascendente. Esto provoca un flujo descendente en el reactor que permite que los sólidos que se desprenden de la biopelícula se depositen en el fondo, mientras que el líquido continúa en circulación entre la zona inferior y la zona superior.

30 Las invenciones citadas presentan distintos modos de disposición de las membranas y, en el caso de las dos últimas, presentan medios para mejorar la agitación y mezcla en el seno del líquido. Sin embargo, en ningún caso se aprecia una disposición de las membranas tal que evite la circulación del líquido contaminado por canales preferenciales para favorecer el contacto de todas las membranas por igual con el líquido.

35

### **Descripción de la invención**

40 Con la presente invención, se tratan de resolver los problemas detectados en diseños previos ya citados en el apartado anterior. En concreto, los objetivos del reactor objeto de la presente invención son: mejorar la transferencia de masa de la fase líquida a la biopelícula mediante la supresión de canales de circulación preferenciales, así como evitar una subsiguiente fase de separación sólido-líquido mediante la retención de las partículas sólidas en suspensión en el propio reactor. En este documento, el término membrana designa una fase que separa la fase líquida de la fase gaseosa, siendo la membrana permeable a esta fase gaseosa pero no, o sólo parcialmente, a la fase líquida. En concreto, en este tipo de reactores, la biopelícula crece sobre la parte de la membrana que está en contacto con la fase líquida.

45

50 La presente invención se refiere a un reactor biológico de biopelícula soportada sobre membranas permeables a gases, en el que se optimiza la distribución de las membranas en el reactor para mejorar la transferencia de masa entre la fase líquida y la biopelícula y para retener los sólidos en suspensión en el lecho formado por las membranas, tanto los que pudieran llegar con el afluente líquido como los que se desprenden de la propia biopelícula. Esta retención permite evitar un subsiguiente paso habitual de separación física de la biomasa de la fase líquida, normalmente conseguido mediante decantación. La invención está referida

en general a membranas capilares, también denominadas de fibra hueca, entre ellas, por ejemplo, aunque no en exclusiva, a las membranas tubulares, aunque también puede estar referida a membranas de fibra hueca que no entran dentro de lo que se entiende comúnmente como membranas tubulares, que son aquellas con diámetro superior a 5 mm.

5 El reactor que se describe en este documento consta de un depósito en cuyo interior se encuentra un conjunto de membranas sumergido en un fluido contaminado, habitualmente agua residual. El conjunto de membranas en este texto se denomina "lecho". Las membranas se distribuyen ocupando homogéneamente el total de la planta del reactor, evitando de este modo la existencia de canales preferenciales y forzando a todo el caudal del líquido contaminado a atravesar el lecho de biomembranas a través de canales intersticiales semejantes entre sí.

15 De este modo, toda la biopelícula presente en el reactor tiene acceso al sustrato disuelto en la fase líquida, es decir, toda la biopelícula permanece activa. Las membranas tienen una doble función: por un lado, sirven de soporte a la biopelícula y, por otro, transportan en su lumen el sustrato gaseoso que será transferido a la biopelícula mediante difusión a través de la pared de la propia membrana.

20 Por tanto, las membranas reciben gas por uno de sus extremos, a través de uno o varios colectores de entrada, normalmente conectados a una o varias entradas de gas que reciben el gas desde un equipo externo, y evacúan el gas por el extremo contrario, a través de uno o varios colectores de salida, normalmente también conectados a una o varias salidas de gas en contacto con el exterior del reactor. Alternativamente, la salida del gas de las membranas puede permanecer cerrada o parcialmente cerrada, de modo que se fuerza al gas a ser difundido, completa o parcialmente, a través de la membrana hacia la biopelícula y se controla la presión del gas en el lumen de la membrana.

30 De acuerdo con una realización de la invención, en el reactor también se pueden incluir medios de lavado para lavar el lecho, que retiran el exceso de partículas acumuladas en el lecho, tanto procedentes de los contaminantes sólidos como de la propia biopelícula, mediante introducción de gas, generalmente aire, en forma de burbujas. Para ello, los medios de lavado comprenden al menos un difusor, en la zona inferior al lecho de membranas, y que se encuentra unido a un suministro de gas que suministra aire con una presión mayor que la presión a vencer por las burbujas en su ascenso a través del lecho, para arrastrar las partículas hacia un rebosadero y ser extraídas a través de medios de evacuación, tal que por una tubería de evacuación, por ejemplo. Complementariamente se puede introducir un líquido de lavado, bien desde la zona inferior del depósito o bien desde la zona superior del mismo, también para arrastrar las partículas, por ejemplo, hacia el rebosadero o bien hacia el fondo del depósito.

40 El depósito incluye al menos una entrada del líquido contaminado, es decir, del fluido a tratar, también denominado "fase líquida", y al menos una salida. Preferiblemente la entrada y la salida se encuentran en zonas opuestas del depósito. Además, preferiblemente, la entrada y la salida se situarán de forma que una se encuentre por encima del lecho y la otra por debajo del lecho. El fluido a tratar se introduce en el depósito bien por la zona superior al lecho o bien por la zona inferior, dando lugar a un flujo descendente o ascendente respectivamente. Además, en el reactor se recircula internamente el fluido contaminado, tomándolo de la zona de la salida y volviéndolo a introducir en la zona de la entrada. El líquido contaminado presenta una velocidad de paso que viene dada por el cociente entre el caudal y la sección del reactor en la que están dispuestos los haces de membranas, denominada "área de implantación".

50 Puesto que las membranas se colocan de forma que preferentemente ocupen toda la planta del reactor, el área de implantación del reactor coincide con el área del lecho.

Al inicio del funcionamiento del reactor, las membranas se encuentran limpias, ocupando un determinado volumen del reactor, y con una cierta fracción de empaquetamiento (relación entre la sección total de las membranas y la sección del reactor). Una vez que la biopelícula crece sobre las membranas, el volumen ocupado por el lecho de biomembranas es el correspondiente a la suma del volumen ocupado por las membranas más la biopelícula. Análogamente, la fracción de empaquetamiento pasa a ser la relación entre la sección de las membranas junto con la biopelícula y la sección del reactor. A medida que el líquido contaminado fluye a través de los canales intersticiales formados entre las biomembranas, los sólidos en suspensión que transporta quedan retenidos en el lecho y se van acumulando, con lo cual se va produciendo una cierta obstrucción en el lecho.

