

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 795 807**

51 Int. Cl.:

**B01D 63/02** (2006.01)

**C02F 3/12** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.02.2013 PCT/US2013/027435**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.08.2014 WO14130043**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.02.2013 E 13709632 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.04.2020 EP 2958663**

54 Título: **Reactor de tanque abierto con conjunto de membrana para soportar una biopelícula**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**24.11.2020**

73 Titular/es:  
**BL TECHNOLOGIES, INC. (100.0%)**  
**5951 Clearwater Drive**  
**Minnetonka, MN 55341, US**

72 Inventor/es:  
**COTE, PIERRE LUCIEN y**  
**PEDERSEN, STEVEN KRISTIAN**

74 Agente/Representante:  
**GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo**

ES 2 795 807 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Reactor de tanque abierto con conjunto de membrana para soportar una biopelícula

### Campo

5 La presente memoria descriptiva se refiere al tratamiento de aguas residuales, a reactores de biopelícula de membrana, y a conjuntos de membranas permeables a los gases para soportar una biopelícula.

### Antecedentes

10 En un reactor de biopelícula de membrana (MBfR), una membrana es utilizada tanto para soportar una biopelícula como para soportar un gas sobre la biopelícula. Los reactores de biopelícula de membrana fueron recientemente analizados por Martin y Nerenberg en "El reactor de biopelícula de membrana (MBfR) para el tratamiento de agua y aguas residuales: Principios, aplicaciones y avances recientes" (Bioresour, Technol. 2012). Los reactores de biopelícula con membrana de aireación (MABR) son un subconjunto de los MBfRs en los que se utiliza un gas con oxígeno. Los MABRs se analizaron por Syron y Casey en "Biopelículas con Membrana de aireación para un Biotratamiento de Alta Tasa: Evaluación del Rendimiento, Principios de Ingeniería, Requisitos de Aumento a Escala y Desarrollo" (Environmental Science and Technology, 42 (6) 1833 - 1844, 2008).

15 La patente estadounidense Número 7,169,295 describe un reactor de biopelícula soportada por membrana con unos módulos que presentan unas membranas de fibras huecas finas. Las membranas están elaboradas a partir de polimetil penteno (PMP) de pared densa utilizado en haces de filamentos o conformados como un tejido. Las membranas son encapsuladas en un colector de un módulo para hacer posible que el el gas con el oxígeno sea alimentado a las luces de las fibras huecas. El reactor puede ser utilizado para tratar aguas residuales. Se utilizan procedimientos mecánicos, químicos y biológicos para controlar el grosor de la biopelícula.

20 El documento US 20055051481 se refiere a unas membranas y módulos de biopelícula soportada por membrana y a unos modos para el tratamiento de aguas residuales y describe unas fibras huecas que pueden estar dispuestas en unidades de fibras en forma de haces de fibras, proporcionando las unidades de fibras una superficie de soporte para el cultivo de una biopelícula. Las unidades de fibras se agrupan entre sí para formar módulos de membranas.

25 El documento EP 0732141 se refiere a una transferencia de masa y a una transferencia de intercambiador de calor y describe un haz de fibras huecas que contiene un paquete central en el que el paquete central consiste en unas fibras huecas dispuestas alrededor de un hilo portador dispuesto en medio del haz de fibras huecas, al menos un hilo de devanado está enrollado helicoidalmente alrededor de las fibras huecas.

30 El documento JP 2009285648 se refiere a un módulo de membranas de fibras huecas para humidificación que puede soportar un volumen de gran flujo. El módulo de membranas de fibras huecas comprende una unidad de fibras huecas que incluye una fibra lineal central, unos hilos de devanado de cobertura únicos de forma helicoidal alrededor de las fibras huecas que forman una fibra hueca y unos hilos dobles de devanado de cobertura alrededor de las diferentes fibras huecas.

35 El documento WO 2005016498 se refiere a unos módulos de membranas para el tratamiento de aguas residuales con transferencia de gas, por ejemplo para el tratamiento de aguas residuales y describe unas membranas en forma de hojas que presentan una entrada para el gas en un borde y una salida para el gas en otro borde y unos colectores fijados a uno o ambos bordes de las membranas.

### Sumario de la invención

40 La invención se refiere a un reactor de biopelícula de membrana que comprende un módulo en un tanque abierto, comprendiendo el módulo:

a) al menos un colector; y,

b) una pluralidad de cuerdas generalmente independientes para soportar una biopelícula, comprendiendo cada cuerda una pluralidad de hilos, en el que al menos uno de los hilos de cada cuerda comprende membranas de transferencia gaseosa de fibras huecas,

45 estando las cuerdas encapsuladas en el colector,

en el que la pluralidad de hilos está configurada para formar un núcleo que se extiende a lo largo de cada extensión de cada cuerda genéricamente en paralelo con un eje longitudinal de la cuerda y dos hilos en espiral enrollados alrededor del núcleo que forman dos envolturas (18), una en cada dirección, comprendiendo el núcleo (12) un conjunto de hilos de refuerzo multifilamento (16) y un hilo de membrana de transferencia gaseosa multifilamento sin retorcer (15), comprendiendo cada envoltura (18) un hilo de refuerzo multifilamento sin retorcer (16), y en el que,

50

c) el colector presenta una cavidad y un orificio abierto a la cavidad; y

d) las cuerdas se extienden desde el colector, las superficies exteriores de los extremos abiertos de las membranas de transferencia gaseosa están selladas sobre el colector, y las luces de las membranas de transferencia gaseosa están en comunicación con el orificio a través de la cavidad.

5 La cuerda, es utilizada para soportar una biopelícula. La cuerda comprende una pluralidad de membranas de transferencia gaseosa de fibras huecas. La cuerda también comprende una o más filamentos de refuerzo.

La cuerda comprende una pluralidad de hilos. Al menos uno de los hilos comprende una pluralidad de membranas de transferencia de gas. Al menos uno de los hilos se extiende a lo largo de la extensión de la cuerda adoptando genéricamente la forma de una espiral. La cuerda presenta un núcleo y uno o más hilos de envuelta. En otros casos, la cuerda comprende un conjunto de hilos trenzados.

10 La cuerda, de modo preferente, presenta un diámetro exterior que oscila entre aproximadamente de 0,3 mm a 2,0 mm. Las membranas de transferencia de gas, de modo preferente, presentan un diámetro exterior e inferior a 200 micrómetros. La suma de las circunferencias de las membranas de transferencia de gas es, de modo preferente, al menos 1,5 veces de la circunferencia del círculo más pequeño que puede rodear la cuerda. En uso, una biopelícula cubre la cuerda y la superficie exterior de la biopelícula es sustancialmente redonda.

15 El módulo está elaborado mediante el encapsulado de una pluralidad de cuerdas en al menos un colector. Las cuerdas son generalmente independientes entre sí excepto en el colector. El reactor está elaborado colocando el módulo en un tanque abierto adaptado para contener el agua que debe ser tratada, y puede alimentar un sistema de alimentación de gas. Un proceso para el tratamiento de las aguas residuales que comprende las etapas de proveer el reactor de biopelícula de membrana, alimentar agua al tanque del reactor de biopelícula de membrana y suministrar un gas al reactor de biopelícula de membrana del módulo. En uso, una biopelícula cubre una cuerda para formar un conjunto de biopelículas para formar un conjunto de biopelícula de membrana.

20 La cuerda, el módulo, el reactor y el proceso son utilizados para tratar agua, en, o al modo de un MBfR.

#### **Breve descripción de las figuras**

La Figura 1 es una fotografía de una cuerda.

25 Las Figuras 2 a 4 son fotografías de cuerdas alternativas.

La Figura 5 es un dibujo esquemático de una máquina para elaborar una cuerda.

Las Figuras 6 a 8 son dibujos esquemáticos de etapas de un proceso para elaborar un módulo que comprende una pluralidad de cuerdas.

La Figura 9 es un dibujo esquemático de un módulo que comprende una pluralidad de cuerdas.

30 La Figura 10 es un dibujo esquemático de un reactor que comprende el módulo de la Figura 9.

Las Figuras 11 a 14 son dibujos de las cuerdas de las Figuras 1 a 4, respectivamente.

#### **Descripción detallada**

35 Las Figuras 1 a 4 y las Figuras 11 a 14 muestran, cada una, una cuerda 10 que comprende una pluralidad de hilos 8. Al menos uno de los hilos 8 comprenden una pluralidad de membranas de transferencia gaseosas de fibras huecas 14. Al menos uno de los hilos 8 comprende al menos un filamento de refuerzo 34.

Al menos uno de los hilos 8 se extiende a lo largo de la extensión de la cuerda 10 adoptando genéricamente la forma de una espira y puede ser designado como un hilo en espiral. De modo preferente, al menos un hilo de espiral 8 está enrollado al menos parcialmente alrededor del exterior del otro hilo o hilos 8 de la cuerda 10.