La invención se caracteriza por que el mencionado factor de empaquetamiento es homogéneo a lo largo de la planta del depósito. Es decir, la distribución de las membranas es homogénea en planta, respecto a su factor de empaquetamiento. Como consecuencia de dicha ocupación homogénea, se consigue que los canales de circulación del agua entre las membranas tengan una sección similar, ya que se han hecho desaparecer los huecos significativamente más grandes por los que el agua circula de manera preferencial. Como resultado, se produce una repartición homogénea del caudal de agua a tratar entre todas las membranas, aumentando la superficie efectiva de contacto entre las membranas y el líquido contaminado.

Los mecanismos por los que las partículas sólidas quedan retenidas en el lecho son diversos. En un principio, los canales intersticiales entre las biomembranas tienen un tamaño que limitará el diámetro de las partículas que pasan a través de ellos; por tanto, las partículas mayores quedan retenidas. Sin embargo, pueden tener lugar otros tipos de mecanismos físicos, como la sedimentación de las partículas en los propios canales intersticiales, al actuar los canales como decantadores, o la retención de partículas en superficies irregulares. Además, pueden darse mecanismos físico-químicos, como adhesión sobre la superficie de las membranas o entre distintas partículas, bien mediante fenómenos de adsorción, bien mediante interacciones químicas y electroquímicas, etc.

La adherencia entre partículas da lugar a la formación de flocúlos o partículas mayores, cuyas propiedades evolucionan a medida que el tratamiento va transcurriendo. Podrán compactarse, reduciendo por tanto su volumen y porosidad, o bien podrán romperse debido a un esfuerzo cortante del líquido contaminado. Como consecuencia de la acumulación de partículas en el lecho, la sección de paso para el líquido contaminado disminuye y, por tanto, aumenta la resistencia a su circulación y disminuye la presión a lo largo del lecho.

A partir de un cierto grado de retención de partículas en el lecho, la pérdida de presión puede ser muy elevada. Además, la presencia de partículas en la superficie de la biopelícula puede dificultar el acceso al sustrato soluble, por lo que disminuiría la eficiencia del proceso de depuración e incluso pueden empezar a desprenderse partículas que ya habían sido retenidas, y pasar al efluente. La detección de cualquiera de estos fenómenos puede utilizarse como indicador de que ha de realizarse el lavado antes descrito, mediante el burbujeo de gas y complementariamente la introducción del agua de lavado. Las burbujas provocan el desprendimiento de los sólidos en suspensión mientras que la corriente de agua de lavado los arrastra hacia el punto de evacuación. Los lavados permiten controlar el espesor de la biopelícula y eliminar biomasa sobrante, así como restablecer los niveles normales de pérdida de carga.

La ocurrencia de los distintos fenómenos de retención de los sólidos depende de diversos factores, principalmente relacionados con la estructura del lecho, con el momento del ciclo en que se encuentre y con las condiciones de operación, además de las características del fluido a tratar. La estructura del lecho viene definida por las características de las membranas

(principalmente su diámetro), por su superficie específica y por la disposición de las membranas en el lecho.

5 Las membranas pueden estar dispuestas de acuerdo con diversas orientaciones, principalmente vertical u horizontal. En el caso de membranas dispuestas verticalmente, pueden tener una distribución en la que la altura del lecho es esencialmente igual a la longitud de las membranas y, por tanto, se encuentran paralelas entre sí. En este caso, el líquido contaminado no encuentra obstáculos en el plano horizontal y cobran mayor importancia los fenómenos de adherencia.

10 Sin embargo, también pueden seguir una distribución alternativa en la que la altura del lecho es menor que la longitud de las membranas. Debido a la flotación de las membranas, generalmente se encuentran más estiradas en su parte inferior mientras que la longitud restante se curva y se acumula en la parte superior del lecho. Como resultado, a lo largo del lecho de membranas se dan diferentes fenómenos de retención de partículas, donde en la zona inferior pueden predominar mecanismos de adhesión, mientras que, en la zona superior, al reducirse la luz de paso y modificarse la trayectoria de las partículas, se facilitan una retención de sólidos por intercepción con el lecho y una filtración propiamente dicha. Además, en la zona superior, los canales intersticiales describen trayectorias tortuosas, dando lugar a un flujo transversal, lo que favorece la aparición de microturbulencias que mejoran la transferencia de masa entre la fase líquida y la biopelícula. Este tipo de distribución se denomina “en maraña”, y se produce cuando la altura de lecho es suficientemente menor que la longitud de las membranas.

25 Alternativamente, las membranas o los haces de membranas pueden orientarse horizontalmente, bien paralela o perpendicularmente entre planos contiguos, mientras que la circulación de flujo se mantiene vertical (ya sea con sentido ascendente o descendente). En el caso de membranas o haces de membranas orientadas en paralelo entre planos contiguos, las de un plano pueden encontrarse desplazadas en el plano horizontal con respecto al anterior o al siguiente, según una distribución al tresbolillo. Asimismo, en el caso de membranas o haces de membranas orientadas en perpendicular entre planos contiguos, las de un plano pueden encontrarse desplazadas en el plano horizontal con respecto al anterior o al siguiente plano que contienen las membranas o haces de membranas en el mismo sentido. En esta posible realización, las membranas se encuentran conectadas por sus extremos a sendas entradas de gas correspondientes, por ejemplo colectores de gas.

40 En la configuración horizontal, debido a su disposición en dirección perpendicular al sentido del flujo, se crea el efecto buscado de modificación de trayectoria del flujo, dando lugar a trayectorias tortuosas. Esta disposición permite decidir la luz de paso inicial en el diseño.

45 Al inicio de un ciclo de trabajo, la luz de paso es mayor que a medida que va avanzando el ciclo, por lo que el tamaño de las partículas que pueden quedar retenidas es cada vez menor. Igualmente, la posibilidad de que se produzcan choques entre partículas, dando lugar a flóculos mayores, o entre partículas y biopelícula, también aumenta a medida que avanza el ciclo.

50 Las condiciones de operación influyen en la hidrodinámica del sistema. La pérdida de presión a través del lecho depende de la velocidad de circulación, que es la relación entre el caudal que circula a través del mismo y la sección de los canales intersticiales. Como se ha visto, la sección de estos canales va reduciéndose a medida que se va colmatando el lecho. El caudal es una variable que se puede manipular mediante la regulación del caudal de recirculación interna sin necesidad de variar el caudal de tratamiento.

Preferentemente, el lecho de membranas tendrá una elevada superficie específica. Se entiende por elevada mayor de 400 m<sup>2</sup> m<sup>-3</sup>. Se entiende como superficie específica el cociente entre la

superficie de membrana en contacto con la fase líquida y que está disponible para el soporte de la biopelícula, y el volumen total del reactor, o bien, el volumen de la parte de reactor ocupada por el lecho formado por las membranas.

5 Las ventajas de la invención se harán evidentes en la descripción siguiente.

### **Descripción de los dibujos**

10 Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

15 La figura 1 muestra un esquema general del reactor según un modo particular de realización de la invención en el cual las membranas se encuentran dispuestas en dirección vertical.

20 La figura 2 muestra un esquema general del reactor según un modo particular de realización de la invención en el cual las membranas se encuentran dispuestas en dirección vertical, siendo la altura del lecho menor que la longitud de las membranas que componen el lecho.

25 La figura 3 muestra un esquema de la vista en planta de un lecho en el cual las membranas, o haces de membranas, se encuentran dispuestas en posición horizontal, dispuestas en planos situados a diferentes alturas en los cuales las membranas o haces de membranas contenidas en un plano se encuentran en dirección paralela a las membranas o haces de membranas contenidas en el siguiente plano, pero desplazadas en el plano horizontal con respecto a las membranas o haces de membranas del plano anterior y posterior.

30 La figura 4 muestra un esquema de la vista en planta de un lecho en el cual las membranas, o haces de membranas, se encuentran dispuestas en posición horizontal, dispuestas en planos situados a diferentes alturas en los cuales las membranas o haces de membranas contenidas en un plano se encuentran en dirección perpendicular a las membranas o haces de membranas contenidas en el siguiente plano.

### **35 Realización preferente de la invención**

40 Seguidamente, se proporciona, con ayuda de las figuras 1-4 adjuntas descritas antes, una descripción detallada de un ejemplo de realización preferente de un reactor de biomembrana para depurar afluentes de líquidos contaminados (111), de acuerdo con la presente invención.

45 El reactor de la invención comprende un depósito (11), que está destinado a contener el líquido contaminado (111) con contaminantes. Dentro del depósito (11) se encuentran membranas (121) de tipo fibra hueca, permeables a gases, y preferentemente distribuidas en haces, constituyendo un lecho (12), aunque el lecho (12) también puede estar constituido con  
50 membranas (121) dispuestas individualmente, sin formar haces. Las membranas (121) son huecas, con una cara interior, y una cara exterior en contacto con el líquido contaminado (111). La cara exterior de las membranas (121) está destinada a soportar una biopelícula de microorganismos que degradan los contaminantes del líquido contaminado (111). Las membranas (121) están separadas por canales intersticiales, definiéndose luces entre las membranas (121). El lecho (12) se produce preferentemente fijando los extremos de las membranas en soportes, de forma que la dimensión de los soportes en la dirección de la longitud de las membranas (121) se denomina "longitud de lecho (12)". Para los casos en que las membranas (121) se disponen en dirección vertical, la longitud de lecho (12) es en realidad

una altura de lecho. Los contaminantes están generalmente disueltos en el afluente. Aunque no es deseable, el afluente puede contener asimismo partículas de contaminantes, no disueltas.

5 Las membranas (121) se distribuyen ocupando homogéneamente el total de la planta del depósito (11), evitando de este modo la existencia de canales preferenciales y forzando a todo el caudal del líquido contaminado (111) a atravesar el lecho (12) de biomembranas (121) a través de canales intersticiales semejantes entre sí.

10 Se identifican en el depósito (11) una zona inferior (113), que está localizada inmediatamente inferior a las membranas (121), y una zona superior (112), que está localizada inmediatamente superior a las membranas (121).

15 El depósito comprende una entrada de fase líquida (13) para introducir en el interior del depósito (11) un caudal de líquido contaminado (111), y una salida de efluente (14), para permitir salir del depósito (11) un efluente resultante del tratamiento. La entrada de fase líquida (13) puede estar situada en la zona superior (112), de modo que la salida de efluente líquido (14) está situada en la zona inferior (113), tal como se describe en el ejemplo de las figuras 1-2, aunque en un ejemplo alternativo puede suceder al contrario. La disposición de la entrada de fase líquida (13) y la salida de efluente (14) definen si el sentido de avance de líquido contaminado (111) es descendente, como en el ejemplo representado en las figuras, o ascendente, como en el ejemplo alternativo.

25 El reactor puede comprender adicionalmente un sistema de recirculación (15), para recircular una parte del caudal de líquido contaminado (111), denominado caudal de recirculación, desde una toma de recirculación (154), localizada en la zona inferior (113) o en la zona superior (112), la que se encuentre más cerca de la salida de efluente (14), hasta la otra zona superior (112) o inferior, la que resulte opuesta a la de toma de recirculación (154), por medio de una entrada de recirculación (153). En el ejemplo representado en las figuras 1-2, la toma de recirculación (154) se encuentra en la zona inferior (113), para generar una recirculación en co-corriente con el avance del líquido contaminado (111).

35 El sistema de recirculación (15) contribuye a generar una distribución más uniforme en el líquido contaminado (11). El sistema de recirculación interna (15) puede comprender un conducto de recirculación (152) a través del cual el líquido contaminado (111) es impulsado mediante una bomba de recirculación (151), haciéndolo circular de la zona inferior (113) a la zona superior (112) o viceversa.

40 A medida que el líquido contaminado (111) atraviesa el lecho (12), ya sea en sentido de avance ascendente o descendente, la biopelícula irá degradando los contaminantes presentes en el líquido contaminado (111). Por otra parte, de la biopelícula se desprenden partículas de biomasa, que constituyen lo que se denomina exceso de biopelícula. Las partículas desprendidas de la biopelícula, así como las eventuales partículas de contaminantes sólidos, quedarán retenidos en el lecho (12), siguiendo alguno o varios de los mecanismos descritos anteriormente, disminuyendo paulatinamente con el tiempo la luz de los canales intersticiales creados entre las membranas (121), con lo cual aumenta la pérdida de presión del líquido contaminado (111) en el interior del lecho (12). Para cuantificar la pérdida de presión, se pueden emplear medidores de presión (16). Ejemplos no limitativos de medidores de pérdida de presión (16) son sensores de presión o piezómetros.