40 En las cuerdas 10 de las Figuras 1 a 4 y de las Figuras 11 a 14, los hilos 8 están dispuestos para suministrar un núcleo 12 y uno o más envolturas 18. Un envoltura 18 se desplaza en una espiral que está siempre por fuera del otro hilo 8. Un envoltura 18 se enrolla en espiral alrededor del núcleo 12 o puede también enrollarse en espiral alrededor de uno o más envolturas 18 distintos al espiral alrededor del núcleo 12. Uno solo o envoltura exterior 18 está situado enteramente por fuera del otro hilo o hilos 8 de una cuerda 10. Como alternativa, un hilo en espiral 8 puede estar envuelto solo parcialmente por fuera de los demás hilo o hilos 8 o una cuerda. Por ejemplo, dos o más hilos en espiral 8 pueden estar retorcidos uno alrededor del otro o cuatro más hilos en espiral 8 pueden estar trenzados entre sí para formar una cuerda 10 sin envoltura 18. En otra alternativa, cuatro o más hilos en espiral 8 pueden estar trenzados entre sí alrededor de un núcleo 12.

50 Cada cuerda 10 presenta una pluralidad de membranas de transferencia gaseosas de fibras huecas 14. Las membranas de transferencia gaseosas 14 están situadas en el núcleo 12, y pueden también estar situadas en uno o más envolturas 18, o en otro hilo 8. Las membranas de transferencia gaseosa 14 están, de modo preferente, dispuestas en forma de hilo de múltiples filamentos que presentan una pluralidad de membranas de transferencia

gaseosa que pueden ser denominadas un hilo de membrana de transferencia gaseosa 15. La cuerda presenta un hilo de refuerzo 16. El hilo de refuerzo presenta uno o más filamentos de refuerzo 34, presentando un hilo 8 tanto una pluralidad de membranas de transferencia gaseosa 14, y al menos un filamento de refuerzo 34 puede ser denominado tanto como hilo membrana de transferencia gaseosa 15 como hilo de refuerzo 16.

- 5 El diámetro exterior de una cuerda 10, de modo preferente, oscila entre aproximadamente de 0,3 a 2,0 mm. El diámetro exterior de la cuerda 10 se puede medir como la anchura más amplia de una cuerda medida a través de su eje geométrico longitudinal como diámetro de agujero más pequeño que la cuerda 10 atravesará. Las anomalías, defectos o abolladuras no repetitivas son ignoradas en estas mediciones.

- 10 Hablando en términos generales, un núcleo 12 proporciona resistencia mecánica, define un eje geométrico longitudinal de la cuerda 10, soporta cualquier envoltura 18 y también comprende unas membranas de transferencia gaseosa 14. Una envoltura 18 u otro hilo por fuera del núcleo 12, puede efectuar una o más funciones entre: proteger el núcleo 12 u otro hilo subyacente 8, comprender membranas de transferencia gaseosa 14, o contribuir a la resistencia mecánica de la cuerda 10.

- 15 Un núcleo 12 comprende uno o más hilos multifilamento. Un hilo multifilamento puede comprender filamentos que estén trenzados, retorcidos o de cualquier otra forma unidos, o filamentos que estén simplemente agrupados entre sí en un haz o conjunto de filamentos. Múltiples hilos pueden estar dispuestos como hilos de envoltura paralelos o retorcidos, trenzados o de cualquier otra forma unidos. Por ejemplo, un núcleo 12 puede consistir esencialmente en un único hilo de múltiples filamentos; o, un conjunto de aproximadamente de 2 a 6 hilos de múltiples filamentos dispuesto en paralelo o retorcidos o trenzados entre sí. Un conjunto de hilos retorcidos o trenzados puede resultar preferente dado que el conjunto será más flexible que un único monofilamento del mismo diámetro exterior. Un núcleo 12, típicamente pero no necesariamente, comprende al menos un hilo de refuerzo 16. Un núcleo 12 puede opcionalmente comprender uno o más hilos de membrana de transferencia gaseosa 15.

- 25 Una envoltura 18 es típicamente un hilo multifilamento. Un hilo multifilamento puede comprender filamentos que estén retorcidos o de cualquier otra forma unidos, o filamentos que estén simplemente agrupados entre sí en un haz o en un conjunto de filamentos. Un envoltura 18 puede estar enrollado alrededor de un núcleo 12 en una espiral en el sentido de las agujas del reloj o en una espiral contraria a las agujas del reloj. Como alternativa, una cuerda 10 puede tener al menos una envoltura 18 en cada dirección o no tener ningún envoltura 18. Un envoltura 18 puede ser un hilo de membrana de transferencia gaseosa 15, un hilo de refuerzo 16, o ambos.

- 30 Un filamento de refuerzo 34 puede elaborarse a partir de cualquier polímero resistente al agua y no biodegradable por ejemplo polietileno, nailon o poliéster, de modo preferente nailon o poliéster. Un filamento de refuerzo 34 es típicamente sólido. Las membranas de transferencia gaseosa 14 tienden a ser costosas y débiles en relación con el refuerzo de los filamentos 34 elaborados a partir de polímeros textiles comunes, por ejemplo nailon o poliéster. Un hilo de refuerzo 16 puede ser un monofilamento o un hilo de múltiples filamentos. En el caso de un hilo de múltiples filamentos, los filamentos de refuerzo 34 pueden estar trenzados, retorcidos o de cualquier otra forma unidos, o ser filamentos que estén simplemente agrupados entre sí en un haz o en un conjunto de filamentos. Opcionalmente, un hilo 8 puede comprender uno o más filamentos de refuerzo 34 mezclados con las membranas de transferencia gaseosa 14.

- 40 Las membranas de transferencia gaseosa 14, de modo preferente, presentan un diámetro exterior de 500 micrómetros o menos, de modo más preferentemente de 200 micrómetros o menos, opcionalmente de 100 micrómetros o menos. El área hueca de una fibra hueca (es decir el área en sección transversal de la luz de una fibra como porcentaje de su área en sección transversal total) es, de modo preferente, de al menos un 20%, por ejemplo en el intervalo de un 20 a un 50%. Por ejemplo, una membrana de transferencia gaseosa 14 puede presentar un diámetro exterior que oscile de 30 a 70 micrómetro y un diámetro interior de aproximadamente de 15 a 50 micrómetros. El grosor de pared de una membrana de transferencia gaseosa 14 puede ser de 20 micrómetros o menos.

- 45 Las membranas de transferencia gaseosa 14, de modo preferente, son manipuladas en un hilo de membrana de transferencia gaseosa de filamentos múltiples 15. Un hilo de membrana de transferencia gaseosa 15 puede presentar entre 2 y 200, entre 12 y 96 o entre 10 y 60 filamentos individuales de membrana de transferencia gaseosa 14. Un hilo de membrana de transferencia gaseosa 15 utilizado como envoltura 18, de modo preferente, no está retorcido, trenzado o engarzado de manera tensa para hacer posible que las membranas de transferencia gaseosa individuales 14 se diseminan sobre un hilo subyacente 8. Un hilo de membrana de transferencia gaseosa 15 puede estar elaborado mediante rebobinado de unas membranas de transferencia gaseosa 14 a partir de múltiples bobinas de recogida en combinación con otra bobina.

- 55 Puede disponerse un hilo de membrana de transferencia gaseosa 15 en un núcleo 12, ya sea como hilo central o como hilo paralelo a un hilo de refuerzo central 16; en uno o más envolturas 18; o en otro hilo en espiral 8. Es deseable para la eficiencia de la transferencia gaseosa hacer que las membranas de transferencia gaseosa 14 estén cerca de la superficie exterior de la cuerda 10. Sin embargo, las membranas de transferencia gaseosa 14 son típicamente frágiles y son más propensas a resultar dañadas si forman la superficie exterior de la cuerda 10. Por consiguiente, es preferente que un hilo de refuerzo 16 sea utilizado como hilo exterior 18. En este caso, un hilo de membrana de transferencia gaseosa 15 puede ser utilizado en el núcleo 12 o en un envoltura interior 18.

Las membranas de transferencia gaseosa 14 pueden ser porosas, no porosas o semiporosas. También pueden utilizarse membranas de composite, por ejemplo que presenten una capa de membrana no porosa y una capa de soporte semiporosa o porosa. También pueden utilizarse membranas asimétricas, por ejemplo que presenten una región no porosa y una región semiporosa o porosa integrales.

- 5 Las membranas de transferencia gaseosas porosas 14 pueden presentar unos poros hasta un nivel de microfiltrado. Se evita la humedad mediante la elección de materiales hidrófobos o tratando las fibras huecas 14 para convertirlas en hidrófobas. Las fibras huecas porosas 14 pueden estar elaboradas, por ejemplo, utilizando polietileno, cloruro de polivinilo, polipropileno o polisulfona.

10 Las membranas de transferencia gaseosas no porosas 14, que incluyen las membranas de transferencia gaseosa de pared densa 14 pueden estar elaboradas a partir de un polímero termoplástico, por ejemplo una poliolefina, como por ejemplo polimetilpenteno (Poly (4 - metilpenteno - 1) o PMP), polietileno (PE) o polipropileno (PP). El PMP es comercializado por ejemplo por Mitsui Petrochemical con la marca TPX. El polímero puede ser derretido dentro de una fibra hueca. Las membranas de transferencia gaseosa 14 pueden llamarse no porosas si el agua no fluye a través de las paredes de las fibras por flujo en masa o por advección de líquido incluso a través de la pared, típicamente entre 15 4 o 5 Angstroms en el caso del PMP de hilo fundido, sin embargo, el oxígeno y otros gases pueden penetrar o desplazarse a través de las paredes de las fibras. En una fibra hueca de pared densa 14, el gas se desplaza sobre todo por difusión molecular o disolución - difusión que se produce cuando las aberturas de las paredes de las fibras son generalmente inferiores a 30 Angstroms. Las membranas de transferencia gaseosa 14 se describe en la Patente estadounidense 7,169,295.

20 El término poroso se ha utilizado para referirse a cualquier estructura que presente unas aberturas mayores que en el caso de una pared densa, por ejemplo que presente unas aberturas de 30 o 40 Angstroms o más, pero sin que las aberturas sean lo suficientemente grandes para ser humedecidas o transportar agua líquida mediante advección, la ley de Poiseuille o de flujo a granel. En la presente memoria descriptiva, las membranas con aberturas de este intervalo de tamaño son designadas como semiporosas.

25 Las membranas de transferencia gaseosa 14 pueden, como alternativa, estar fabricados mediante tratamiento mecánico o término de un polímero termoplástico hilado fundido después del hilado para incrementar su permeabilidad al oxígeno sin hacer que la fibra sea humedecible o capaz de permitir el flujo adictivo o de agua líquida. Las etapas de hilado o postratamiento que pueden ser utilizadas o controladas para incrementar la permeabilidad incluyen la velocidad de hilado y la relación de estirado, las condiciones de enfriamiento como por ejemplo la temperatura o la tasa o el caudal de aire, el post recocido, caso de que exista, el estirado y el termoendurecimiento. Las fibras resultantes pueden presentar una capa densa con unas aberturas cuyo tamaño oscile desde el tamaño de las aberturas del polímero en crudo hasta 30 o 40 Angstroms, a uno u otro lado del interior de la fibra, del exterior de la fibra o de ambos, siendo las partes restantes de la fibra porosas o semiporosas. Por ejemplo, la patente estadounidense No. 4,664,681, concedida el 12 de mayo de 1997, de Anazawa et al, describe, en los ejemplos 4 y 6, procesos para el hilado de fusión y el postprocesamiento de PE y PP para producir fibras aceptables mientras otras 35 fibras están fabricadas a partir de PMP o polioximetileno. Los procesos descritos en "Membranas de Fibras Huecas Asimétricas Hiladas de Fusión de Poli (4 - metil - 1 penteno)" Journal of membrane Science, 137 (1997) 55 - 61, Twarowska Shmidt et al., también producen fibras aceptables de PMP y pueden adoptarse para producir fibras de otras poliolefinas, por ejemplo PE o PP. En otro ejemplo, la media de tamaño del poro de las fibras producidas se sitúa justo por encima de 40 Angstroms. En la patente estadounidense No. 4,664,681, las membranas son hiladas fundidas, estiradas (produciendo la membrana con una elevada relación de estiraje) sometidas a un enfriamiento débil y a continuación tratadas en caliente. Las membranas resultantes son asimétricas y contienen una capa densa con sustancialmente ningún poro con un diámetro de 30 Angstroms o más y una capa microporosa con poros mayores. La capa no porosa es la superficie exterior de la fibra y, por tanto, la fibra no es humectante.

45 Otro proceso alternativo para elaborar membranas de transferencia gaseosa 14 es elaborar una membrana superficial densa por exterior con una estructura esponjosa mediante el proceso de separación de fase inducida por un no disolvente (NIPS). Los polímeros típicamente utilizados para este proceso son polisulfona, acetato de celulosa y poliimida. Otros procedimientos alternativos de elaborar membranas de transferencia gaseosa 14 pueden incluir, por ejemplo, extrusión por pulverización, hilado flash, y electrohilado.

50 En general, el caucho de silicio o PDMS presenta una permeabilidad al oxígeno muy elevado pero no puede ser procesado utilizando muchas técnicas textiles y no se encuentran disponibles en fibras de pequeño diámetro. El PMP presenta una permeabilidad superior al oxígeno que el PE o el PP pero es más costoso. Las membranas porosas presentan una permeabilidad al oxígeno elevada pero son propensas a humedecerse con el uso. Por consiguiente, son preferentes pero no esenciales unas membranas de transferencia gaseosa 14 poliméricas de pared densa, por ejemplo de PE, PP o PME con un grosor de pared de 50 micrómetros o menos, de modo preferente de 20 micrómetros 55 o menos, o unas membranas poliméricas que no presenten unas paredes completamente densas pero que incluyan una capa no porosa o semiporosa.

60 Un hilo 8 de un núcleo 12, ya sea un hilo de transferencia gaseosa 15 o un hilo de refuerzo 16, puede ser denominado un envoltura 26. Un envoltura 18, de modo preferente, se aplica alrededor de un núcleo 12 o de otro hilo subyacente 8 con alguna cierta tensión para provocar que sus filamentos se expandan sobre la superficie del núcleo 12. El

- envoltura puede llevarse a cabo con una relación de paso (paso dividido por el diámetro del núcleo) de entre 1 y 5. El envoltura puede efectuarse en una sola dirección pero, de modo preferente, se lleva a cabo en ambas direcciones. Puede haber 1 o más, por ejemplo entre 1 y 3, envolturas 18 en una dirección. Las membranas de transferencia gaseosa 14, de modo preferente, están directamente expuestas sobre al menos un 25% de la superficie del núcleo 12 aunque el oxígeno puede también desplazarse desde una membrana de transferencia gaseosa 14 a través de un hilo suprayacente 8.
- Una cuerda 10 puede estar compuesta por un conjunto de hilos retorcidos 8. Sin embargo, unos hilos simplemente retorcidos 8 pueden tender a parcialmente distorsionarse y separarse, en uso. Por consiguiente, es preferente utilizar hilos retorcidos 8 como núcleo 12 con al menos un envoltura 18 enrollado alrededor del núcleo 12 en la dirección opuesta a la torsión del núcleo 12. Un núcleo trenzado 12 es más estable. Unos hilos en espiral 8 pueden ser añadidos como trenza alrededor de un núcleo 12, pero un envoltura 18 puede elaborarse a una velocidad de línea más rápida con una máquina menos complicada. Una estructura de cuerda que utilice uno o más envolturas 18 también permite que un hilo de refuerzo 16 sea utilizado como envoltura exterior 18 para contribuir a proteger un hilo de membrana de transferencia gaseosa interior 15.
- En los ejemplos de las Figuras 1 a 4 y de las Figuras 11 a 14, los hilos de membrana de transferencia gaseosa 15 están compuestos por 48 filamentos de fibras huecas de PMP de pared densa. Los filamentos presentan un diámetro exterior inferior a aproximadamente 70 micrómetros y un grosor de pared exterior inferior a 20 micrómetros. Los hilos de refuerzo 16 son o bien hilos de monofilamento o hilos de filamentos múltiples de poliéster (PET).
- En la Figura 1 y en la Figura 11, una primera cuerda 10a presenta un núcleo 12 compuesto por un solo hilo de refuerzo monofilamento 16 y unos hilos de membrana de transferencia gaseosa de dos multifilamentos 15 aplicados como envolturas 26 paralelos al hilo de refuerzo 16. El núcleo 12 está cubierto por dos envolturas 18, en cada dirección, con un paso de envoltura de 1,8. Cada envoltura 18 es un único hilo de membrana de transferencia gaseosa de múltiples filamentos 15.
- En la Figura 2 y en la Figura 12, una segunda cuerda 10b presenta un núcleo 12 que comprende un hilo de refuerzo 16 y un hilo de membrana de transferencia gaseosa 15. Cada uno de estos hilos del núcleo 12 es un hilo de múltiples filamentos no retorcidos, como alternativa denominados un conjunto de filamentos. La segunda cuerda 10b también presenta dos envolturas 18 uno en cada dirección. Cada envoltura 18 es un hilo de refuerzo de filamentos múltiples 16 sin retorcer.
- En la Figura 3 y en la Figura 13, una tercera cuerda 10c presenta un núcleo 12 que comprende un conjunto de hilos de refuerzo de filamentos múltiples 16 trenzados entre sí. La tercera cuerda 10c presenta también un envoltura interno 18 que comprende un hilo de membrana de transferencia gaseosa 15 de múltiples filamentos sin retorcer y un envoltura exterior que comprende un hilo de refuerzo de múltiples filamentos 16 sin retorcer.
- En la Figura 4 y en la Figura 14, una cuarta cuerda 10c presenta un núcleo 12 que comprende un conjunto de hilos de refuerzo de filamentos múltiples 16 trenzados entre sí y un hilo de membrana de transferencia gaseosa 15 de múltiples filamentos sin retorcer como una urdimbre 26 paralela a los hilos de refuerzo 16. El hilo de membrana de transferencia gaseosa 15 es paralelo con el núcleo 12 pero no está trenzado con los hilos de refuerzo 16. La tercera cuerda 10c también presenta un envoltura 18 que comprende un hilo de refuerzo 16 de múltiples filamentos sin retorcer.
- La Figura 5 muestra una máquina 20 para elaborar una cuerda 10. La máquina 20 está construida sobre un bastidor 22 que soporta los diferentes componentes y los alinea. Una o más urdimbres 26 son alimentadas a la máquina 20 a partir de una fileta 24. La fileta 24 presenta unos soportes de bobina fijos, unas guías y unos dispositivos de tensionado, como se encuentran en cualquier otro equipamiento textil. Las urdimbres 26 pasan a través de un distribuidor 28. El distribuidor 28 puede presentar una abertura central y uno o más ojete alrededor de la abertura central. Un urdimbre 26 es desenrollada de una bobina sobre la fileta 24, situada sobre la parte superior del distribuidor 28 a través de un rodillo y alimentada verticalmente hacia abajo a través del distribuidor 28. Un rodillo de bobina (no mostrado) tracciona la cuerda 10 hacia abajo a través de la máquina 20 y sobre una bobina. Las una o más urdimbres 26 forman el núcleo 12 de la cuerda 10.
- Uno o más husillos 30, u otros dispositivos de envoltura de hilos, están situados por debajo del distribuidor 28. Cada husillo 30 está cargado con un hilo y envuelve el hilo alrededor de una o más urdimbres 26 del núcleo 12 cuando pasan a través del husillo 30. Debido al movimiento descendente del núcleo 12, cada hilo envuelto forma una envoltura en espiral 18. La máquina 20 puede también incorporar unas guías de alineación (no mostradas) para mantener el núcleo 12 alineado con el eje geométrico central de los husillos 30 y para reducir la vibración del núcleo 12.
- Un ejemplo de un husillo 30 apropiado es un modelo de husillo Temco™ MSE 150 de Oerlikon Textile. Cada husillo 30 incorpora un motor eléctrico y un núcleo hueco y soporta una bobina de un hilo de envoltura. El husillo 30 está situado de manera que su eje geométrico central coincida con el núcleo 12. En la máquina 20 de la Figura 2, hay dos husillos 30, uno que rota en la dirección de las agujas del reloj y el otro que rota en sentido contrario. Los husillos 30 rotan a una velocidad ajustable de hasta 25.000 rpm para obtener un paso controlable. Como alternativa, una fileta rotativa puede ser utilizada en lugar del husillo 30. En una fileta rotativa, las bobinas están montadas sobre una rueda