50 Se lleva a cabo un aporte de gas, por ejemplo oxígeno, a la biopelícula, mediante difusión a través de la pared de las membranas (121), desde la cara interior hacia la cara exterior, aprovechando la permeabilidad a los gases que presentan las membranas (121). En este sentido, el reactor de la invención incorpora adicionalmente una entrada de gas (122), por ejemplo comunicada con un colector de entrada, que recibe un flujo de un gas (como por

ejemplo aire, u oxígeno puro) desde una soplante (125) externa, a través de una entrada de fase gaseosa (124). La entrada de gas (122), en su caso el colector de entrada, está comunicado con un extremo de entrada de los haces de membranas (121), para que el gas acceda a, y circule por, el interior de las membranas (121).

5 Durante dicha circulación de gas por el interior de las membranas (121), parte o la totalidad del gas es transferido por difusión hacia la cara exterior de las membranas (121), que se encuentra en contacto con el líquido contaminado (111).

10 El resto del flujo de gas, en caso de haberlo, sale al exterior desde una o varias salidas de gas (123), conectado, por ejemplo a través de uno o varios colectores de salida, con un extremo de salida de los haces de membranas (121), que es opuesto al extremo de entrada, a través de una salida de fase gaseosa, que comprende un conducto de salida (126) y medios de regulación (127), como pueden ser válvulas, rotámetros, presostatos, etc., para regular el flujo y la presión de gas en la salida.

15 El reactor de la invención incorpora ventajosamente medios de lavado, para realizar un lavado. El lavado permite liberar de contaminantes sólidos los canales intersticiales. El lavado puede ser un lavado gaseoso y/o un lavado líquido.

20 Para realizar un lavado gaseoso, se dispone, en el fondo del depósito (11), de uno o varios difusores (17), para introducir a presión burbujas de gas de lavado, que generan un cortante hidrodinámico desprendiendo las partículas sólidas de los contaminantes, así como adicionalmente pueden desprender parte de la biopelícula, para reducir el espesor de la biopelícula, retirando biopelícula en exceso. Los difusores (17) reciben el gas de lavado desde un suministro de gas (171) externo al propio reactor a través de una entrada de gas de lavado (172). El gas de lavado puede ser, o contener, oxígeno, pero igualmente puede ser un gas no oxigenado.

30 Para realizar un lavado líquido, se introduce un caudal de líquido de lavado, desde una entrada de líquido de lavado (22) localizada en la zona inferior (113), para arrastrar las partículas sólidas de contaminantes hasta la zona superior (112), a través de un conducto de introducción (18), conectado a un equipo de impulsión de agua (no mostrado) externo al propio reactor. El caudal del agua de lavado produce a lo largo del tiempo renovaciones en el líquido contaminado (111) de la zona superior (112). Parte del agua de lavado, junto con líquido contaminado (111) y partículas sólidas arrastradas, rebosan hacia un rebosadero (191) de un dispositivo de recogida (19) que también comprende una tubería de evacuación (192).

40 Los medios de lavado pueden ser activados empleando un criterio de determinar si se ha alcanzado un determinado valor de pérdida de presión fijado previamente. Otros criterios (alternativos o complementarios al de determinar pérdida de presión) son indicadores de la necesidad de realizar un lavado, como son una detección de pérdida de eficiencia del proceso de depuración (reducción de la eficiencia de eliminación del contaminante a depurar), o un aumento de la concentración de sólidos en suspensión en el efluente. Tanto la reducción de la eficiencia del tratamiento como el aumento de la concentración de sólidos en suspensión, pueden ser detectados mediante sensores en línea como mediante analíticas periódicas en laboratorio.

50 Preferentemente, durante el lavado se detienen tanto la alimentación de líquido contaminado (11), a través la entrada de fase líquida (13), así como la recirculación, en el caso de que la entrada de fase líquida (13) se encuentre en la zona superior (122) y, por tanto, la recirculación resulte en sentido ascendente, ya que, en dicho caso, ambas actúan en sentido contrario al sentido del lavado, con lo cual sus efectos se anulan mutuamente, al menos en parte.

Se contemplan diversas disposiciones para las membranas (121). De acuerdo con una primera realización, mostrada en las figuras 1-2, las membranas (121), en particular los haces de membranas (121), se encuentran dispuestos en vertical, de modo que los extremos de las membranas (121) y de los haces son extremos superior e inferior.

5

En esta realización, se describen dos ejemplos alternativos: de acuerdo con un primer ejemplo, ilustrado en las figuras 1-2, la salida de gas (122), en su caso, el colector de entrada está localizada en la zona superior (112), y por tanto comunicada con el extremo superior de las membranas (121), mientras que la salida de gas (123), en su caso el colector de salida, se encuentra localizada en la zona inferior (113), y por tanto comunicada con el extremo inferior de las membranas (121), para que el gas recorra las membranas en sentido descendente. Alternativamente, de acuerdo con un ejemplo no representado, la entrada de gas (122)/ colector de entrada está localizada en la zona inferior (113), y por tanto comunicada con el extremo inferior de las membranas (121), mientras que la salida de gas (123) / colector de salida se encuentra localizada en la zona superior (112), y por tanto comunicada con el extremo superior de las membranas (121), para que el gas recorra las membranas (121) en sentido ascendente.

10

15

20

Las realizaciones mostradas en las figuras 3-4 se distinguen de las realizaciones de las figuras 1-2 en que las membranas (121) están dispuestas horizontalmente de forma ordenada, según planos horizontales paralelos. En particular, las figuras 3 y 4 muestran una distribución de las membranas (121) en la que todas las membranas (121) de un mismo plano horizontal están orientadas a lo largo de una misma dirección.

25

De manera más concreta, la realización de la figura 3 se refiere a que la dirección en la que están orientadas todas las membranas (121) de un plano es la misma para todos los planos. En la figura 3, se han representado en línea continua las membranas (121) o haces de membranas (121) de un primer plano horizontal cualquiera, mientras que en línea discontinua se han representado las membranas (121) o haces de membranas (121) de un segundo plano inmediatamente adyacente, donde las membranas (121) o haces de membranas (121) del segundo plano se encuentran desplazadas, es decir, intercaladas, con respecto a las del primer plano.