que rota alrededor del núcleo 12 sin ponerse en contacto con ella. Cada bobina, de modo preferente está equipada con un control de tensión.

Una pluralidad de cuerdas 10, por ejemplo 100 o más, están elaboradas adoptando la forma de un módulo genéricamente a modo de elaboración de un módulo de filtración de membrana de fibra hueca inmersa. Al menos un extremo de cada una de las cuerdas 10 está encapsulado en un bloque de un material de encapsulamiento, por ejemplo una resina termoplástica o de termofraguado que esté cerrada herméticamente sobre una cubeta para formar un colector. Los extremos de las membranas de transferencia gaseosa 14 están abiertos al interior del colector, por ejemplo cortándolos y dejándolos abiertos después del encapsulado. Los otros extremos de las cuerdas 10 pueden estar encapsulados en otro colector con los extremos de las membranas de transferencia gaseosa 14 abiertos o cerrados, cerrados individualmente o retornados en bucle y encapsulados dentro del primer colector. Un orificio practicado en el colector permite que un gas sea alimentado a las luces de las membranas de transferencia gaseosa. El gas puede ser alimentado a las membranas de transferencia gaseosa 14 en forma de extremo muerto o con escape a través de un segundo colector.

A modo de ejemplo, las fibras de composite 10 pueden ser ensambladas en módulos y casetes de acuerdo con la configuración de las unidades de filtración de membranas inmersas ZeeWeed 500™ comercializada por GE Water & Process Technologies. Las hojas de las cuerdas 10 son preparadas con las fibras compuestas 10 separadas en forma genéricamente uniforme en la hoja. Múltiples hojas pueden ser apiladas unas encima de otras para formar un haz de hojas adyacentes separadas entre sí. El haz es encapsulado. Después de que el material de encapsulado se endurece, es cortado para dejar al descubierto los extremos abiertos de las membranas de transferencia gaseosa y cerrado herméticamente sobre la cubeta del colector. Varios de dichos módulos pueden ser fijados a un bastidor común. Se pueden utilizar o adaptar diversas técnicas útiles para elaborar un modelo de acuerdo con lo descrito en los documentos Patente estadounidense 7,300,571, 7303676, Publicación estadounidense 2003/01737006 A1 y Publicación Internacional con el Número WO 02/094421. Como alternativa, pueden ser utilizadas otras técnicas para elaborar un módulo de membrana de fibras huecas.

Con referencia a la Figura 6, múltiples cuerdas 10, o una cuerda ondulante 10 son tendidas sobre un aparato de montaje plano o tambor para obtener un conjunto de segmentos genéricamente paralelos de la cuerda 10 en una hoja 38. Los segmentos de cuerda 10 pueden mantenerse separados de manera uniforme unos de otros dentro de la hoja 38, por ejemplo, mediante un filamento tejido 40 o una tira de adhesivo de fusión en caliente 42. Cuando los segmentos de la cuerda 10 son utilizados, los extremos de las cuerdas 10 pueden ser sellados, por ejemplo, fundiéndolos con un cortador de hierro o calentado a lo largo de una línea de estanqueidad 44. Múltiples hojas 38 pueden ser apiladas unas encima de otras, de modo preferente, con los extremos de las hojas adyacentes 38 separadas mediante separadores. El extremo de conjunto de hojas 38 es sumergido en un molde de encapsulado 46 relleno con una resina de encapsulado 48. La resina de encapsulado 48 puede ser, por ejemplo, una resina de poliuretano formulada para penetrar dentro de los hilos 8 para cerrar herméticamente los diversos filamentos de la cuerda 10.

Con referencia a la Figura 7, el conjunto de hojas 38 es retirado del molde de encapsulado 46 después de que la resina de encapsulado 48 se haya curado. Para exponer los extremos abiertos de las membranas de transferencia gaseosa 14, la resina de encapsulado 48 es cortada a lo largo de la línea de corte 50. El otro extremo del conjunto de hojas 38 puede ser encapsulado de la misma manera. Opcionalmente, uno o más de los bloques de la resina de encapsulado 48 puede ser cortado para dejar al descubierto los extremos abiertos de las membranas de transferencia gaseosa 14.

Con referencia a la Figura 8, un colector 60 está formado mediante el cierre estanco del bloque de la resina de encapsulado 48 sobre una cubeta colectora 52. La cubeta colectora 52 puede estar fabricada a partir de plástico moldeado y presenta una salida 54. El bloque de la resina encapsulado 48 puede quedar sujeto dentro de la cubeta de colector 52 mediante un adhesivo o una junta 56 entre el perímetro de la resina de encapsulado 48 y la cubeta de colector 52. Opcionalmente, se puede verter un segundo material de encapsulado 58 sobre la resina de encapsulado. El segundo material de encapsulado puede también sellar herméticamente las cuerdas 10 o la resina de encapsulado 48 sobre la cubeta del colector 52 o puede almohadillar las cuerdas 10 por donde salen del colector 60. Un colector similar 60 puede fabricarse en el otro extremo del conjunto de hojas 38.

Con referencia a la Figura 9, un módulo 66 presenta dos colectores 60 con unas cuerdas 10 que se extienden entre ellos. Los colectores 60, de modo preferente, están verticalmente alineados y soportados a parte por un bastidor 62. La longitud de las cuerdas 10 entre las caras opuestas de los colectores 60 puede ser ligeramente superior que la distancia entre las caras opuestas de los colectores 60. En este caso, las cuerdas 10 presentan una cierta holgura y pueden oscilar. Las cuerdas 10, de modo preferente, no están conectadas entre sí entre los colectores 60. Aunque una cuerda 10 pueda contactar con otra a medida que oscila, el movimiento de una cuerda 10 es en general independiente de las otras cuerdas 10. Múltiples módulos 60 pueden ser soportados en un bastidor común 62. El bastidor 62 puede también soportar un aireador 68 cerca del fondo de un módulo 66.

Cuando se utilice para el tratamiento de aguas residuales, las cuerdas 10 son sumergidas en un biorreactor y un gas como por ejemplo agua, oxígeno, hidrógeno u otro gas es alimentado a través de la luz de las membranas de transferencia gaseosa 14. Una biopelícula se desarrolla sobre la superficie exterior de las cuerdas 10 y quedan ancladas sobre sí misma quedando los espacios libres existentes entre los filamentos. El conjunto de biopelículas de

membrana resultantes presenta una sección transversal genéricamente circular. La sección transversal del conjunto de biopelículas de membrana presenta un diámetro de aproximadamente de 0,3 a 3 mm que se determina partiendo de la base de que la biopelícula se extiende no más de 0,5 mm más allá del diámetro exterior del núcleo 12. Un grosor de biopelícula más típico oscila entre de 0,05 a 0,2 mm. La suma de las circunferencias de las membranas de transferencia gaseosa 14 multiplicadas por la longitud de la cuerda se aproxima al área de superficie de transferencia gaseosa activa mientras que la circunferencia del exterior de la biopelícula multiplicada por la longitud de la cuerda 10 proporciona el área de la biopelícula. La suma de las circunferencias de las membranas de transferencia gaseosa 14 es de modo preferente al menos 1,5 veces la circunferencia de un círculo que presenta un diámetro exterior de la cuerda 10. La suma de las circunferencias de las membranas de transferencia gaseosa 14, de modo preferente, es también al menos 1,5 veces la circunferencia de la biopelícula fijada cuando está en uso.

Los módulos de las cuerdas 10 son desplegados en un reactor de biopelícula de membrana (MBfR) sumergiéndolos en un tanque abierto, y pueden ser desplegados de manera similar al uso de las membranas de filtrado de fibras huecas sumergidas ZeeWeed 500. Aunque las cuerdas 10 serán utilizadas para soportar y transportar gas hacia una biopelícula y no para su filtración, diversas características de diseño y operativas del sistema del sistema ZeeWeed 500 pueden ser adaptados. Como se indicó con anterioridad, las cuerdas 10 pueden ser encapsuladas con una ordenada separación entre ellas. La configuración de módulos con dos colectores puede ser utilizada pero modificada para utilizar un colector de cada elemento para introducir el gas fresco y un colector para verter el gas de escape. Los bastidores de casete de ZeeWeed pueden ser utilizados para facilitar el despliegue de módulos múltiples con las cuerdas 10 orientadas verticalmente dentro de los tanques abiertos. La introducción de gas mediante la formación de burbujas producidas por debajo de o cerca del fondo de los módulos puede conseguirse con un caudal bajo para renovar el líquido alrededor de las cuerdas 10. La introducción de gas con un caudal más elevado puede ser utilizado para ayudar a controlar el grosor de biopelícula ya sea mediante la acción directa de las burbujas, las estelas de las burbujas o los efectos de la presión de las burbujas sobre la biopelícula, o haciendo que las cuerdas 10 estén montadas con holgura entre los colectores para moverse en el agua para producir turbulencia o contacto entre las cuerdas 10. Opcionalmente, el gas de escape procedente de las cuerdas puede ser reciclado para su uso en la aspersión de gas.

Con referencia a la Figura 10, el módulo 66 está inmerso en un tanque 70. El tanque 70 está lleno de agua destinada a ser tratada desde una entrada 72. El agua tratada es retirada a través de una salida 74. Opcionalmente, el agua puede recircular desde la salida 74 hasta la entrada 72 para proporcionar un flujo de agua a través del módulo 66, mezclar el tanque 70, o mantener las condiciones deseadas dentro del tanque 70. El aire, u otro gas, es soplado dentro o extraído del módulo 66 mediante un soplador de gas de proceso 76. En el ejemplo mostrado, el gas es soplado al interior de un colector 60, se desplaza a través de las cuerdas 10 y sale del otro colector 60. Una válvula de estrangulación 78 puede ser utilizada para incrementar la presión del gas en las cuerdas 10. El soplador de gas de aspersión 80 sopla aire o gas de escape reciclado a partir del módulo 66, o ambos, hacia el aireador 68 cuando se requiera para la mezcla del tanque 70 o para el control del grosor de la biopelícula sobre las cuerdas 10.

Opcionalmente, el aireador 68 puede comprender una tubería de alimentación 82 y un transductor 84. El transductor 84 recoge el gas expulsado a partir del tubo de alimentación en un embolsamiento situado por debajo de una carcasa 86. El embolsamiento del gas se agranda a medida que el gas se acumula como se muestra en los primeros dos compartimentos de la carcasa 86, contando desde el lado izquierdo de la carcasa 86. Cuando el embolsamiento del gas se extiende hacia el fondo del tubo con forma de J, como en el tercer compartimento de la carcasa 86, el gas es liberado del tubo con forma de J como se muestra en el último compartimento de la carcasa 86. De esta manera, grandes ráfagas de burbujas son liberadas rápidamente sin que se requiera un gran volumen de gas para que sea continuamente bombeado sobre el tanque 70. El gas abrasivo excesivo consume energía y puede perturbar las condiciones anóxicas o anaeróbicas deseadas del tanque 70. Grandes ráfagas periódicas de burbujas pueden ser más eficaces para renovar el agua alrededor de las cuerdas 10 o retirar la biopelícula de las cuerdas 10 que la misma cantidad de gas alimentada a una corriente de burbujas continua.

En algunos MBfRs de la técnica anterior, caucho de silicio o polidimetilsiloxano (PDMS) son revestidos sobre un sustrato plano para conseguir una membrana de hoja plana. Mientras el silicio y el PDMS son altamente permeables al oxígeno, dicha membrana de hoja plana puede proporcionar un área de superficie para la transferencia de oxígeno hacia el área de superficie de la relación de biopelícula de solo aproximadamente 1. Así mismo, en el caso de hojas razonablemente grandes es difícil renovar el agua destinada a ser tratada a lo largo de los bordes de la hoja o retirar el exceso de biopelícula de los bordes de la hoja. Por consiguiente, las hojas a menudo están separadas por un espacio sustancial y el área de biopelícula total de un tanque puede ser baja.

En la patente estadounidense Número. 7,169,295, un reactor de biopelícula soportada por una membrana presenta unos módulos compuestos por unas membranas de fibras huecas finas. Las fibras huecas finas presentan una pared delgada que permite una eficiencia de transferencia gaseosa satisfactoria incluso cuando se utilizan polímeros hilados en caliente. Sin embargo, las fibras huecas finas también resultan fácilmente dañadas. Un módulo de haces de filamentos descrito en el documento US 7,169,295, aunque de utilidad en algunas aplicaciones, presenta unas fibras huecas sueltas y expuestas que tienden a dañarse y a quedar aglomeradas entre sí por la biopelícula en otras aplicaciones. El módulo de hojas descritos en el documento 7,169,295 son más resilientes y pueden proporcionar un área de superficie para la transferencia de oxígeno hacia el área de superficie de la relación de biopelícula de más de 1. Sin embargo, como el módulo de hoja plana de silicio, estos módulos de hoja siguen quedando sujetos a las limitaciones del área total de la biopelícula.

Las cuerdas 10 anteriormente descritas proporcionan una configuración de módulos de transferencia gaseosa alternativas útiles. El uso de membranas de transferencia gaseosa de fibras huecas finas posibilita unas eficiencias de transferencia gaseosa satisfactorias incluso cuando se utilizan polímeros hilados por fusión y un área de superficie para la transferencia de oxígeno en el área de superficie en la relación de biopelícula de más de 1. Las membranas de fibras huecas finas no están sueltas y al descubierto. Sin embargo dado que las cuerdas 10 pueden desplazarse en general de manera independiente y no forman una hoja sólida, el líquido renovado y las burbujas utilizadas para erosionar la biopelícula para controlar su grosor puede alcanzar las cuerdas 10 situadas en el interior de un módulo. El desplazamiento de las cuerdas 10, o el contacto entre las cuerdas 10, puede también a contribuir a controlar el grosor de la biopelícula. Así mismo, el área de superficie de la biopelícula total se puede incrementar con respecto al módulo en forma de hoja.

En un ejemplo calculado, una cuerda 10 comprende un núcleo 12 y dos envolturas 18, uno en cada dirección, de los hilos de membrana de transferencia gaseosa 15. El diámetro exterior de la cuerda es de 1 mm. El paso de envoltura es de 5 diámetros del núcleo lo que se traduce en un envoltura 18 con una longitud helicoidal de 1,18 veces la longitud de la cuerda. La cuerda 10 presenta 57 metros de membrana de transferencia gaseosa 14 de PMM con un diámetro exterior de 70 micrómetros por metro de cuerda 10 de longitud. El área de superficie de las membranas de transferencia gaseosa por unidad de longitud de la cuerda es 3,04 veces el área de superficie exterior de la cuerda, calculada en base de la circunferencia de un círculo de 1 mm.

Se supone que una biopelícula sobre la cuerda 10 dispuesta sobre la base 10 presenta un grosor de 0,2 mm proporcionando un conjunto de biopelícula de membrana con un diámetro de 1,4. Las cuerdas 10 están encapsuladas en un módulo en una rejilla rectilínea con un espacio libre de 0,7 mm entre sus superficies exteriores. Con la biopelícula fijada, el espacio libre existente entre las cuerdas adyacentes en una línea es de 0,4 mm. Utilizando las molduras del módulo ZeeWeed un módulo 66 presenta 16 filas de 340 cuerdas 10 cada uno, o 5440 cuerdas 10. La longitud al descubierto de cada cuerda es de 1,9 metros proporcionando un área de biopelícula por módulo de 45,5 metros cuadrados. Utilizando un bastidor ZeeWeed, un casete con 3,7 metros cuadrados y 2,5 metros de altura presenta 64 módulos 66 y un total del área de biopelícula de superficie de 2910 metros cuadrados. El área de superficie de biopelícula es de 315 metros cuadrados por metro cúbico del volumen de casete y 766 metros cuadrados por metro cuadrado de casete.

En comparación, un módulo en forma de hoja comparable elaborada con membranas de transferencia gaseosa 14 puede tener un grosor de tejido de 1 mm con un área de superficie de transferencia gaseosa similar al área de superficie de biopelícula de 3,34. Las hojas están elaboradas formando un módulo con unos colectores verticales horizontalmente opuestos. El módulo tiene una longitud de 2 m de largo con 1,8 de longitud de membrana expuesta. Las hojas y el módulo tienen 1 m de altura. El módulo tiene una anchura de 0,3 m y puede ser operado en un tanque con una profundidad de 1,5 m. La separación del centro a centro entre hojas adyacentes es de 8 mm. El área de superficie de la biopelícula es de 250 metros cuadrados por metro cúbico de volumen de casete y 250 metros cuadrados por metro cuadrado del espacio ocupado por el casete.