30

35

Por su parte, la figura 4 se refiere a que las direcciones a lo largo de las cuales se disponen las membranas (121) de dos planos inmediatamente adyacentes son perpendiculares entre sí. La figura 4 representa, en línea continua, las membranas (121) o haces de membranas (121) correspondientes a una primera pareja de planos, formada por un tercer plano horizontal y un cuarto plano horizontal que son contiguos, encontrándose las membranas (121) del cuarto plano en dirección perpendicular a las del tercer plano, mientras que, en línea discontinua representa las membranas (121) o haces de membranas (121) de una segunda pareja de planos, formada por un quinto plano horizontal y un sexto plano horizontal, donde, por una parte, la dirección de las membranas (121) del sexto plano es perpendicular a la dirección de las membranas (121) del quinto plano, así como, por otra parte, las membranas (121) o haces de membranas (121) del quinto plano se encuentran desplazadas, es decir, intercaladas, con respecto a las del tercer plano, mientras que las membranas (121) o haces de membranas (121) del sexto plano se encuentran desplazadas, es decir, intercaladas, con respecto a las del cuarto plano.

40

45

50

Existen diversos ejemplos alternativos en lo que se refiere a la longitud de las membranas (121).

De acuerdo con un primer ejemplo (ver figuras 1, 3, 4), aplicable tanto al caso en que las membranas (121) están dispuestas horizontalmente, así como al caso en que están dispuestas verticalmente, los haces de membranas (121) presentan una longitud, longitud de lecho, sustancialmente igual a la dimensión del volumen de líquido contenido en el depósito (11) en la dirección en la que están dispuestas las membranas (121). De este modo, las membranas (121) se encuentran estiradas a lo largo de su longitud. En particular, en la realización mostrada en la figura 1, este primer ejemplo se refiere a que las membranas (121) presentan una longitud igual a la altura del líquido contaminado (111). Por otra parte, en los ejemplos mostrados en las figuras 3 y 4, las membranas (121) presentan una longitud sustancialmente igual a la anchura y/o a la longitud del depósito (11).

De acuerdo con un segundo ejemplo alternativo, las membranas (121) presentan una longitud mayor que la dimensión del volumen de líquido contenido en el depósito (11) en la dirección en la que están dispuestas las membranas. De esta manera, las membranas (121) presentan una configuración enmarañada, más sinuosa e intrincada, puesto que las membranas (121) tienden a curvarse y a cruzarse unas con otras, produciendo una mayor oposición al avance del líquido contaminado (111), con lo que se mejora el efecto de purificación. La figura 2, por ejemplo, ilustra el mencionado ejemplo para un caso de membranas (121) dispuestas en vertical. En el caso de membranas (121) dispuestas en vertical, debido a la tendencia a flotar de algunos materiales de fabricación de las membranas (121), como es el caso de la silicona, las membranas (121) permanecen más estiradas en la parte inferior que en la parte superior, donde se acumula la mayor parte de cada membrana (221).

De manera preferente, para el caso de depósitos (11) prismáticos de base poligonal formada por lados: cuando las membranas (121) están dispuestas a lo largo de planos horizontales, la dirección en que están dispuestas las membranas (121) puede coincidir con la dirección de alguna de los lados de la base del depósito (11), puesto que simplifica el montaje de los haces de membranas (121).

Tal como se ha indicado anteriormente en la descripción general de la invención, pueden existir diversas orientaciones de las membranas (121), tanto en vertical como en horizontal, y en este último caso, según diferentes configuraciones: ya sea en paralelo o en perpendicular entre planos contiguos, etc.

El tipo de orientación referido puede estar relacionado con las entradas de gas (124) y las salidas de gas (126), así como con los colectores de entrada (122) y los colectores de salida (123), respectivamente. En particular, consideremos una orientación de las membranas (121) en paralelo (ya sea en el mismo sentido o en sentido opuesto) a la circulación de líquido contaminado (111), por ejemplo, en dirección vertical. En este caso no se precisa de más de un colector de entrada (122) y, en su caso, de su correspondiente entrada (124), así como colector de salida (123) y, en su caso, su correspondiente salida (126). Es decir, puede haber una entrada de gas (124) común a todos los colectores de entrada (122), incluso un único colector, aunque no se descarta que haya varias entradas de gas (124) con, en su caso, una entrada de gas (124) compartida para varios colectores de entrada (122).

Aplicando similares consideraciones para el caso de orientación de las membranas (121) en dirección distinta, por ejemplo perpendicular, a la de circulación del fluido contaminado (111), se llega a la conclusión de que puede haber uno o varios colectores de entrada (122), y colectores de salida (123), así como, en su caso, entradas de gas (124) y salidas de gas (126) (compartidas o no para varios colectores, análogamente al caso explicado anteriormente), para todos los planos en que las membranas (121) estén orientadas en una misma dirección, así como preferentemente, los colectores de entrada (122) y de salida (123), no son comunes para planos en los que las membranas (121) están orientadas en direcciones diferentes.

Según se ha indicado anteriormente, las membranas (121) se disponen de forma que ocupen toda la planta del depósito (11) de forma homogénea en cuanto a su fracción de empaquetamiento, que se define como ratio entre la sección ocupada por las membranas (121) y la sección del depósito (11) considerada. Con esta ocupación homogénea se consigue que los canales de circulación del agua entre las membranas (121) tengan una sección similar, ya que se han hecho desaparecer los huecos significativamente más grandes por los que el agua circula de manera preferencial. Como resultado, se produce una repartición homogénea del caudal de agua a tratar entre todas las membranas (121), aumentando la superficie efectiva de contacto entre las membranas (121) y el líquido contaminado (111).

A la luz de lo indicado en el párrafo anterior, en particular para el caso en que las membranas (121) se encuentran extendidas, es decir, la distancia entre los cabezales que sujetan los extremos es igual a la longitud de las membranas (121), la manera de que ocupen de forma homogénea toda la planta del depósito (11) será situando los cabezales de las distintas membranas (121) a una distancia entre sí y entre dichos cabezales y las paredes del depósito (11), que permita que la distancia entre membranas (11) sea homogénea, y lo suficientemente pequeña para posibilitar la retención de partículas. Esto se muestra en la Figura 1, donde las membranas están extendidas pero muy juntas entre sí. En este caso la ocupación homogénea se produce en toda la altura del lecho (12) de membranas (121).