Como se ilustra por la comparación expuesta, el módulo de la cuerda 10 puede tener más volumen por unidad de área de biopelícula de módulo que un módulo con forma de hoja. Así mismo, los módulos de hoja alta que se basan en burbujas para la renovación o la corrosión han sido conocidas en el contexto de las membranas de filtrado como tendentes a ofrecer un efecto chimenea de forma que las burbujas y el flujo de líquido se concentran cerca de la línea media vertical de las hojas. Esto limita la altura de las hojas. Se espera que el módulo de cuerdas 10 puedan ser más altos sin un efecto de chimenea similar, que permita una reducción adicional del espacio ocupado por el tanque y el consumo de terreno por unidad de área de biopelícula.

La descripción descrita utiliza ejemplos para divulgar la invención y también permite que cualquier persona experta en la materia lleve a la práctica la invención, incluyendo la fabricación y utilización de cualquier dispositivo o sistema y la realización de cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención se define por las reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

- 1.- Un reactor de biopelícula de membrana que comprende un módulo (66) en un tanque abierto (70), comprendiendo el módulo (66):
- a) al menos un colector (60), y
  - 5 b) una pluralidad de cuerdas (10) generalmente independientes para soportar una biopelícula, comprendiendo cada cuerda una pluralidad de hilos (8), en el que al menos uno de los hilos de cada cuerda comprende unas membranas de transferencia gaseosa de fibras huecas (14),  
estando las cuerdas (10) encapsuladas en el colector (60),  
10 en el que la pluralidad de hilos (8) está configurada para proporcionar un núcleo (12) que se extiende a lo largo de la extensión de cada cuerda, genéricamente en paralelo con un eje geométrico longitudinal de la cuerda y dos hilos en espiral enrollados alrededor del núcleo formando dos envolturas (18), uno en cada dirección, comprendiendo el núcleo (12) un hilo de refuerzo de múltiples filamentos sin retorcer (16) y un hilo de membrana de transferencia gaseosa de múltiples filamentos sin retorcer (15), comprendiendo cada envoltura (18) un hilo de refuerzo multifilamento sin retorcer (16), y  
15 en el que
  - c) el colector (60) presenta una cavidad y un orificio abierto hacia la cavidad; y
  - d) las cuerdas (10) se extienden desde el colector, las superficies externas de los extremos abiertos de las membranas de transferencia gaseosa (14) están selladas con el colector y las luces de las membranas de transferencia gaseosa están en comunicación con el orificio a través de la cavidad.
- 20 2.- El reactor de biopelícula de membrana de la reivindicación 1, en el que el al menos un hilo en espiral está enrollado alrededor del exterior del otro hilo o hilos (8) de manera continua.
- 3.- El reactor de biopelícula de membrana de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, presentando las cuerdas (10) un diámetro exterior de entre 0,3 mm y 2,0 mm.
- 4.- El reactor de biopelícula de membrana de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que las membranas de  
25 transferencia gaseosa (14) presentan unos diámetros exteriores de 200 micrómetros o menos.
- 5.- El reactor de biopelícula de membrana de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que al menos algunas de las fibras huecas comprenden una capa o región no porosa o semiporosa.
- 6.- El reactor de biopelícula de membrana de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que al menos algunas de las fibras huecas presentan un grosor de pared de 50 micrómetros o menos.
- 30 7.- El reactor de biopelícula de membrana de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la suma de las circunferencias de las membranas de transferencia gaseosa (14) de cada cuerda (10) es al menos 1,5 veces la circunferencia de un círculo que presenta el diámetro exterior de la cuerda (10).
- 8.- El reactor de biopelícula de membrana de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que las cuerdas (10) presentan unos diámetros exteriores generalmente constantes a lo largo de sus longitudes.
- 35 9.- Un proceso para el tratamiento de aguas residuales que utiliza un reactor de biopelícula de membrana de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, que comprende:
- a) proveer el reactor de biopelícula de membrana;
  - b) alimentar agua al tanque (70) del reactor de biopelícula de membrana; y
  - c) suministrar un gas al módulo (66) del reactor de biopelícula de membrana.
- 40 10.- El proceso de la reivindicación 9, que comprende además una etapa de mantenimiento de una biopelícula que cubre la pluralidad de las cuerdas (10).
- 11.- El proceso de la reivindicación 10, en el que la biopelícula es mantenida generalmente en un grosor inferior a la mitad de la separación entre cuerdas adyacentes (10).

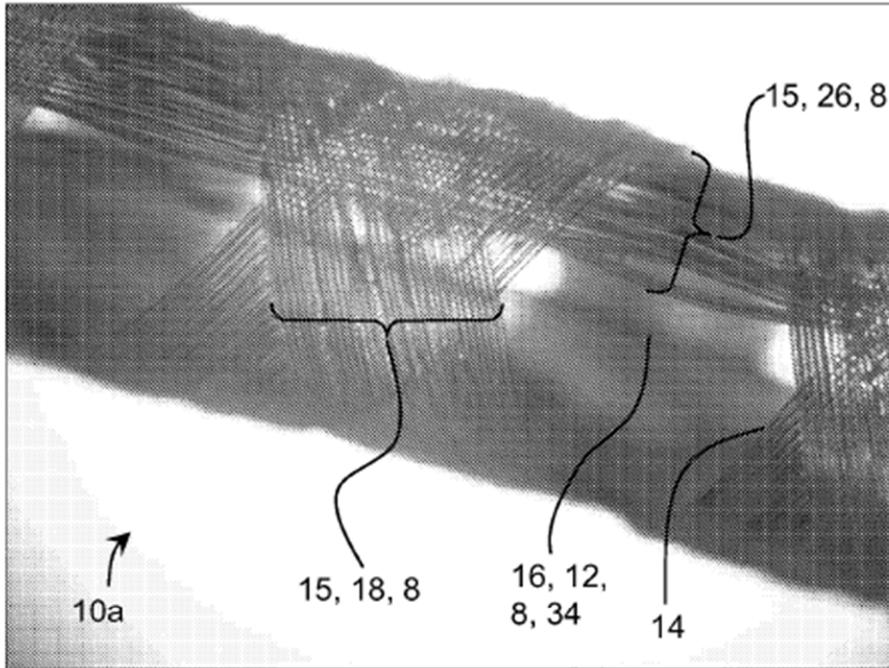


FIGURA 1

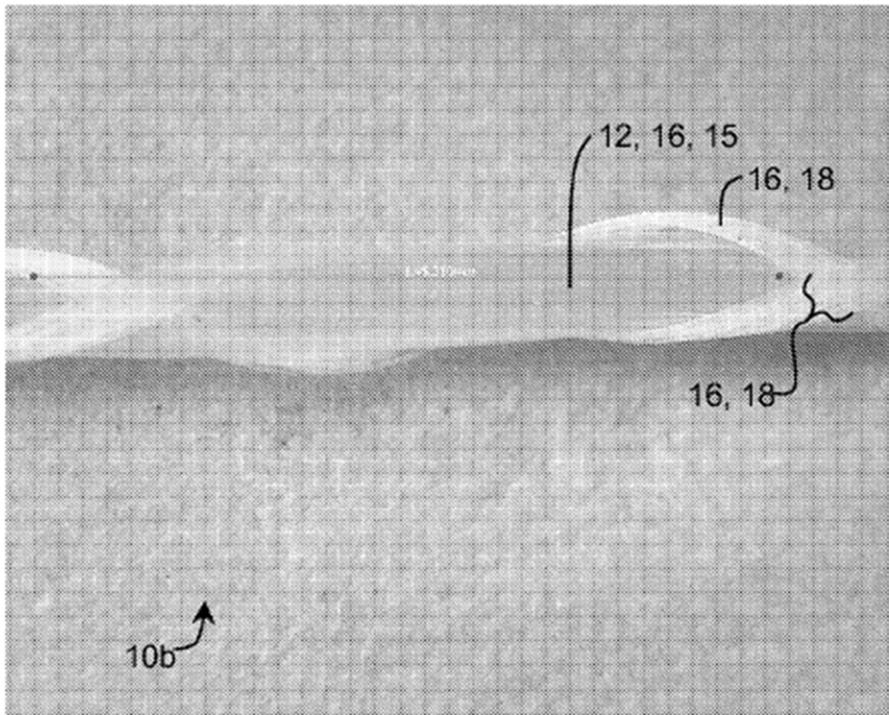


FIGURA 2

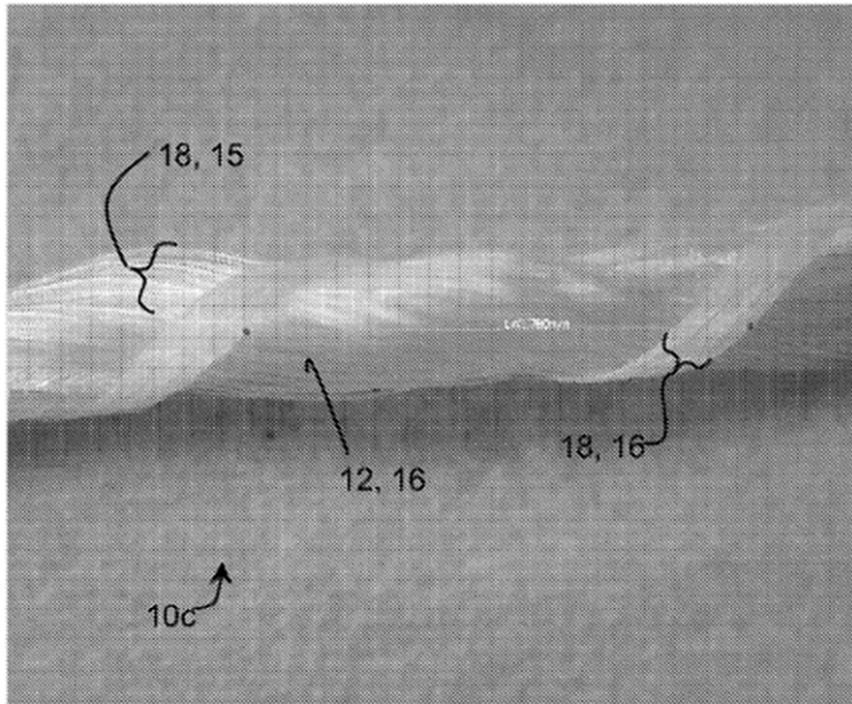


FIGURA 3

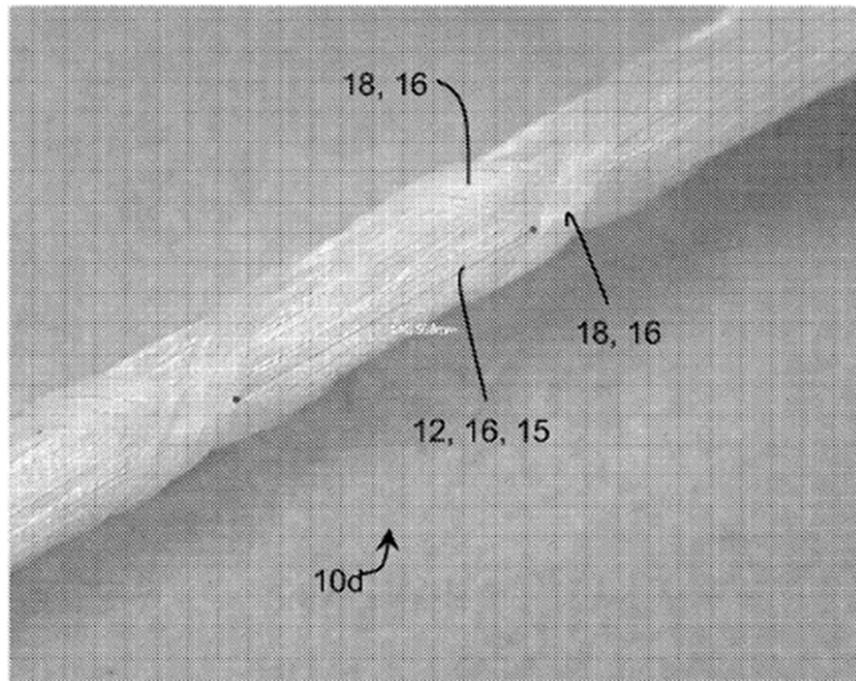


FIGURA 4

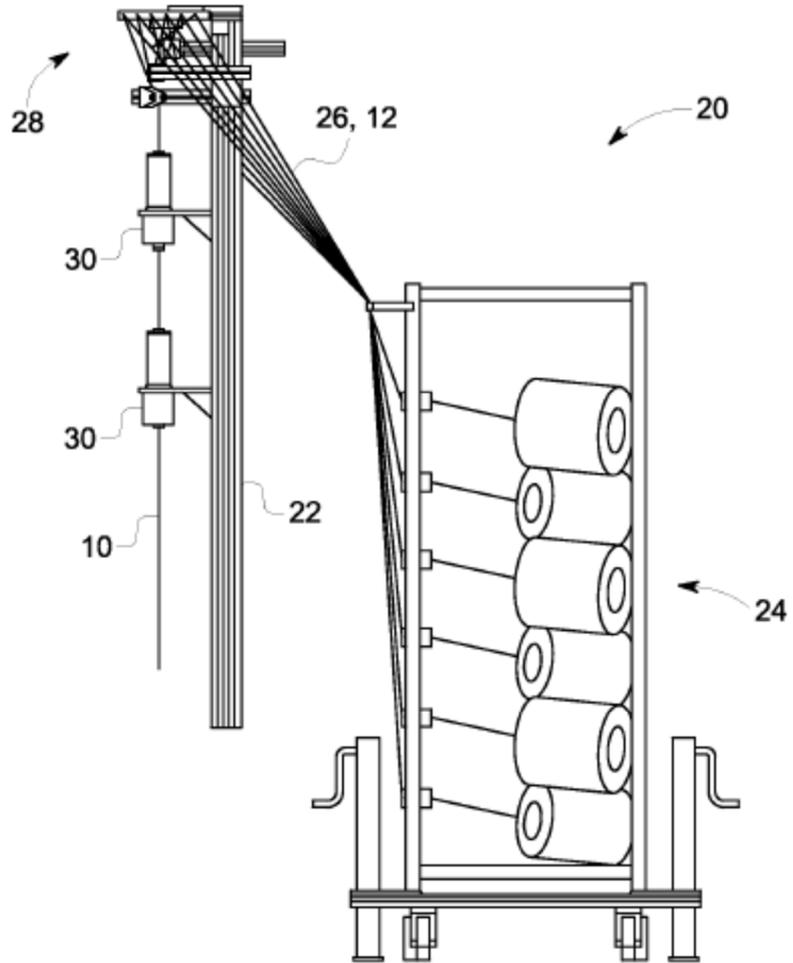


FIG. 5

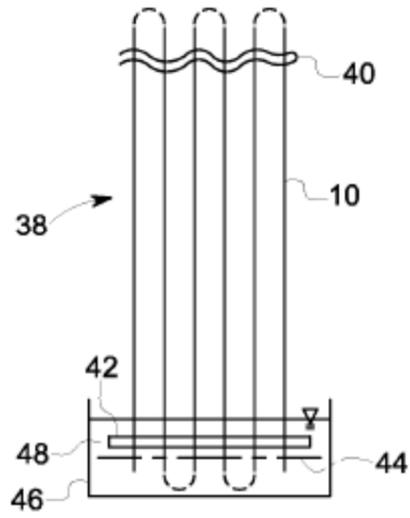


FIG. 6

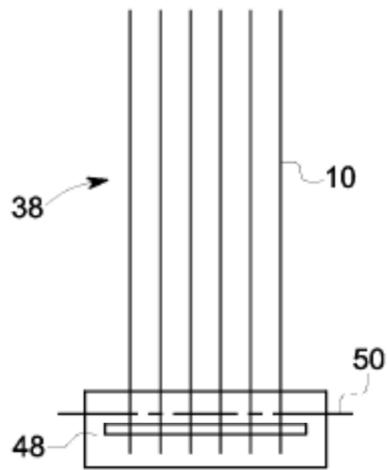


FIG. 7

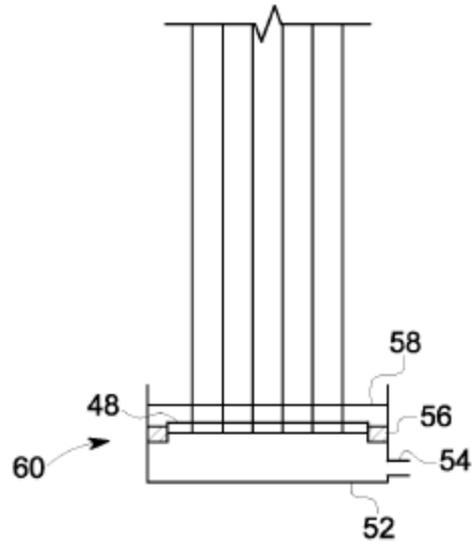


FIG. 8

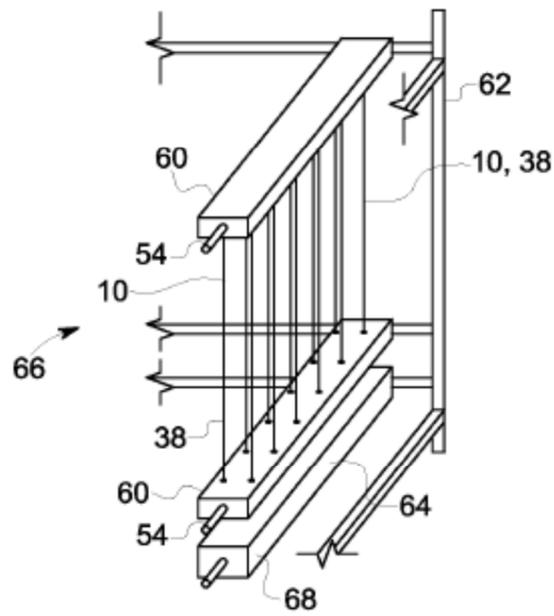


FIG. 9

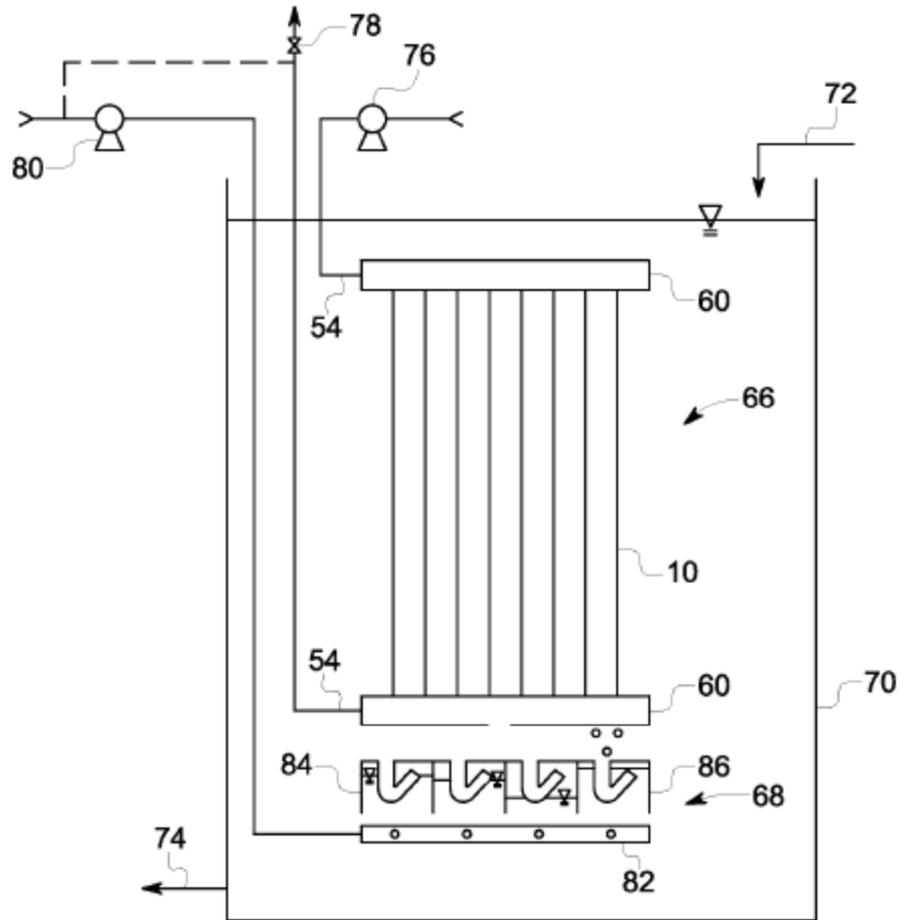


FIG. 10

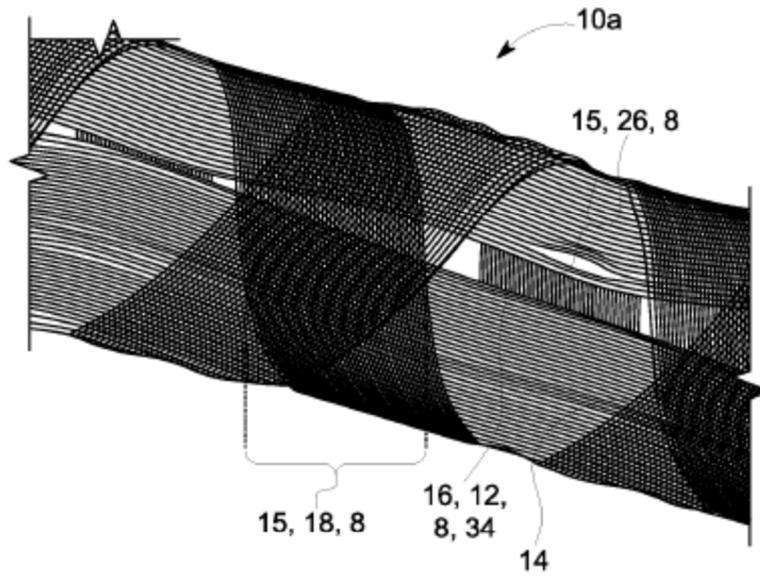


FIG. 11

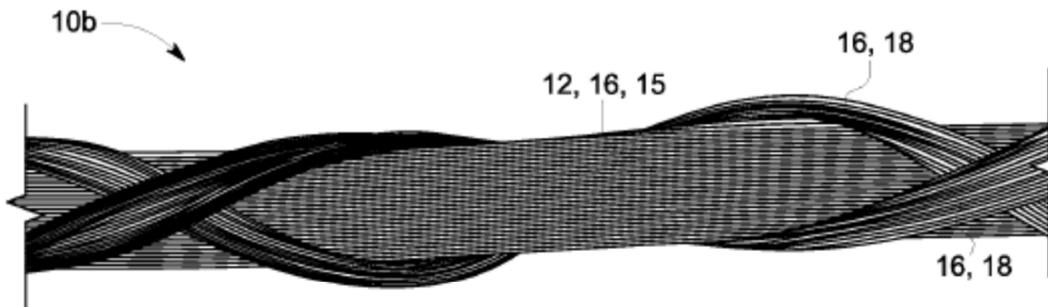


FIG. 12

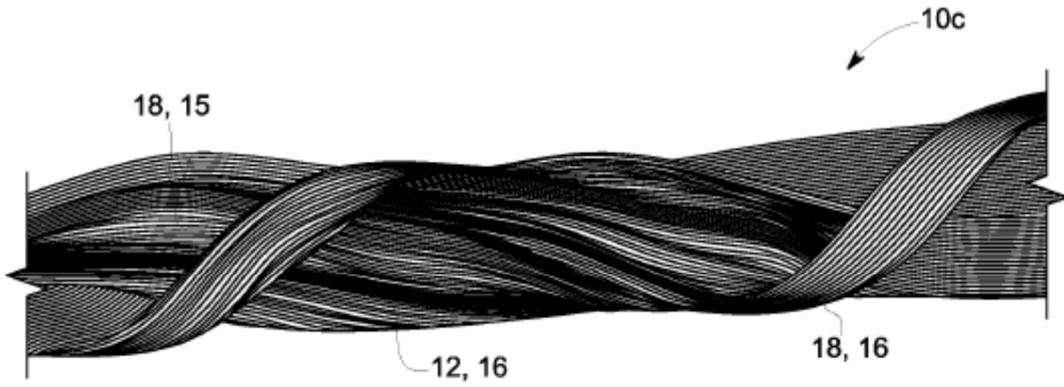


FIG. 13

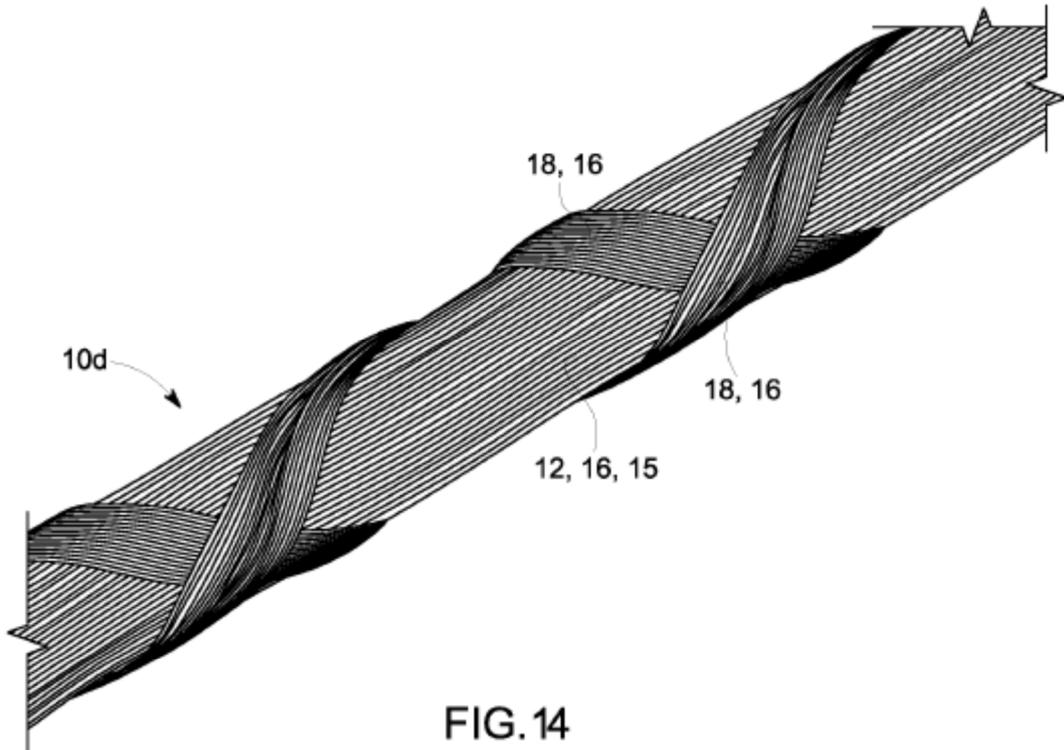


FIG. 14