Por otra parte, cuando las membranas (121) se encuentran curvadas, es decir, la distancia entre los cabezales que sujetan los extremos es menor que la longitud de las membranas (121), debido a la flotación de las membranas (121), se encontrarán estiradas por la zona inferior y curvadas por la zona superior. En este caso, si las membranas (121) se encuentran dispuestas en haces, puede ser que la ocupación homogénea sólo se produzca en la parte superior del lecho (12), la zona en la que las membranas (12) se curvan formando una maraña. Esta implementación presenta como ventajas con respecto a la anterior, que las membranas (121), al curvarse, se disponen en distintas direcciones, no sólo en vertical, posibilitando la aparición de turbulencias en la circulación del fluido y también la aparición de fenómenos de retención de partículas adicionales, tal como se ha indicado anteriormente. También podría darse el caso de que las membranas no estén en haces y entonces la parte inferior del lecho (12) tendría una ocupación homogénea, pero con membranas extendidas (similar al caso anterior) y en la parte superior sería homogénea, pero con membranas (121) curvadas y una mayor fracción de empaquetamiento. Este caso viene representado en la Figura 2.

A modo de resumen, la ventaja se traduce en una ocupación homogénea de toda la planta del depósito (11), lo cual evita existencia de canales de circulación preferencial del líquido contaminado (111). Como resultado, el líquido contaminado (111) circula de manera homogénea a través de toda la sección del lecho (12), aumentando el contacto efectivo entre membranas (121) y líquido contaminado (111) y, como resultado final, mejorando la transferencia de masa entre líquido contaminado (111) y biopelícula.

#### Ejemplo particular:

A continuación, se proporciona un ejemplo concreto de implementación del reactor de la presente invención en este texto.

Se describe un ejemplo de realización de una planta piloto del proceso descrito, en el cual el líquido (111) contaminado a tratar es agua residual sintética y el gas introducido en las membranas es aire. La disposición de las membranas (121) es vertical con una longitud de lecho (12) un 20% menor que la longitud de las membranas (121) que lo componen. El sentido de avance del líquido contaminado (111) es descendente.

Las características físicas del lecho (12) de membranas (121) son las siguientes:

- Material de las membranas (121): silicona
- Diámetro externo de las membranas (121): 0,5 mm

5 - Diámetro interno (121) de las membranas: 0,3 mm

- Superficie específica:  $554 \text{ m}^2 \text{ m}^3$

- Altura del lecho (12): 0,4 m

10

- Longitud de las membranas (121): 0,5 m

15 Los extremos superior e inferior de las membranas (121) se encuentran conectados a sendos colectores (122, 123) a través de los cuales se distribuye y se extrae el gas (aire) de las membranas (121). El flujo de gas es  $0,174 \text{ g de aire min}^{-1}$ . La salida de fase gaseosa (126) se encuentra parcialmente cerrada, de tal modo que la presión en el interior de las membranas (121) se mantiene en  $11,8 \text{ kPa}$ .

15

20 El reactor consta además de un sistema de recirculación interna (15) que mueve un caudal de  $70 \text{ L h}^{-1}$ . La velocidad de circulación del caudal de recirculación a través del lecho es de  $10 \text{ m h}^{-1}$ . Por su parte, el reactor incorpora además medios de lavado que comprenden una serie de difusores (17) dispuestos en la zona interior del depósito (11).

20

25 El prototipo propuesto se ha operado para nitrificar un agua residual sintética con una concentración de nitrógeno amoniacal ( $\text{N-NH}_4$ ) promedio en el afluente de  $53,1 \text{ mg L}^{-1}$  y un tiempo de retención hidráulico (TRH) de  $2,1 \text{ h}$ . Se mantuvo el pH en un valor promedio de  $6,9$  y la temperatura del agua en  $21,2^\circ\text{C}$ . Se obtuvo una tasa específica de nitrificación de  $1,4 \text{ g N-NH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  y una tasa volumétrica de nitrificación de  $575,8 \text{ g N-NH}_4 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$  con una concentración de sólidos en suspensión en el efluente de  $15 \text{ mg L}^{-1}$ .

25

30

35 Un lecho (12) de tipo maraña como el descrito en el ejemplo anterior, ver figura 5, se produce cuando la longitud de las membranas (121) es suficientemente mayor que la longitud del lecho (12). Para el caso descrito, la diferencia de longitud es de  $10 \text{ cm}$ , lo cual supone un  $20 \%$  de la longitud de las membranas (121). En general, puede ser suficiente con una diferencia en longitud de  $2,5\text{-}5 \text{ cm}$ , aunque depende de varios factores, como pueden ser la disposición de los haces de membranas (121), es decir, distancia entre cabezales. Asimismo, en función de la longitud de las membranas (121), dicha diferencia de longitudes en términos relativos a la longitud de las membranas (121), produce un lecho (12) de tipo maraña más o menos grande.

35

## REIVINDICACIONES

- 5 1.- Reactor de biomembrana, para depurar un afluente de líquido contaminado (111), comprendiendo el reactor un depósito (11), para contener el líquido contaminado (111), y que a su vez comprende:
- al menos una entrada de fase líquida (13) para permitir al líquido contaminado (111) acceder al depósito (11);
  - 10 - salida de fase líquida (14) para permitir salir del depósito (11) un efluente depurado;
  - membranas (121) capilares permeables a gases, que constituyen un lecho (12) y actúan como soporte para biopelícula, donde las membranas (121) presentan un extremo de entrada y un extremo de salida;
  - 15 - un colector de entrada (122), comunicado con el extremo de entrada de las membranas (121), para que un flujo de gas acceda a, y circule por, el interior de las membranas (121);
  - un colector de salida (123), conectado con el extremo de salida de los haces de membranas (121), para permitir salida del gas tras su paso por las membranas (121);
  - 20 - una zona inferior (112) localizada por debajo de los haces de membranas (121), y una zona superior (113), localizada por encima de los haces de membranas (121); estando el reactor caracterizado por que las membranas (121) están dispuestas según una fracción de empaquetamiento homogénea respecto de la planta del depósito (11), donde la fracción de empaquetamiento se define como ratio entre la sección ocupada por las membranas (121) y la sección del depósito (11) considerada.
  - 25
- 30 2.- Reactor de biomembrana, para depurar un afluente de líquido contaminado (111), de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que la(s) entrada(s) de fase líquida (13) y la salida de fase líquida (14) están situadas una en la zona superior (112) y la otra en la zona inferior (113).
- 35 3.- Reactor de biomembrana, para depurar un afluente de líquido contaminado (111), de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-2, caracterizado por que comprende adicionalmente un sistema de recirculación (15), que comprende una bomba de recirculación (153) para impulsar una parte del líquido contaminado (111) desde una toma de circulación (154), localizada en la zona, superior (112) o inferior (113), en la que se encuentra la salida de fase líquida (14), hacia la otra zona, superior (112) o inferior (113).
- 40 4.- Reactor de biomembrana, para depurar un afluente de líquido contaminado (111), de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, caracterizado por que comprende adicionalmente medios de regulación (127) para controlar la presión del gas tras su paso por las membranas (121).
- 45 5.- Reactor de biomembrana, para depurar un afluente de líquido contaminado (111), de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, caracterizado porque las membranas (121) están dispuestas en vertical.
- 50 6.- Reactor de biomembrana, para depurar un afluente de líquido contaminado (111), de acuerdo con la reivindicación 5, caracterizado porque las membranas (121) están dispuestas en planos verticales paralelos.

- 7.- Reactor de biomembrana, para depurar un afluente de líquido contaminado (111), de acuerdo con la reivindicación 6, caracterizada por que la dirección en la que están orientadas las membranas (121) de un plano vertical es la misma para todos los planos.
- 5 8.- Reactor de biomembrana, para depurar un afluente de líquido contaminado (111), de acuerdo con la reivindicación 7, caracterizada por que las membranas (121) de dos planos verticales mutuamente adyacentes están intercaladas en tresbolillo las de uno de los planos con respecto a las del otro.
- 10 9.- Reactor de biomembrana, para depurar un afluente de líquido contaminado (111), de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-8, caracterizado porque las membranas (121) están dispuestas en horizontal.
- 15 10.- Reactor de biomembrana, para depurar un afluente de líquido contaminado (111), de acuerdo con la reivindicación 9, caracterizado porque las membranas (121) están dispuestas en planos horizontales paralelos.
- 20 11.- Reactor de biomembrana, para depurar un afluente de líquido contaminado (111), de acuerdo con la reivindicación 10, caracterizado por que las membranas (121) de un mismo plazo horizontal están dispuestas en paralelo a una misma dirección.
- 25 12.- Reactor de biomembrana, para depurar un afluente de líquido contaminado (111), de acuerdo con la reivindicación 11, caracterizada por que la dirección en la que están orientadas las membranas (121) de un plano horizontal es la misma para todos los planos.
- 30 13.- Reactor de biomembrana, para depurar un afluente de líquido contaminado (111), de acuerdo con la reivindicación 12, caracterizada por que las membranas (121) de dos planos horizontales mutuamente adyacentes están intercaladas en tresbolillo las de uno de los planos con respecto a las del otro.
- 35 14.- Reactor de biomembrana, para depurar un afluente de líquido contaminado (111), de acuerdo con la reivindicación 12, caracterizada porque las direcciones a lo largo de las cuales se disponen las membranas (121) de dos planos inmediatamente adyacentes que forman una pareja de planos son perpendiculares entre sí.
- 40 15.- Reactor de biomembrana, para depurar un afluente de líquido contaminado (111), de acuerdo con la reivindicación 14, caracterizada por que las membranas de uno de los planos de una pareja de planos están intercaladas en tresbolillo con respecto de las del plano de otra pareja de planos contigua que tiene la misma dirección.
- 45 16.- Reactor de biomembrana, para depurar un afluente de líquido contaminado (111), de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 6-15, caracterizado por que el depósito (11) es prismático de base poligonal formada por lados, donde las membranas (121) están dispuestas a lo largo de al menos una dirección paralela a la dirección de alguno de los lados de la base poligonal del depósito (11).
- 50 17.- Reactor de biomembrana, para depurar un afluente de líquido contaminado (111), de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 5-16, caracterizado por que el lecho (12) presenta una longitud de lecho sustancialmente igual a la longitud de las membranas (121).
- 18.- Reactor de biomembrana, para depurar un afluente de líquido contaminado (111), de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 5-8, caracterizado por que el lecho (12) presenta una longitud de lecho menor que la longitud de las membranas (121).

- 5 19.- Reactor de biomembrana, para depurar un afluente de líquido contaminado (111), de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-18, caracterizado por que el conjunto de membranas (121) presenta una superficie específica superior a  $400 \text{ m}^2 \text{ nr}^3$ , donde se entiende como superficie específica un cociente entre la superficie de membranas (121) destinada a estar en contacto con el líquido contaminado (111), y el volumen total del depósito (11).
- 10 20.- Reactor de biomembrana, para depurar un afluente de líquido contaminado (111), de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-19, caracterizado por que comprende adicionalmente medios de lavado, para desprender exceso de biopelícula.
- 15 21.- Reactor de biomembrana, para depurar un afluente de líquido contaminado (111), de acuerdo con la reivindicación 20, caracterizado por que los medios de lavado comprenden al menos un difusor (17), en la zona inferior (113) del depósito (11), para introducir en el depósito (11) burbujas de un gas de lavado destinadas a desprender exceso de biopelícula.
- 20 22.- Reactor de biomembrana, para depurar un afluente de líquido contaminado (111), de acuerdo con la reivindicación 21, caracterizado por que los medios de lavado comprenden adicionalmente:
- una entrada de líquido de lavado (22), localizada en la zona inferior (113); y
  - equipo de impulsión, para introducir en el depósito (11) un caudal de líquido de lavado, desde la entrada de líquido de lavado (22), para arrastrar el exceso de biopelícula hasta la zona superior (112).
- 25 23.- Reactor de biomembrana, para depurar un afluente de líquido contaminado (111), de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 21-22, caracterizado por que los medios de lavado comprenden adicionalmente medios de recogida (19) que a su vez comprenden:
- 30 - un rebosadero (191) para recoger el exceso de biopelícula; y
  - medios de evacuación (192) para desalojar el exceso de biopelícula desde el rebosadero (191).
- 35

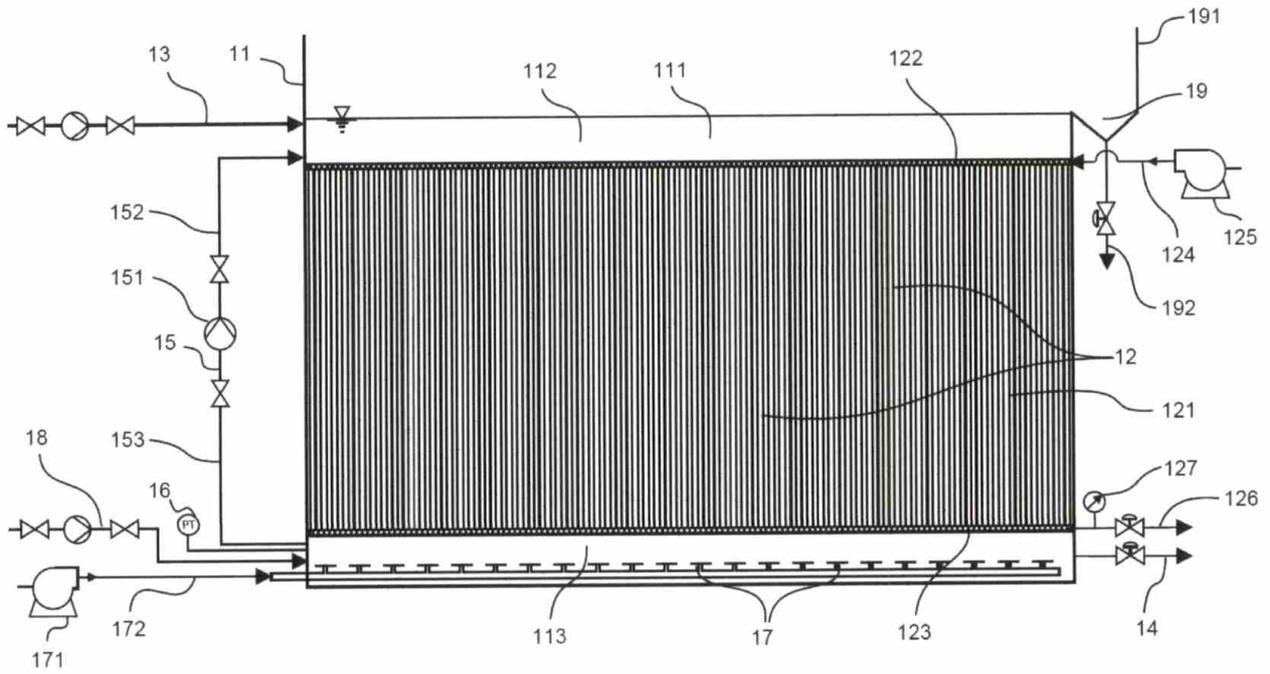


FIGURA 1



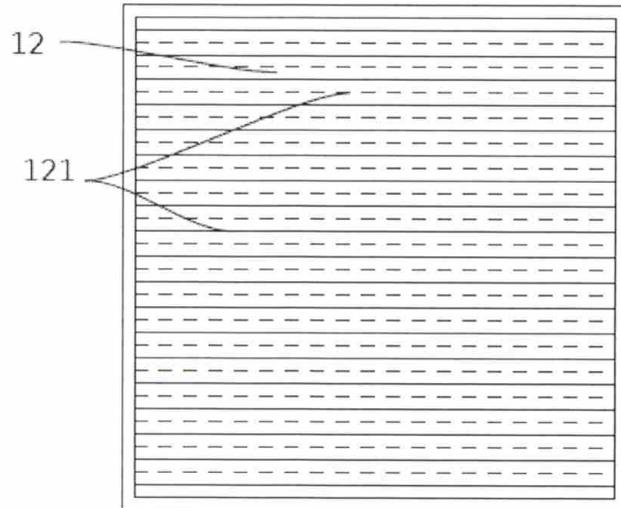


FIGURA 3

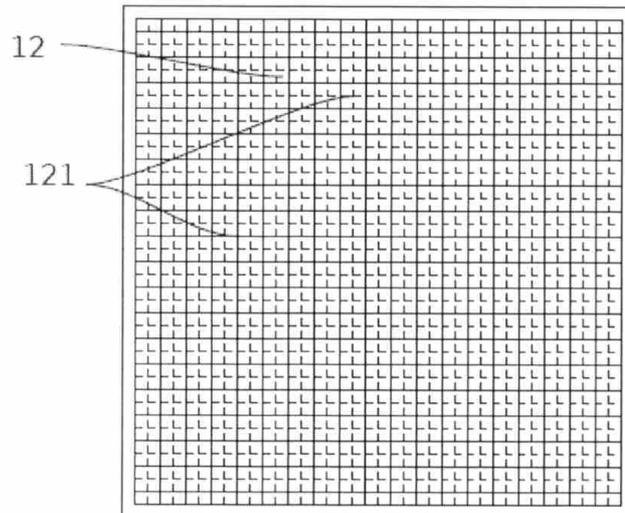


FIGURA 4



- ②① N.º solicitud: 201800180  
②② Fecha de presentación de la solicitud: 02.08.2018  
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	US 2005051481 A1 (HUSAIN HIDAYAT et al.) 10/03/2005, Figuras 5 - 9. párrafos [0006 - 0144];	1-23
X	US 2006096918 A1 (SEMMENS MICHAEL J) 11/05/2006, figura 3, 8 - 9. párrafos [0008 - 0160];	1-23
X	US 2010047886 A1 (HICKEY ROBERT et al.) 25/02/2010, párrafos [0036 - 0073];	1-23
A	US 2015166380 A1 (HUSAIN HIDAYAT et al.) 18/06/2015, párrafos [0029 - 0063];	1-23

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
18.02.2019

Examinador  
C. Galdeano Villegas

Página  
1/2

CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

**C02F3/12** (2006.01)

**B01J19/18** (2006.01)

**B01D69/08** (2006.01)

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

B01J, B01D, C02F

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC