

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 384 544**

51 Int. Cl.:

C02F 3/20 (2006.01)

C02F 3/10 (2006.01)

C02F 3/28 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **09790884 .2**

96 Fecha de presentación: **28.07.2009**

97 Número de publicación de la solicitud: **2328845**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **08.06.2011**

54 Título: **Reactor de biopelícula de membrana de flujo radial**

30 Prioridad:
28.07.2008 US 84250 P

73 Titular/es:
Aptwater, Inc.
3329 Vincent Road
Pleasant Hill, CA 94523, US

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
06.07.2012

72 Inventor/es:
BOWMAN, Reid H.

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
06.07.2012

74 Agente/Representante:
de Elzaburu Márquez, Alberto

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).

ES 2 384 544 T3

DESCRIPCIÓN

Reactor de biopelícula de membrana de flujo radial.

Los presentes dispositivos, sistemas y métodos se refieren a reactores de biopelícula de membrana (MBfR) mejorados para el tratamiento del agua.

- 5 El reactor de biopelícula de membrana (MBfR) fue descrito por Rittmann (Adham et al, Informe de la Fundación de Investigación AWWA p. 156 (2005): Patente US número 6.387.262). En un dispositivo MBfR típico, una matriz de membranas de fibras huecas proporciona una superficie de crecimiento para una biopelícula que puede metabolizar contaminantes presentes en una corriente efluente. El gas es introducido en el lumen de las membranas de fibras huecas, en las que se difunde a través de las paredes de la membrana para entrar en contacto con una biomasa que
- 10 crece en las superficies exteriores de las membranas de fibras huecas. El gas puede servir como un donante de electrones para reducir los contaminantes oxidados. La eficiencia de utilización del gas puede ser casi del 100%, minimizando la liberación de un exceso de gases en la atmósfera, lo cual es deseable puesto que el gas hidrógeno (H₂) inflamable se utiliza a menudo como un donante de electrones. La utilización eficiente del gas también disminuye los costos operativos.
- 15 El documento EP 10270063 desvela un contactor para la desgasificación de un líquido, incluyendo un núcleo perforado y un tejido de membrana microporosa enrollado alrededor del núcleo. El tejido incluye una fibra hueca de polimetil penteno, como una fibra de trama y un hilo de urdimbre. Una lámina tubular asegura los extremos de la fibra enrollada y un casco encierra la lámina tubular y el tejido. El casco tiene al menos una abertura para permitir el flujo de fluido a través del casco y una tapa extrema.
- 20 El documento US 2002/0020666 desvela un aparato para transferir gas a o desde un líquido, que tiene una membrana flexible, un espaciador flexible, un conducto de entrada, un conducto de salida y un sistema de sujeción no rígido. Cuando se utiliza para el tratamiento de aguas residuales, una biopelícula aeróbica se cultiva en posición adyacente a los elementos planos, una biopelícula anóxica se cultiva en posición adyacente a la biopelícula aerobia y las aguas residuales se mantienen en un estado anaeróbico. Un primer reactor para tratar las aguas residuales
- 25 tiene una sección anaeróbica, una pluralidad de Módulos de membrana de transferencia de gas, y una sección aeróbica. Una biopelícula es cultivada en la superficie de las membranas de transferencia de gas en comunicación de fluido con la sección anaeróbica.

- Aunque los dispositivos convencionales de MBfR funcionan bien en un laboratorio o en un entorno de pruebas controlado, el uso de dispositivos de MBfR en el campo es más problemático. Una elevada densidad de empaquetado mejora la eficiencia del MBfR, determinando cuántos contaminantes se pueden eliminar de las aguas efluentes en una determinada cantidad de tiempo en un dispositivo de MBfR de tamaño determinado. Sin embargo, la elevada densidad de empaquetado conduce al ensuciamiento biológico, lo que incrementa los costos operativos al reducir la eficiencia de la operación del MBfR y requiere mantenimiento del MBfR (por ejemplo, el lavado a contracorriente, desmontaje, limpieza, etc.)
- 30 Existe la necesidad de dispositivos de MBfR y sistemas que maximicen la densidad de empaquetado y al mismo tiempo reduzcan al mínimo el ensuciamiento.

Los siguientes aspectos y realizaciones que se describen y se ilustran a continuación pretenden ser ejemplares e ilustrativos, no limitativos en el alcance.

- 40 En un aspecto, se proporciona un dispositivo de reactor de biopelícula de membrana (MBfR). El dispositivo comprende un tubo de núcleo central que tiene una pared que define un lumen y una o más perforaciones en la pared que definen una región perforada, teniendo el tubo de núcleo un primer extremo abierto y un segundo extremo sustancialmente cerrado; una pluralidad de filamentos huecos, teniendo cada filamento una pared que define un lumen interior, una superficie exterior, un primer extremo y un segundo extremo; y una carcasa que tiene una cavidad, una primera tapa extrema, una segunda tapa extrema, y al menos una lumbrera de efluentes. El primer extremo abierto del tubo de núcleo está obturado en la primera tapa extrema, extendiéndose la región perforada al interior de la cavidad central de la carcasa, y en el que los extremos primeros de la pluralidad de filamentos huecos están abiertos y obturados en la primera tapa extrema y los extremos segundos de la pluralidad de filamentos huecos están abiertos y obturados en la segunda tapa extrema.
- 45 El tubo de núcleo comprende un accesorio adaptable para acoplarse con una fuente del líquido influente, para introducir el líquido influente en el interior del lumen del tubo. En otra realización, una o ambas tapas laterales primera y segunda comprenden un accesorio, para acoplarse con una fuente de gas para introducir un gas en el lumen interior de los filamentos en la pluralidad de filamentos huecos.
- 50 En otra realización, el dispositivo incluye, además, una lumbrera de drenaje en comunicación con los lúmenes de la pluralidad de filamentos huecos para drenar los inertes de los lúmenes de la pluralidad de filamentos huecos. En una realización, la lumbrera de drenaje está situada en el dispositivo en el extremo opuesto de donde el gas es introducido en los lúmenes de la pluralidad de filamentos.
- 55

En una realización, la primera tapa extrema y la segunda tapa extrema están obturadas en la carcasa.

En otra realización, los filamentos huecos están combinados con una o más fibras de urdimbre, para formar un tejido. En todavía otra realización, el tejido se enrolla en espiral alrededor del tubo de núcleo, formando capas radiales de tejido que se extienden radialmente hacia fuera desde el tubo de núcleo. En todavía otra realización, las capas radiales de tejido están separadas por un material de intercalado. En una realización adicional, la pluralidad de filamentos huecos es combinada con fibras de urdimbre y separados por un material de intercalado

En todavía otra realización, el dispositivo está orientado verticalmente estando la primera tapa extrema por debajo de la segunda tapa extrema, estando adaptada la primera tapa extrema para el ingreso del líquido influente y estando adaptada la segunda tapa extrema para el ingreso del gas.

En todavía otra realización, los filamentos huecos están fabricados de un poliéster, un triacetato de celulosa, un compuesto de polietileno y poliuretano. En realizaciones preferidas, los filamentos huecos están compuestos de polipropileno, cloruro de polivinilo, o politereftalato de etileno.

El dispositivo comprende, además, al menos una lumbrera de entrada de gas de limpieza por arrastre. En realizaciones particulares, al menos una lumbrera de entrada de gas de limpieza por arrastre se encuentra situada en una región inferior de la carcasa. En realizaciones particulares, la al menos una lumbrera de entrada de gas de limpieza por arrastre es una pluralidad de lumbreras de entrada de gas de limpieza por arrastre situadas en una región inferior de la carcasa.

En todavía otro aspecto, se proporcionan un sistema que comprende una pluralidad de los dispositivos que se han descrito, en el que los dispositivos están dispuestos en paralelo o en serie.

En todavía otro aspecto, se proporciona un método para reducir el ensuciamiento de un dispositivo de MBfR por una biomasa. El método consiste en proporcionar un dispositivo que tiene un tubo de núcleo central con una pared que define un lumen y una o más perforaciones en la pared, una pluralidad de filamentos huecos que rodean el tubo de núcleo, teniendo cada filamento una pared que define el lumen interior y una superficie exterior, y una carcasa que aloja el tubo de núcleo central y la pluralidad de filamentos huecos, introducir un influente líquido en el tubo de núcleo central, introducir un gas en los lúmenes interiores de la pluralidad de filamentos huecos, soportando el citado gas el crecimiento de la biomasa en las superficies exteriores de los filamentos huecos, permitir que el líquido influente fluya a través de las citadas una o más perforaciones para entrar en contacto con la biomasa en las superficies exteriores de los filamentos, definiendo el citado flujo de líquido influente un trayecto de flujo radial en el dispositivo, y recoger las aguas efluentes en una o más lumbreras de efluentes dispuestas en la citada carcasa, en el que el trayecto del flujo radial del líquido influente reduce el ensuciamiento del producto por la biomasa.

En una realización, una primera porción del efluente es recirculada a través del dispositivo. En otra realización el 40 - 50% del efluente es recirculado a través del dispositivo. Una segunda porción del efluente puede ser descargada como efluente tratado o ser utilizada como influente en una etapa de tratamiento adicional.

En todavía otra realización, el efluente líquido es introducido en el interior del tubo de núcleo central en un primer extremo del dispositivo y un gas es introducido en los filamentos huecos en un segundo extremo del dispositivo.

En otras realizaciones, se incluye un ciclo periódico de limpieza por arrastre, en el que un gas de limpieza por arrastre es introducido dentro del tubo de núcleo central hueco. En algunas realizaciones, un gas de limpieza por arrastre es introducido en una región inferior de la carcasa.

En algunas realizaciones, se realiza un ciclo periódico de lavado a contracorriente, en el que el líquido es introducido en al menos una lumbrera de efluente. En realizaciones particulares, un gas de limpieza por arrastre es introducido en una región inferior de la carcasa durante el ciclo periódico de lavado a contracorriente.

Además de los aspectos y realizaciones ejemplares que se han descrito más arriba, aspectos y realizaciones adicionales serán evidentes por referencia a los dibujos y por el estudio de las descripciones que siguen.

Las figuras 1A - 1E ilustran características de los dispositivos de MBfR de la técnica antes.

Las figuras 2A - 2B ilustran características del dispositivo de MBfR ejemplar de flujo radial.

Las figuras 3A - 3D muestran vistas de aspecto de los filamentos huecos, de las fibras de urdimbre, y de los materiales de intercalado.

La figura 4 muestra un diagrama esquemático de un sistema para probar el MBfR de flujo radial ejemplar.

Las figuras 5A - 5B son Tablas que muestran las características y el rendimiento de los dispositivos de MBfR ejemplares de flujo radial.

Las figuras 6A - 6D son Tablas que muestran el rendimiento de dispositivos de MBfR ejemplares de flujo radial.

La figura 7 muestra el flujo teórico de nitratos de una biopelícula en estado no en equilibrio, en función de la concentración de los nitratos.

I. Introducción

Varios dispositivos de MBfR fueron fabricados y probados para establecer una densidad de empaquetado de filamentos maximizada y para reducir al mínimo el ensuciamiento de la biopelícula. Como se describirá más adelante, se encontró que los dispositivos con un diseño de flujo radial de fluido, en el que el líquido influente entra en el centro del dispositivo para circular en una dirección radial hacia afuera para entrar en contacto con una pluralidad de filamentos huecos que soportan el crecimiento de una biomasa, proporciona la mínima suciedad de la biopelícula de los filamentos y una densidad de empaquetado deseable de los filamentos. Los aspectos de diseño y las características del MBfR de flujo radial se describirán a continuación.

II. Definiciones

Antes de describir las características del dispositivo y los métodos actuales, los términos siguientes se definen para mayor claridad. Los términos y abreviaturas no definidos deben tener su significado corriente que se utiliza en la técnica.

Como se usa en la presente memoria descriptiva, los términos "biopelícula" y "biomasa" se refiere colectivamente a organismos que crecen en la superficie exterior de los filamentos huecos en un MBfR. Estos organismos típicamente efectúan la eliminación de uno o más contaminantes presentes en el líquido influente que entra en el MBfR. Un experto en la técnica apreciará que una biopelícula o biomasa se acumula en un MBfR durante la operación, y que el actual dispositivo de MBfR soporta el crecimiento, pero no incluye, una biopelícula / biomasa.

Como se usa en la presente memoria descriptiva, el término "bioensuciamiento" se refiere al proceso mediante el cual una biopelícula / biomasa obstruye, bloquea, o restringe de otra manera el flujo de líquido y/o gas en un MBfR.

Como se usa en la presente memoria descriptiva, los términos "inertes" y "materiales inertes" se refieren colectivamente a los desechos y otros materiales que se acumulan en el lumen de las fibras huecas. Esos desechos y materiales incluyen, pero no se limitan a, materia particulada presente en el gas introducido en el lumen de fibras huecas, líquidos y solutos que se difunden en el lumen desde las superficies exteriores de las fibras huecas, organismos que crecen en el lumen de las fibras huecas, y polvo.

Como se usa en la presente memoria descriptiva, el término "intercalar" o "material de intercalado" se refiere a un material poroso, sustancialmente plano, que se utiliza para separar y mantener la separación de los filamentos huecos. Un material ejemplar es una malla abierta fabricada de plástico reciclable.

Como se usa en la presente memoria descriptiva, el término "fibra de urdimbre" se refiere en general a fibras inertes (es decir, fibras a las que no se requiere que soporten una biomasa) que se pueden combinar con filamentos huecos para separar y mantener la separación de los filamentos huecos. Las fibras de urdimbre pueden estar uniformemente espaciadas a lo largo de la longitud de los filamentos huecos, y pueden estar bajo una tensión suficiente para limitar el movimiento de las fibras huecas, lo que ayuda a mantener la separación. Fibras de urdimbre ejemplares están fabricadas de plástico reciclable.

II. Dispositivos de MBfR de flujo convencional

El problema del bioensuciamiento en los dispositivos de MBfR es bien conocido y toma la forma de (i) contrapresión elevada, (ii) ensuciamiento rápido después del reciclado y / o (ii) ensuciamiento progresivo, a pesar de reciclado regular, y variaciones de los mismos. El bioensuciamiento se caracteriza por una pérdida de presión mayor a través del dispositivo de MBfR, que en general está acompañada por un aumento en los niveles de contaminación residual. El bioensuciamiento también se puede apreciar mediante el análisis de los efluentes por el número y tipo de microorganismos presentes, por ejemplo, recuento de colonias, medición de niveles de enzimas, etc.

Los diseños de varios dispositivos de MBfR de flujo convencional se ilustra en las figuras 1A - 1C. Los dispositivos incluyen, en general, una carcasa o alojamiento 10, tapas extremas primera y segunda 12a, 12b, y una pluralidad de filamentos huecos 14 obturados en las tapas extremas. Los lúmenes de los filamentos huecos están abiertos a un flujo de gas introducido en una de las tapas extremas, tal como en la tapa extrema 12a, como se indica por las flechas 13. El líquido influente (típicamente agua contaminada) entra en la carcasa a través de una lumbrera 16 de entrada de influente y se descarga a través de una lumbrera 20 de descarga de efluente. El dispositivo de la figura 1B incluye una lumbrera 19 adicional de influente y una lumbrera 21 adicional de efluente. En esta realización, los filamentos huecos están empaquetados holgadamente en la carcasa, sin fibras de urdimbre.

Una visión más detallada de los filamentos huecos se muestra en las figuras 1D - 1E. Como se puede apreciar en la figura 1D, los filamentos individuales en la pluralidad de filamentos, tales como los filamentos 24, están encapsulados en un extremo de filamento, definiendo de esta manera un colector 26 para la distribución de gas al lumen de los filamentos. Un filamento hueco ejemplar de la técnica anterior se muestra en la figura 1E, en la que un lumen 50 está formada por una capa de poliuretano 52 de 1 µm de espesor, hidrofóbica, no porosa, emparedada entre

las paredes de polietileno micro poroso 54. La superficie exterior del filamento 58 soporta el crecimiento de una biopelícula 56 para interactuar con el agua contaminada 60.

Haciendo referencia a continuación a la figura 1C, el dispositivo que se muestra representa un intento de mejorar el flujo a través de un módulo de MBfR. Un tubo de núcleo central 30 está separado en una porción de distribución 33 y en una porción de recogida 35 por un deflector central 44. El tubo de núcleo incluye perforaciones, tales como la perforación 34, para distribuir el agua influente como sigue. El agua influente entra por una lumbrera 40 de influente, fluye a través de las perforaciones en la porción de distribución 33 del tubo de núcleo, y se pone en contacto inicialmente con la pluralidad de filamentos huecos 37 en la región inferior del dispositivo 36. El agua efluente desde la pluralidad de filamentos huecos en la región superior del dispositivo 38 entra en la porción de recogida 35 del tubo de núcleo con perforaciones 34 para recoger el agua para descarga por la lumbrera 42 de efluente.

El deflector central 44 evita que el agua influente fluya desde la porción de tubo de núcleo de distribución 30 directamente a la porción de tubo de núcleo de recogida 32, reduciendo de esta manera el contacto con los filamentos huecos. Un dispositivo similar se puede construir usando unos tubos de núcleo de distribución y de recogida separados / discretos, terminando cada uno de ellos dentro de la carcasa, en lugar de que un único tubo atravesase la carcasa con un deflector instalado, para separar las porciones de distribución y de recogida.

Los tres dispositivos de MBfR que se muestran en las figuras 1A - 1C sufren de problemas de ensuciamiento biológico. La limpieza por arrastre de aire y los elevados caudales de flujo hidráulico fueron efectivos para controlar el ensuciamiento biológico y mantener una distribución uniforme del flujo en los dispositivos de las figuras 1A - 1S, pero son ineficaces para controlar el ensuciamiento biológico en el dispositivo de la figura 1C. El dispositivo de la figura 1C produce una pérdida de presión elevada, que se atribuye a una combinación de ensuciamiento y de compresión de los filamentos contra el tubo de núcleo de recogida, que restringe el flujo de agua a través de las perforaciones en el tubo de núcleo de recogida (Adham *et al.*, *Supra*, pág 81).

II. Dispositivo de MBfR de Flujo Radial

A. Diseño

Un diseño mejorado de MBfR de flujo radial se describe ahora con referencia a las figuras 2 - 3. Con referencia inicial a la figura 2A, el dispositivo de MBfR 100 de flujo radial incluye una carcasa 110, un tubo de núcleo central perforado 130, y una pluralidad de filamentos huecos 132 fijados, por ejemplo por encapsulado, en una tapa extrema superior 144 y en una tapa extrema inferior 145. La carcasa 110 tiene una pared con una superficie interior, definiendo la pared una cavidad u orificio. La cavidad de la carcasa está adaptada para recibir en aplicación las tapas extremas primera y segunda, que opcionalmente pueden incluir una o más juntas tóricas, juntas tipo quadring, u otros tipos de juntas 142 para realizar la obturación contra la superficie interior de la carcasa.

El tubo de núcleo central comprende una región perforada 117 con una o más perforaciones en la pared del tubo. Un primer extremo del tubo de núcleo preferentemente está abierto al flujo de fluidos y / o de gas, mientras que un segundo extremo debe estar sustancialmente cerrado al líquido / gas directo que entra en el lumen del tubo a través de las perforaciones en la pared del tubo. En la realización de la figura 2A, el extremo del tubo de núcleo adyacente a una lumbrera 146 de influente está abierto para la comunicación de fluido con una fuente de suministro de fluido influente externo, y el extremo opuesto del tubo de núcleo (con respecto al dibujo, el extremo superior), en posición adyacente a la tapa extrema 144, está sustancial o completamente cerrado. La lumbrera 146 de influente puede incluir una porción del tubo de núcleo central perforado 130. Una lumbrera 148 de efluente pueden estar situada en la carcasa 110, como se muestra en la figura 2A, o en una tapa extrema, como se muestra en la figura 2B. Cuando la lumbrera de efluente se encuentra localizada en la carcasa, una pluralidad de lumbreras de efluente, tales como las lumbreras 148a, 148b, 148c, pueden estar separadas a lo largo de la carcasa. Cuando la lumbrera de efluente se encuentra localizada en una tapa, como se muestra en la figura 2B, debe estar en comunicación de fluido con la superficie interior de la carcasa 110, por ejemplo, por medio de un tubo perforado 149 que se extiende en el interior de la carcasa 110. La carcasa 110 puede estar adaptada para proporcionar un rebaje para el tubo perforado 149, de tal manera que no interfiera con la forma sustancialmente cilíndrica de los filamentos huecos, por ejemplo, el módulo, como se describirá a continuación.

La pluralidad de filamentos huecos 132 pueden ser filamentos individuales, filamentos dispuestos en agrupamientos o en haces o filamentos provistos en una "lamina tubular", en la que múltiples filamentos sustancialmente paralelos están incrustados en una lámina que puede ser doblada o enrollada para proporcionar los filamentos de MBfR en capas de una densidad deseada. Los extremos encapsulados de los filamentos pueden ser mecanizados para asegurarse que los filamentos están abiertos y disponibles para conducir el gas. En algunas realizaciones, los filamentos huecos encapsulados pueden ser retirados como una unidad modular (es decir, "módulo") de la carcasa 110 para su limpieza o sustitución.

El gas entra en los lúmenes de los filamentos huecos encapsulados a través de una lumbrera 113 de gas que se encuentra localizada en la tapa extrema 144 de la carcasa 110, mientras que los inertes (es decir, los materiales inertes) se drenan o descargan desde los lúmenes de los filamentos huecos a través de una lumbrera 114 de drenaje dispuesta en o adyacente a la tapa extrema 145. Los materiales inertes incluyen el exceso de gases y

materias particuladas presentes en el suministro de gas, líquidos y solutos que se difunden desde la superficie exterior de los filamentos en el interior del lumen de los filamentos, polvo, microorganismos y otros materiales que se acumulan en el lumen de los filamentos.

Como se ilustra en la figura 3A, la pluralidad de filamentos huecos 132 se puede combinar con una o más fibras de urdimbre 150. Las fibras de urdimbre son fibras o filamentos estructurales sustancialmente inertes que están por lo general, pero no necesariamente, orientados perpendicularmente a los filamentos huecos. Las fibras de urdimbre preferiblemente tienen cierta elasticidad para permitir que los filamentos flexionen y se expandan, aunque la cantidad no es crítica. Las fibras de urdimbre pueden estar espaciadas en intervalos de aproximadamente uno a aproximadamente seis centímetros de longitud a lo largo de la longitud de los filamentos huecos. La tensión de las fibras de urdimbre es suficiente para mantener la posición de los grupos de filamentos huecos, reduciendo al mínimo las desviaciones y el movimiento de los filamentos en condiciones de funcionamiento; sin embargo, los filamentos deben ser capaces de flexionar y extenderse. Los filamentos se pueden disponer en grupos y a continuación combinarse con fibras de urdimbre. Cada grupo puede incluir desde 2 a aproximadamente 200 filamentos.

Como se muestra en las figuras 3B - 3D, un material de intercalado 160 puede ser usado para separar los filamentos huecos individuales 132 o grupos o capas de filamentos huecos. De manera similar a las fibras de urdimbre, el material de intercalado mantiene la agrupación y la separación de los filamentos para minimizar la restricción del flujo y el ensuciamiento, reduciendo así la pérdida de presión en el dispositivo de MBfR. Capas de material de intercalado 160 pueden alternar con capas de filamentos huecos o con capas de filamentos huecos en combinación con fibras de urdimbre (por ejemplo, un tejido) para establecer y mantener una separación entre los filamentos huecos. Un material de intercalado ejemplar es un material plástico de malla abierta, como se muestra en la figura 3D.

Como se ha indicado, las fibras de urdimbre y el material de intercalado se pueden combinar en un único dispositivo de MBfR. En un dispositivo preferido, una pluralidad de filamentos huecos conectados por fibras de urdimbre forma un tejido que se enrolla alrededor de tubo central para formar enrollamientos en espiral o capas de tejido. Las capas de tejido en espiral están separadas por un material de intercalado o de separación, como se ilustra en las figuras 3B - 3C.

B. Operación

En operación, el agua influente contaminada entra en el dispositivo de MBfR de flujo radial a través de la lumbrera de influente y a continuación, fluye en una dirección radial hacia fuera, es decir, desde el tubo de núcleo perforado a la superficie interior de la carcasa. El agua influente entra en contacto con las superficies exteriores de los filamentos huecos con lo que se forma una biomasa (no mostrada). Uno o más organismos presentes en la biomasa afectan la eliminación de los contaminantes presentes en el agua influente, lo que produce aguas efluentes con niveles de contaminantes reducidos.

El agua efluente se recoge en o cerca de la superficie interior de la carcasa, en la que la presión del agua influente fuerza al agua efluente a través de una o más lumbreras de descarga. Cualquier cantidad de agua efluente puede ser descargada del sistema como producto efluente o recirculada a través del dispositivo de MBfR, por ejemplo, para una exposición adicional a los filamentos y a la biomasa.

El gas es alimentado en el lumen de los filamentos huecos a través de una lumbrera de gas y los inertes se recogen desde los otros extremos de los filamentos para la descarga a través de una lumbrera de drenaje. La mayor parte del gas se difunde a través de las paredes de los filamentos huecos para ser utilizado por la biomasa que crece en la superficie exterior de los filamentos. El gas puede ser hidrógeno, oxígeno o dióxido de carbono, dependiendo del o de los organismo (s) presentes y de las etapas metabólicas realizadas.

El dispositivo puede incluir, además, una o más lumbreras de entrada de gas de limpieza por arrastre, tal como la lumbrera 115 que se muestra en la figura 2A, para introducir gas para limpiar por arrastre las superficies exteriores de los filamentos huecos. La lumbrera de entrada de gas de limpieza por arrastre pueden estar localizada en una región inferior de la carcasa o en la tapa extrema inferior, de tal manera que el gas desde la lumbrera limpia por arrastre la superficie interior de la carcasa y las superficies exteriores de los filamentos. El gas de limpieza por arrastre puede ser introducido durante la operación normal o durante el lavado a contracorriente, tal como se describirá más adelante. Una lumbrera de entrada adicional de gas de limpieza por arrastre (no mostrada) puede estar situada en o cerca de la lumbrera de influente, para introducir gas para limpiar por arrastre las superficies exteriores de los filamentos huecos por medio de flujo radial de gas. Un gas de limpieza por arrastre ejemplar es el nitrógeno, aunque es probable que otros gases obtengan resultados satisfactorios. Puesto que la limpieza por arrastre normalmente implica la liberación de gases a la atmósfera, el uso de gases inflamables o tóxicos es menos deseable. La introducción del gas de limpieza por arrastre puede ser denominada como ciclo de limpieza por arrastre. El dispositivo de MBfR puede incluir, además, cualquier número de lumbreras adicionales para introducir reactivos gaseosos o líquidos.

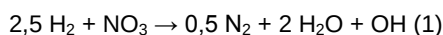
C. Pruebas

Un diagrama de un sistema de pruebas para evaluar el rendimiento del dispositivo de MBfR de flujo radial se muestra en la figura 4. El sistema incluye un MBfR de flujo radial 200, una bomba de recirculación 210 en una configuración de relleno con alimentación automática con un tanque de alimentación 220. Un sistema de suministro de hidrógeno 250, un sistema de suministro de nitrógeno 255, y un sistema de suministro de dióxido de carbono 260 están indicados. Una línea de descarga de efluente con lumbrera de toma de muestras 290 permite que se tomen muestras para su análisis. El agua que se debe descontaminar se bombea en el tubo de núcleo perforado (véase la Figura 2A) en el dispositivo de MBfR 200, desde el cual fluye radialmente sobre los filamentos huecos, se recoge en la carcasa, y se descarga a través de una o más lumbreras de descarga de efluente.

Dos válvulas de tres vías 270 están colocadas en el sistema para redirigir el flujo de agua a las lumbreras de descarga de efluente para revertir la dirección del flujo. En la dirección inversa del flujo, el agua fluye desde la lumbrera de descarga de efluente, limpia por arrastre las superficies exteriores de los filamentos huecos, y se recoge en el tubo de núcleo perforado, con lo que lava a contracorriente los filamentos huecos. El lavado a contracorriente se realiza en general de una a seis veces al día para reducir la contrapresión (pérdida de presión) a través del dispositivo de MBfR. Después del lavado a contracorriente, la pérdida de presión en el dispositivo de MBfR vuelve a ser de 6,895 – 13,79 kPa (1 -2 psig) nominal.

El sistema de pruebas estaba equipado con un sistema de suministro de nitrógeno 255 y varias (por ejemplo, cuatro) lumbreras de entrada / inyección de nitrógeno 256, 257. Las lumbreras de entrada / inyección de nitrógeno 255 situadas alrededor de la circunferencia inferior del dispositivo de MBfR 200 eran para la limpieza por arrastre de la carcasa y la superficie exterior de los filamentos huecos, reduciendo de esta manera la cantidad de biomasa y la pérdida de presión en el dispositivo de MBfR 200. Una lumbrera de inyección de nitrógeno 257 situada en la línea de entrada que alimenta el tubo de núcleo perforado del MBfR 200, era para seguir limpiando por arrastre los filamentos, por inyección radial de gas nitrógeno. La limpieza por arrastre de gas se realiza con una frecuencia suficiente para evitar la acumulación excesiva de biomasa, la cual produce una pérdida de presión en el dispositivo de MBfR. El sistema de pruebas está equipado con una válvula de venteo de separación de gas 295 para ventear el nitrógeno utilizado para la limpieza por arrastre, así como para ventear el nitrógeno producido por la reducción del nitrato. Otros gases inertes, o incluso aire, se pueden utilizar para la limpieza por arrastre.

El sistema de pruebas estaba equipado, además, con un sistema de suministro de dióxido de carbono 260 y una lumbrera de inyección de dióxido de carbono (no mostrada). El dióxido de carbono se puede inyectar para modular (es decir, disminuir) el pH en el interior del MBfR 200 o para proporcionar una fuente de suministro de carbono para los microorganismos autótrofos. Por ejemplo, como se muestra en la Ecuación 1, la reducción autotrófica de nitratos produce hidróxido (OH). El dióxido de carbono puede reaccionar con el hidróxido para producir bicarbonato. La cantidad de dióxido de carbono añadido es típicamente una función de la cantidad de nitratos reducidos, mientras se mantiene el pH en el interior del MBfR en aproximadamente 7 - 8.



D. Resultados

Para probar la eficacia del diseño del dispositivo de MBfR de flujo radial, fueron preparados cuatro dispositivos de flujo radial utilizando diferentes materiales y configuraciones de filamentos huecos. Tres de los "módulos" utilizaron filamentos de triacetato de celulosa (CTA) y uno utilizó filamentos de polietileno / poliuretano compuesto (CPP). Además de los diferentes filamentos huecos, los dispositivos ejemplares utilizaron diferentes fibras de urdimbre para soportar los filamentos huecos. Las especificaciones de cada uno de los cuatro módulos (Módulo 1 - 4) se muestran en la tabla en la figura 5A.

1. Módulo 1

El Módulo 1 utilizó una fibra de CTA con una densidad de empaquetado del 45% y un área superficial de 43,7 m² (figura 5A). Un haz de filamentos apretados se produjo por el alto número de fibras de urdimbre estrechamente entrelazadas. Un dispositivo de MBfR que contenía el Módulo 1 fue operado durante 63 días, con lavado a contracorriente diario y sin la limpieza por arrastre con nitrógeno. Los datos de flujo de nitratos (NO₃ - N mg/m²/día) y de pérdida de presión (psi) se representan en la figura 6A. El flujo de nitratos y la pérdida de presión se incrementaron durante los primeros treinta días. El flujo de nitratos alcanzó un valor máximo de 1,004 (NO₃ - N mg/m²/día), pero no alcanzó un valor de estado estacionario. El análisis posterior demostró que la pérdida de presión se debía a la formación de la biomasa, que estaba distribuida de manera desigual en todo el módulo. El color marrón claro que caracterizaba a la biomasa se podría ver desde el exterior del módulo, con una cantidad reducida en el área alrededor de las lumbreras de descarga.

El Módulo 1 tenía un total de 27 vueltas / capas de filamento. Al desenrollar el módulo se reveló una gran cantidad de biomasa entre las capas de 4 -17, concentrada aproximadamente en la capa 8 (contadas a partir de las capas exteriores). El procedimiento de lavado a contracorriente parecía mantener el control de la biomasa en las capas exteriores del módulo, pero no en las capas interiores, que se obstruyeron con biomasa.

2. Módulo 2

El Módulo 2 utilizó filamentos de CTA con una densidad de empaquetado inferior (por ejemplo, 20%) con una superficie proporcionalmente menor de 19,4 m² (figura 5A). El Módulo 2 fue operado durante 51 días, con lavado a contracorriente a diario, pero sin arrastre con nitrógeno. El flujo de nitratos parecía alcanzar un nivel de estado estacionario de aproximadamente 490 NO₃ - N mg/m²/día después de veinte días y a continuación descendió ligeramente hasta que el módulo fue sacado de operación (figura 6B). El flujo de nitratos promedio fue de 432 (NO₃ - N mg/m²/día). La presión se incrementó constantemente en el tiempo, pero no con la extensión que se observó en el Módulo 1.

Un análisis posterior del módulo 2 después de que fuese retirado de la carcasa reveló que la biomasa no estaba distribuida de manera uniforme. Como era el caso con el Módulo 1, la biomasa en el centro del haz de fibras era más densa que en la superficie.

3. Módulo 3

El Módulo 3 utilizó filamentos de CPP con una densidad de empaquetado del 20% y tenía una superficie de 17,9 m² (figura 5A). Los filamentos de CPP tenían un diámetro ligeramente más pequeño (300 micrómetros) que los filamentos de CTA utilizados en los Módulos 1, 2 y 4 (330 micrómetros). El Módulo 3 no tenía fibra de urdimbre y las fibras huecas estaban muy holgadas. Como más arriba, el módulo fue lavado a contracorriente a diario, pero no recibió limpiezas de arrastre con nitrógeno.

La pérdida de presión en el Módulo 3 tenían un patrón diferente al observado con los Módulos 1 y 2. En particular, la pérdida de presión fue nominal durante los primeros 30 días de operación, y a continuación aumentó rápidamente a 20,685 kPa (3 psi) y se redujo a 6,895 kPa (1 psi) (figura 6C). El flujo de nitratos disminuyó con el incremento de la presión y siguió disminuyendo incluso mientras la presión se mantenía constante, alcanzando un máximo de 500 NO₃ - N mg/m²/día después de 30 días de operación, y un promedio de 315 (NO₃ - N mg/m²/día). La canalización del agua en el interior del módulo era visible a través de la carcasa, en algunos casos haciendo que el agua circulase directamente desde el tubo de núcleo a la descarga. Un lavado a contracorriente extensivo e inyección de nitrógeno en la carcasa no redujeron la canalización. El Módulo 3 fue operado durante 68 días antes de ser retirado del servicio.

4. Módulo 4

El módulo 4 utilizó los mismos filamentos de CTA utilizados en los módulos 1 y 2. El empaquetado de las fibras de urdimbre en el módulo 4 era intermedio entre el de los módulos 1 y 2 (figura 5A). El propósito de hacer más holgada la fibra de urdimbre en el módulo 4 era proporcionar un espacio para que la biomasa creciese en el exterior de la fibra hueca, mientras que las fibras de urdimbre proporcionaban la tensión suficiente para asegurar la distribución de flujo uniforme y evitar la canalización. La densidad de empaquetado de fibras fue del 45%, con una superficie de tan sólo 12,3 m², debido a un diámetro de módulo general reducido. El propósito del módulo de diámetro reducido era permitir la limpieza completa de la biomasa de las fibras. El módulo 4 fue lavado a contracorriente dos veces al día durante 10 minutos durante la operación. Además, hubo un rociado de nitrógeno sobre la carcasa y sobre el tubo de núcleo, según fue necesario para lavar los filamentos.

El flujo de nitratos en el Módulo 4 se estabilizó después de 80 días, aunque no pareció alcanzar un estado de equilibrio (figura 6D). La pérdida de presión en el módulo 4 se estabilizó en 13,79 kPa (2 psi) después de 60 días de operación, y después aumentó a 34,475 kPa (5 psi). El Módulo 4 fue retirado de la carcasa en el día 104, se lavó con agua, y a continuación regresó a la operación. El flujo de nitratos volvió a ser 800 NO₃ - N mg/m²/día en 8 días y continuó aumentando, acompañado por una pérdida de presión, probablemente debido a una acumulación de biomasa entre los filamentos y la carcasa, que fue más profunda que antes del desmontaje y de la limpieza. La limpieza por arrastre con nitrógeno no pudo eliminar la biomasa acumulada. En el día 153, el Módulo 4 se retiró nuevamente de la carcasa y se lavó, momento en el cual varios filamentos se rompieron inadvertidamente, lo que produjo una fuga de hidrógeno en la carcasa y la terminación del estudio del módulo 4. El flujo medio de nitratos del Módulo 4 fue de 866 (NO₃ - N mg/m²/día) durante todo el tiempo que estuvo operando.

El rendimiento del Módulo 4 fue mejor que el de los Módulos 1, 2 y 3 en términos de flujo de nitratos, pérdida de presión, y tiempo total de tiempo de funcionamiento (a pesar del daño a los filamentos). El flujo promedio durante los 202 días en los que el Módulo 4 estuvo operando fue de 866 NO₃ - N mg/m²/día, que es el doble que el de los otros módulos probados. Un resumen de las condiciones de operación promedio de los Módulos 1 - 4 se muestra en la Tabla en la figura 5B.

E. Conclusiones

Estos resultados demuestran que un MBfR de flujo radial puede conseguir un flujo de nitratos superior con una menor pérdida de presión que los otros reactores MBfR informados. Aspectos importantes del diseño de los dispositivos de MBfR de flujo radial incluyen (i) el grosor del haz de filamentos y (ii) la tensión de las fibras de urdimbre. Aunque la densidad de empaquetado también es importante, el Módulo 2, que tenía una densidad de empaquetado del 20%, demostró solamente una ligera mejoría en el flujo de nitratos con respecto al Módulo 1, que

tenía una densidad de empaquetado del 45%. La importancia de las fibras de urdimbre está claramente demostrada por la canalización observada utilizando el Módulo 3.

En general, el pH en el dispositivo de MBfR se debe mantener en el rango de 8 a 9 para soportar la biopelícula. Este rango de pH se obtiene fácilmente por medio de la adición de dióxido de carbono al MBfR. Todos los MBfR probados requieren procedimientos de limpieza periódica para reducir la cantidad de biopelícula acumulada. Los mejores resultados se obtuvieron utilizando una combinación de lavado a contracorriente, aspersión de gas nitrógeno, y desmontaje ocasional y limpieza.

Volviendo al tema de la eficiencia, la Tabla que se muestra en la figura 7 muestra el flujo teórico de nitratos para una biopelícula en estado no estable en función de la concentración de nitratos en el líquido a granel (S en mg - N / L) y el grosor de la biopelícula (Lf en μm). Para bajas concentraciones de nitratos (es decir, $< 0,2 \text{ mg -N / L}$), el flujo teórico de nitratos es de $850 \text{ a } 1.000 \text{ mg - N / m}^2/\text{día}$ (suponiendo que no hay límite a la disponibilidad de hidrógeno). Como se muestra en la figura 6D, el Módulo 4, con un diseño de tubo de núcleo interno, alcanzó el límite teórico de flujo para una concentración de nitratos baja en el MBfR durante gran parte de su operación, lo que demuestra la eficiencia de los dispositivos de MBfR de flujo radial.

Experimentos adicionales utilizando un MBfR de flujo radial demostraron que se podría conseguir una eliminación de contaminantes mejorada mediante el reciclado de una porción (por ejemplo, el 40 - 50%) del efluente del MBfR retornando a la lumbrera de influente del MBfR. Una explicación de este resultado es simplemente que una porción del agua es expuesta dos veces a la biopelícula, permitiendo que la biopelícula elimine más contaminantes del efluente final. Sin embargo, otra teoría es que la mezcla de "agua tratada" con "agua no tratada" diluye la cantidad total de oxígeno disuelto en el agua influente, fomentando que la biopelícula utilice nitrato, en lugar de oxígeno, como aceptor de electrones. Se espera que otros métodos para diluir o eliminar el oxígeno del agua influente produzcan resultados similares.

Sin estar limitado a una teoría, se cree que el diseño de flujo radial mejora la velocidad y la uniformidad del flujo del influente sobre los filamentos huecos recubiertos de biopelícula, aumenta la eficiencia de eliminación de contaminantes, minimiza el bioensuciamiento, y mejora la eficiencia de la limpieza por arrastre periódica. Varios de los diseños de MBfR fueron probados empíricamente y los resultados demostraron que el dispositivo de MBfR de flujo radial fue superior a los MBfR convencionales con otras configuraciones de flujo.

III. Materiales para su uso en filamentos huecos, fibras de urdimbre, y materiales de intercalado

A. Filamentos huecos

Los filamentos huecos utilizados en el dispositivo ejemplar estaban fabricados de triacetato de celulosa (CTA) teniendo un diámetro exterior de aproximadamente $300 \mu\text{m}$ y un diámetro interior de aproximadamente $150 \mu\text{m}$. Sin embargo, otros materiales, incluyendo el poliéster, polietileno, polipropileno, poliuretano o cloruro de polivinilo, se pueden utilizar en el dispositivo de flujo radial.

Una clase de compuestos útiles para la producción de filamentos huecos para su uso en dispositivos de MBfR es el poliéster. Los ésteres son una clase de compuestos orgánicos tradicionalmente formados por la condensación de un alcohol y un ácido orgánico. Cuando el ácido es un ácido carboxílico, el éster resultante tiene la estructura $\text{R}_1 - \text{C}(=\text{O})\text{OR}_2$, en la que R_1 y R_2 son grupos H o una miríada de grupos funcionales, independientemente. Los ésteres también pueden formar a partir ácido fosfórico, sulfúrico, nítrico, bórico, benzoico, y otros ácidos. Los ésteres cíclicos son conocidos como lactonas.

Los ésteres participan en enlaces de hidrógeno como aceptadores del enlace de hidrógeno. Sin embargo, los ésteres no funcionan como donantes de hidrógeno. Esto permite a los grupos ésteres formar enlaces de hidrógeno con muchos otros grupos funcionales, mientras impiden que se formen enlaces de hidrógeno entre los grupos de ésteres. Los ésteres son en general hidrófobos, aunque la naturaleza de los grupos R_1 y R_2 afecta a las características de un éster en particular.

El poliéster es un polímero de uno o más monómeros de éster preseleccionados, típicamente producidos por esterificación azeótropa, transesterificación alcohólica, acidificación (es decir, el método del HCl), el método de sililo de acetato de sililo, o el método de apertura de anillo, y las variaciones de los mismos, en función del poliéster particular. El poliéster es ampliamente utilizado en la fabricación de productos de consumo, y sus propiedades mecánicas son bien conocidas.

Los poliésteres incluyen, pero no están limitados a, politereftalato de etileno (PET), politereftalato de trimetileno (PTT), politereftalato de butileno (PBT), polinaftalato de etileno (PEN), politereftalato de dimetil ciclohexileno (PCTA), policarbonato (PC), polinaftalato de butileno (PBN), y ácido poliláctico (PLA). Los poliésteres pueden ser homopolímeros o heteropolímeros. Como se usa en la presente memoria descriptiva, los heteropolímeros incluyen copolímeros. Un copolímeros de poliéster común es el 1, 4 - ciclohexanedimetanol (CHDM). Por ejemplo, el PCTA es un copolímero de tres monómeros, que son el ácido tereftálico, el ácido isoftálico y el CHDM. Aunque algunas industrias utilizan los términos "poliéster" y "PET" casi indistintamente, el término "poliéster" se refiere a la clase completa de compuestos.

Muchas de las ventajas del poliéster son más evidentes cuando las fibras son hiladas o tejidas en cabos, cuerdas, telas, etc. Por ejemplo, el poliéster es ampliamente utilizado en la industria textil. El poliéster más utilizado es el PET (o PETE, que existe en formas amorfas (transparentes) y semi -cristalinas (blanco u opaco) y es transformado fácilmente en fibras y láminas. El PET y otro poliéster de un alcohol dihidrico y del ácido tereftálico son utilizados comúnmente para hacer cuerdas.

Además de ser baratos de producir, los poliésteres son particularmente fuertes, elásticos, resistente a la abrasión y resistentes al estiramiento y a la contracción. Los textiles de poliéster son resistentes a las arrugas, resistente a los mohos, de secado rápido, y retienen los pliegues y arrugas estabilizados por calor. El poliéster muestra una excelente resistencia a los agentes oxidantes, disolventes de limpieza y agentes tensioactivos. Aunque son resistentes a los rayos solares, se suele añadir unos estabilizadores de UV para el uso al aire libre o expuestos a la luz UV.

Los poliésteres, como la mayoría de los termoplásticos, son reciclables y pueden ser poliéster virgen, poliéster reciclado, poliéster post -consumo, monómeros reciclados, o combinaciones y variaciones de los mismos. Algunos poliésteres, incluyendo el PET, ofrecen la ventaja adicional de que sólo contienen carbono, oxígeno e hidrógeno (es decir, sin azufre, fósforo, nitrógeno, etc.), lo que los convierte en candidatos para la incineración.

Filamentos huecos de poliéster ejemplares están fabricados de poliésteres de fusión hilable, tales como el PET, que se funde y se presiona a través de un orificio de una hilera, se enfria en agua o en una corriente de aire, se estira en uno o más pasos en combinación con calentamiento, y a continuación se enrolla en un carrete utilizando una bobinadora. Los filamentos huecos son tubos de poliéster huecos flexibles, finos, efectivamente "sin fin", que se puede cortar con cualquier longitud, según sea necesario. Los filamentos tienen una superficie exterior que típicamente está expuesta a las aguas residuales, y una superficie interior para interactuar con el gas aplicado por aspersión. La superficie interior define un espacio interior hueco.

El diámetro preferido de los filamentos huecos para su uso en los MBfR de flujo radial depende de la realización particular. Los filamentos huecos podrían ser de diámetro menor de 500 µm, o incluso de diámetro menor de 100 µm. Los filamentos pueden ser de diámetro incluso menor de 50 µm, menor de 20 µm, o incluso menor de 10 µm. Los filamentos huecos pueden tener un diámetro uniforme o ser heterogéneos con respecto al diámetro. Allí donde los filamentos son de diámetro heterogéneo, el diámetro puede encontrarse dentro de un rango preseleccionado

Los filamentos huecos podrían ser hilados en haces para formar hilos multifilamento, que a continuación son montados en módulos para su uso en un biorreactor, que se describirá. Los filamentos de menos de 10 dtex (es decir, decitex = 1 gramo por 10.000 metros) son los preferidos para los hilos, mientras que los filamentos de más de 100 dtex se utilizan típicamente como monofilamentos. Los filamentos intermedios se utilizan en una u otra forma. Ambos mono y multifilamentos se pueden utilizar como urdimbre o ribetes en tejidos técnicos.

La difusión del gas a través de una membrana de polímero es descrita en general por las leyes de difusión de Fick. El coeficiente de solubilidad depende de la combinación particular de polímero - gas y de la ley de Henry. La penetración de gases de bajo peso molecular en los polímeros de goma (por debajo de sus temperaturas de transición vítrea) a presiones moderadas sigue las leyes de Fick y la ley de Henry para los diferentes modos de sorción (es decir, absorción, adsorción, atrapamiento en microporos, agrupamiento y agregación). Klopffer, M. H. y Flaconnectle, B., Publicación Oil & Gas Science and Technology - Rev. IFP, 56, 2001, Número 3).

La presión de rotura de un filamento hueco se puede calcular utilizando la ecuación 2:

$$P = T \times (OD^2 - ID^2) / (OD^2 + ID^2) \quad (2)$$

en la que P es la presión de rotura, T es la tenacidad, y OD y ID son el diámetro exterior e interior, respectivamente. OD e ID son variables preseleccionadas y la tenacidad es una constante asociada con un polímero en particular.

Los diámetros de filamentos preferidos para su uso como se ha descrito son desde aproximadamente 50 µm a aproximadamente 5.000 µm (OD), o incluso desde aproximadamente 0,10 mm a aproximadamente 300 µm. Un diámetro preferido es de aproximadamente 300 µm. La forma óptima de los filamentos huecos es redonda, aunque se espera que las formas irregulares produzcan resultados satisfactorios. La densidad consistente es preferida pero no requerida. Los valores preferidos de la tenacidad (T) son desde aproximadamente 10 a aproximadamente 80 cN / tex, o incluso desde aproximadamente 20 a aproximadamente 60 cN / tex.

El porcentaje de volumen vacío (% V) puede ser calculado por medio de la ecuación 3:

$$\%V = T \times (\text{área interior}) / (\text{área exterior}) \times 100 \quad (3)$$

Un rango aceptable para el volumen vacío es desde aproximadamente 1% a aproximadamente 99%, mientras que un rango preferido en algunas realizaciones es desde aproximadamente 25% a aproximadamente 50%.

B. Fibras de urdimbre y materiales de intercalado

Las fibras de urdimbre y materiales de intercalado se pueden fabricar de triacetato de celulosa, poliéster, polipropileno, polietileno, poliuretano, y compuestos de los mismos. La fibra de urdimbre debe tener un diámetro exterior de aproximadamente 100 - 500 µm, de aproximadamente 150 - 450 µm, o de aproximadamente 200 - 400 µm. En un ejemplo, la fibra de urdimbre es de poliéster texturizado 150 denier con un diámetro exterior de aproximadamente 300 µm y un diámetro interior de aproximadamente 150 µm. Otras dimensiones y un intervalo poliéster texturado desde aproximadamente 75 a aproximadamente 300 denier deberían producir resultados similares.

De manera similar, el material de intercalado puede ser fabricado de un material plástico inerte tal como el triacetato de celulosa, poliéster, compuestos de polietileno y poliuretano, de polietileno o polipropileno, etc. Los materiales de intercalado deben ser lo suficientemente porosos para permitir el flujo radial en un MBfR sin restricciones significativas. Los materiales de intercalado pueden estar fabricados de fibras tejidas, láminas perforadas, o de materiales expandidos. Un material de intercalado ejemplar es una red de rombos de polipropileno extruido, como se muestra en la figura 3D. Una red en particular tiene un tamaño de orificio nominal de 2,79 mm x 2,79 mm (0,110 pulgadas x 0,110 pulgadas), un espesor de 1,168 mm (0,046 pulgadas), y un porcentaje de abertura nominal del 66%.

IV. Selección de los microorganismos

El dispositivo de MBfR ha sido ejemplarizado para la reducción de nitratos utilizando bacterias autotróficas y un gas de hidrógeno como donante de electrones, como se ha descrito más arriba. Sin embargo, será evidente de la revelación que el dispositivo se puede utilizar con muchos tipos de contaminantes y microorganismos adecuados. Contaminantes oxidados incluyen, pero no están limitados a, nitrato, nitrito, perclorato, clorato, bromato y una amplia gama de contaminantes orgánicos halogenados, etc.

La eliminación de los contaminantes nitrogenados se realiza normalmente por bacterias desnitrificantes o "nitrificadoras", que incluyen dos grupos principales de bacterias aerobias, bacterias quimiolitotróficas, bacterias oxidantes de amoníaco que oxidan el amonio a nitrito y bacterias oxidantes de nitrito (NOB) que oxidan el nitrito a nitrato. El primer proceso es efectuado por un número de anaerobios facultativos que se encuentran normalmente en el suelo. El segundo proceso, a veces denominado como desnitrificación "verdadera", es efectuado por un grupo más selecto de bacterias ejemplarizadas por *Paracoccus denitrificans*, *Alcaligenes eutrophus*, *Alcaligenes paradoxus*, *Pseudomonas pseudoflava*, *Vibrio dioxhalaticans* Cuznesove B -1168, *Acinetobacter thermotolerantus*, *Idionella dechloratans*, GR -1 (una cepa identificado como perteneciente a la β - *Proteobacteria*) *Paracoccus denitrificans*, *Wolinella succinogenes*, y *Ralstonia eutropha*, que pueden todas utilizar hidrógeno como donante de electrones. La *Ralstonia eutropha* es una bacteria preferida disponible en la American Type Culture Collection (ATCC, Manassas, VA, EE.UU.) con el número de colección 17697.

Las bacterias reductoras de perclorato son en general anaerobias facultativas o microaerobias. Las bacterias utilizan acetato, isobutirato, propionato, butirato, valerato, malato, fumarato, lactato, clorato, y oxígeno como donantes de electrones, pero típicamente no utilizan metanol, catecol, glicerol, citrato, glucosa, hidrógeno, sulfato, selenato, fumarato, malato, Mn (IV) o Fe (III). La mayoría de las bacterias reductoras de perclorato son *Proteobacteria*, *Dechloromonas*, *Dechlorosoma*, y las cepas GR -1 son el β -*Proteobacteria*, mientras que la *Azospirillum* es una α -*Proteobacteria*. Las cepas de *Dechloromonas* y *Dechlorosoma* pueden utilizar el lactato como donante de electrones, y las cepas de *Dechlorosoma* pueden utilizar el etanol como un donante de electrones. Con la excepción de tres cepas *Dechloromonas*, todas las bacterias reductoras de perclorato pueden utilizar el nitrato como aceptor de electrones. Alguna cepa autótrofa *Dechloromonas* utiliza el hidrógeno como donante de electrones. Tales cepas son particularmente útiles para su uso con el actual aparato, sistemas y métodos.

Las bacterias oxidantes del hidrógeno incluyen las bacterias oxidantes del hidrógeno, autotróficas y bacterias capaces de utilizar carbono orgánico y otras fuentes de energía, además de hidrógeno. Las bacterias oxidantes del hidrógeno son preferidas en algunas realizaciones del presente aparato, sistemas y métodos. En la presencia de contaminantes oxidados, tales bacterias reducen una forma oxidada de un aceptor primario de electrones en una cantidad suficiente para sostener una biomasa de estado en equilibrio viable en el sistema acuoso de tratamiento de agua. Derivar energía para el crecimiento por medio de la reducción es denominada reducción disimilatoria. Ejemplos de bacterias oxidantes de hidrógeno incluyen, pero no se limitan a, *Pseudomonas pseudoflava*, *Alcaligenes eutrophus*, *Alcaligenes paradoxus*, *Paracoccus denitrificans* y *Ralstonia eutropha*, todas las cuales pueden utilizar el nitrato, y una cepa *Dechloromonas*, que puede utilizar perclorato.

Una o más (es decir, combinaciones) de las bacterias identificadas más arriba pueden ser inoculadas en un MBfR de flujo radial y permiten la formación de una biopelícula en el exterior de los filamentos huecos. Las bacterias que requieren condiciones similares de crecimiento (por ejemplo, rociando con el mismo gas) se pueden cultivar en la misma biopelícula, mientras que las bacterias con diferentes requisitos de crecimiento se cultivan típicamente en biorreactores diferentes.

Alternativamente, o además de, a las bacterias endógenas en las aguas residuales se les permite formar una biopelícula en un reactor. Este método tiene la ventaja de que las bacterias presentes en las aguas residuales ya están adaptadas a los nutrientes disponibles y, por lo tanto ya son capaces de metabolizar contaminantes oxidados en las aguas residuales.

5 **V. Métodos de Tratamiento de Aguas**

10 Un uso ejemplar del presente MBfR de flujo radial es para el tratamiento de agua. Los dispositivos de MBfR se pueden utilizar en combinación con otros procedimientos de tratamiento de agua, siempre y cuando los productos químicos presentes en el agua (por ejemplo, cloro) no interfieren con la formación y el mantenimiento de la biopelícula en el MBfR o con la actividad metabólica de los microorganismos en la biopelícula. El MBfR se puede utilizar para eliminar una variedad de contaminantes transmitidos por el agua, algunos de los cuales se han identificado más arriba.

Estas y otras aplicaciones e implementaciones serán evidentes considerando la exposición.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo (100) de reactor de biopelícula de membrana (MBfR) que comprende:
un tubo de núcleo central (130) que tiene una pared que define un lumen y una o más perforaciones en la pared que definen una región perforada (117), teniendo el tubo de núcleo, además, un primer extremo abierto (146) y un segundo extremo sustancialmente cerrado (144)
- 5 una pluralidad de filamentos huecos (132), teniendo cada filamento una pared que define un lumen interior, una superficie exterior, un primer extremo y un segundo extremo; y
una carcasa (110) que tienen una cavidad, una primera tapa extrema (145), una segunda tapa extrema (144), y al menos una lumbrera (148) de efluentes, que está en comunicación con la superficie exterior de los citados filamentos huecos (132);
- 10 en el que el primer extremo abierto (146) del tubo de núcleo (130) está obturado en la primera tapa extrema (145), extendiéndose la región perforada en el interior de la cavidad central de la carcasa (110), y el citado el primer extremo abierto (146) del tubo de núcleo (130) tiene un accesorio para la conexión a una fuente de alimentación de líquido influente,
- 15 y en el que el dispositivo comprende, además, al menos una lumbrera (115) de entrada de gas de limpieza por arrastre, que está en comunicación con las superficies exteriores de los citados filamentos huecos (132)
y en el que los primeros extremos de la pluralidad de filamentos huecos (132) están abiertos y obturados en primera tapa extrema (145), y los segundos extremos de la pluralidad de filamentos huecos están abiertos y obturados en la segunda tapa extrema (144)
- 20 2. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que una de entre la citada primera tapa (145) y la citada segunda tapa extrema (144) incluye un accesorio para la conexión a una fuente de alimentación de gas.
3. El dispositivo de la reivindicación 2, que tiene, además, una lumbrera (114) de drenaje en la carcasa, para comunicación con los lúmenes de la pluralidad de filamentos huecos (132).
4. El dispositivo de la reivindicación 3, en el que la lumbrera (114) de drenaje está situada en un extremo de la carcasa (110) opuesto al accesorio para la conexión a una fuente de alimentación de gas.
- 25 5. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la primera tapa extrema (145) y la segunda tapa extrema (144) están obturadas en la carcasa.
6. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 1 - 4, en el que los filamentos huecos están combinados con una fibra de urdimbre para formar un tejido.
- 30 7. El dispositivo de la reivindicación 6, en el que los filamentos huecos (132) están separados por un material de intercalado (180).
8. El dispositivo de la reivindicación 7, orientado verticalmente, estando la primera tapa extrema (145) por debajo de la segunda tapa extrema (144), estando adaptada la primera tapa extrema para el ingreso del líquido influente y estando adaptada la segunda tapa extrema para el ingreso del gas.
- 35 9. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que los filamentos huecos están fabricados de un material seleccionado de entre politereftalato de trimetileno, polipropileno y policloruro de vinilo.
10. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que al menos una lumbrera (115) de entrada de gas de limpieza por arrastre se encuentra en una región inferior de la carcasa (110) o se encuentra localizada en la lumbrera de influente.
- 40 11. El dispositivo de la reivindicación 10, que comprende una pluralidad de lumbreras (115) de entrada de gas de limpieza por arrastre situadas en una región inferior de la carcasa.
12. Un sistema que comprende una pluralidad de dispositivos de cualquiera de las reivindicaciones 1 -11, estando dispuestos los citados dispositivos en paralelo o en serie.
13. Un método para reducir el ensuciamiento de un dispositivo (100) de biopelícula de membrana por una biomasa, que comprende:
- 45 proporcionar un dispositivo que tiene un tubo de núcleo central (130) con una pared que define un lumen y una o más perforaciones en la pared, una pluralidad de filamentos huecos (132) rodeando al tubo de núcleo (130), teniendo cada filamento una pared que define un lumen interior y una superficie exterior, y una carcasa (110) que aloja el tubo de núcleo central (130) y la pluralidad de filamentos huecos (132),

introducir un líquido influente en el tubo de núcleo central (130),

introducir un gas en los lúmenes interiores de la pluralidad de filamentos huecos (132), soportando el citado gas el crecimiento de una biomasa en las superficies exteriores de los filamentos huecos,

- 5 permitir que el líquido influente fluya a través de las citadas una o más perforaciones para entrar en contacto con la biomasa en las superficies exteriores de los filamentos (132), definiendo el citado flujo de líquido influente un trayecto de flujo radial en el dispositivo,

recoger las aguas residuales en una o más lumbreras (148) de aguas efluentes dispuestas en la citada carcasa,

en el que el trayecto de flujo radial del líquido influente reduce el ensuciamiento del dispositivo por la biomasa.

- 10 14. El método de la reivindicación 13, que comprende, además, recircular una primera porción del efluente a través del dispositivo.

15. El método de la reivindicación 13, en el que la citada introducción de un líquido comprende introducir líquido efluente en el interior del tubo de núcleo central (130) en un primer extremo del dispositivo, y la citada introducción de un gas comprende introducir gas en un segundo extremo del dispositivo.

- 15 16. El método de la reivindicación 13, que comprende, además, introducir un gas de limpieza por arrastre en el tubo de núcleo (130) del dispositivo o en el interior de una región inferior de la carcasa (110).

17. El método de la reivindicación 14 o 16, que comprende, además, lavar a contracorriente por medio de la introducción de un líquido en una o más lumbreras (148) de efluente para realizar un ciclo periódico de lavado a contracorriente.

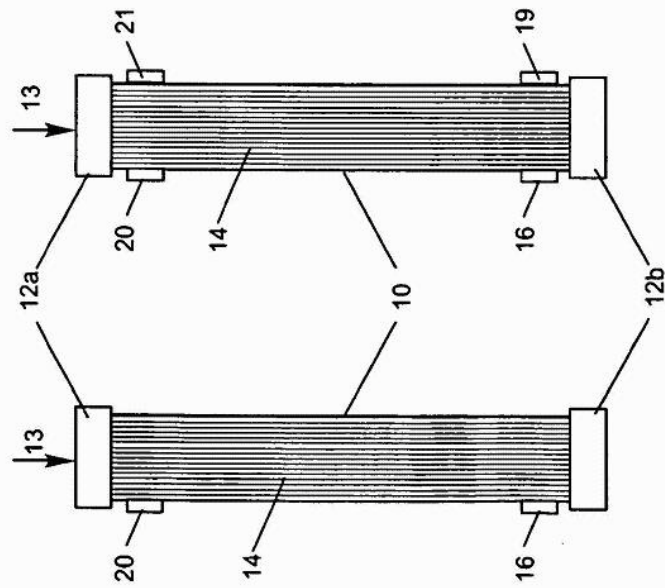


FIG. 1A
TÉCNICA ANTERIOR

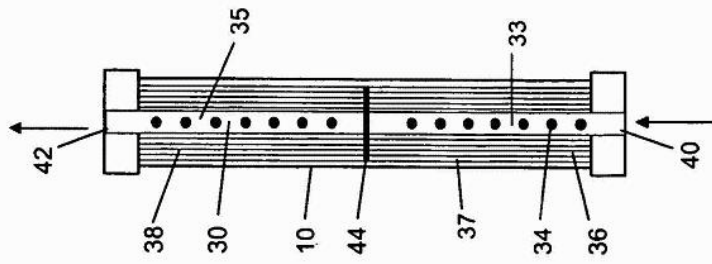


FIG. 1B
TÉCNICA ANTERIOR

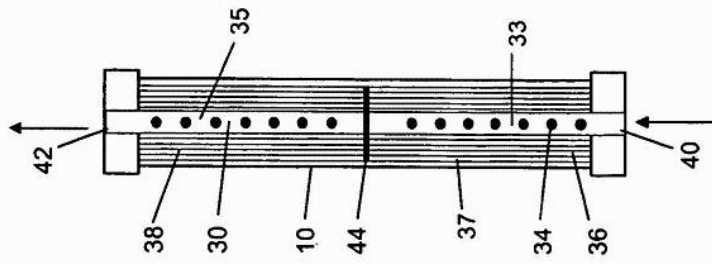


FIG. 1C
TÉCNICA ANTERIOR



FIG. 1D
TÉCNICA ANTERIOR

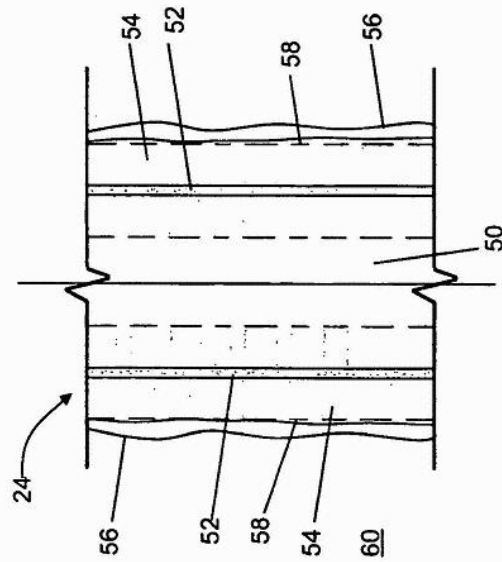


FIG. 1E
TÉCNICA ANTERIOR

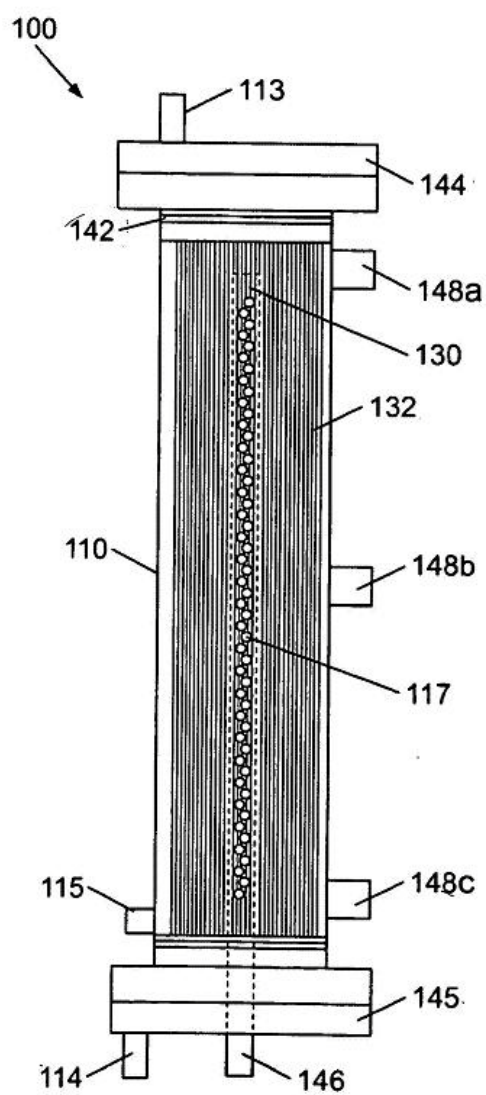


FIG. 2A

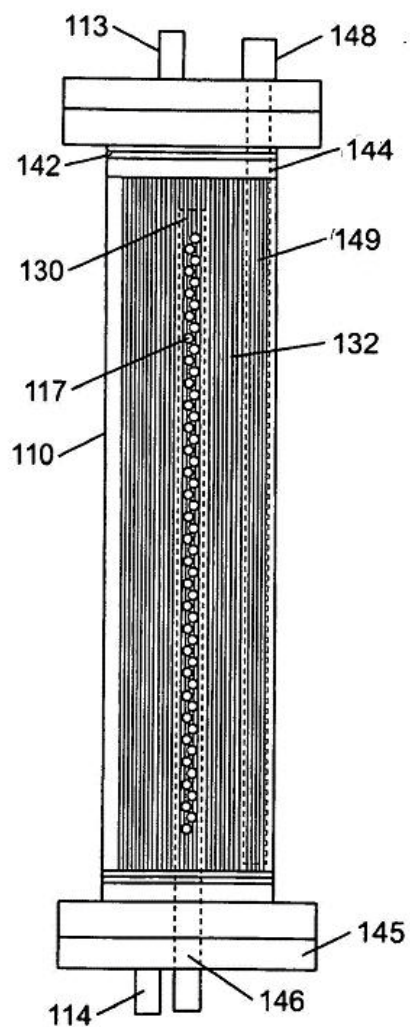


FIG. 2B

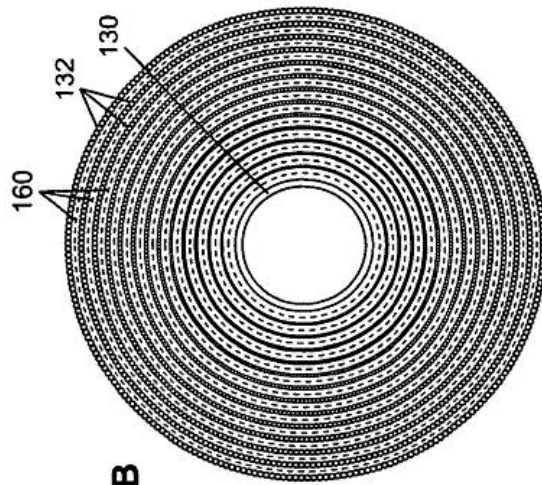


FIG. 3B

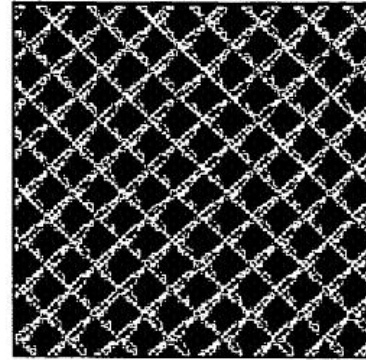


FIG. 3D

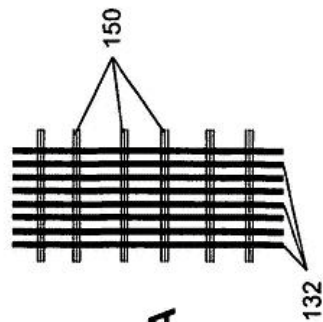


FIG. 3A

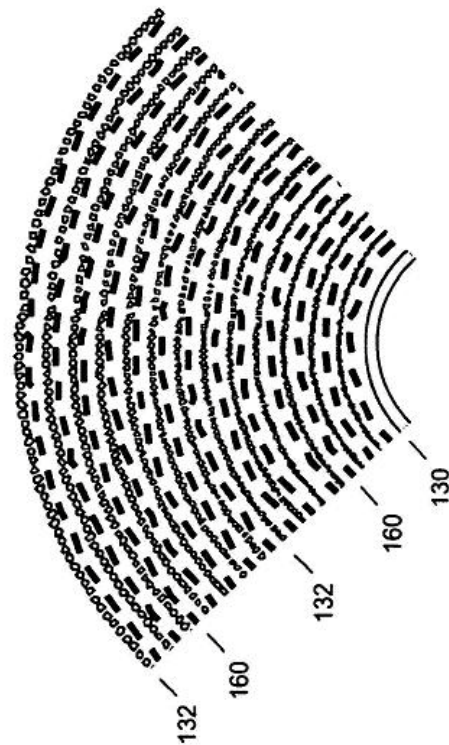


FIG. 3C

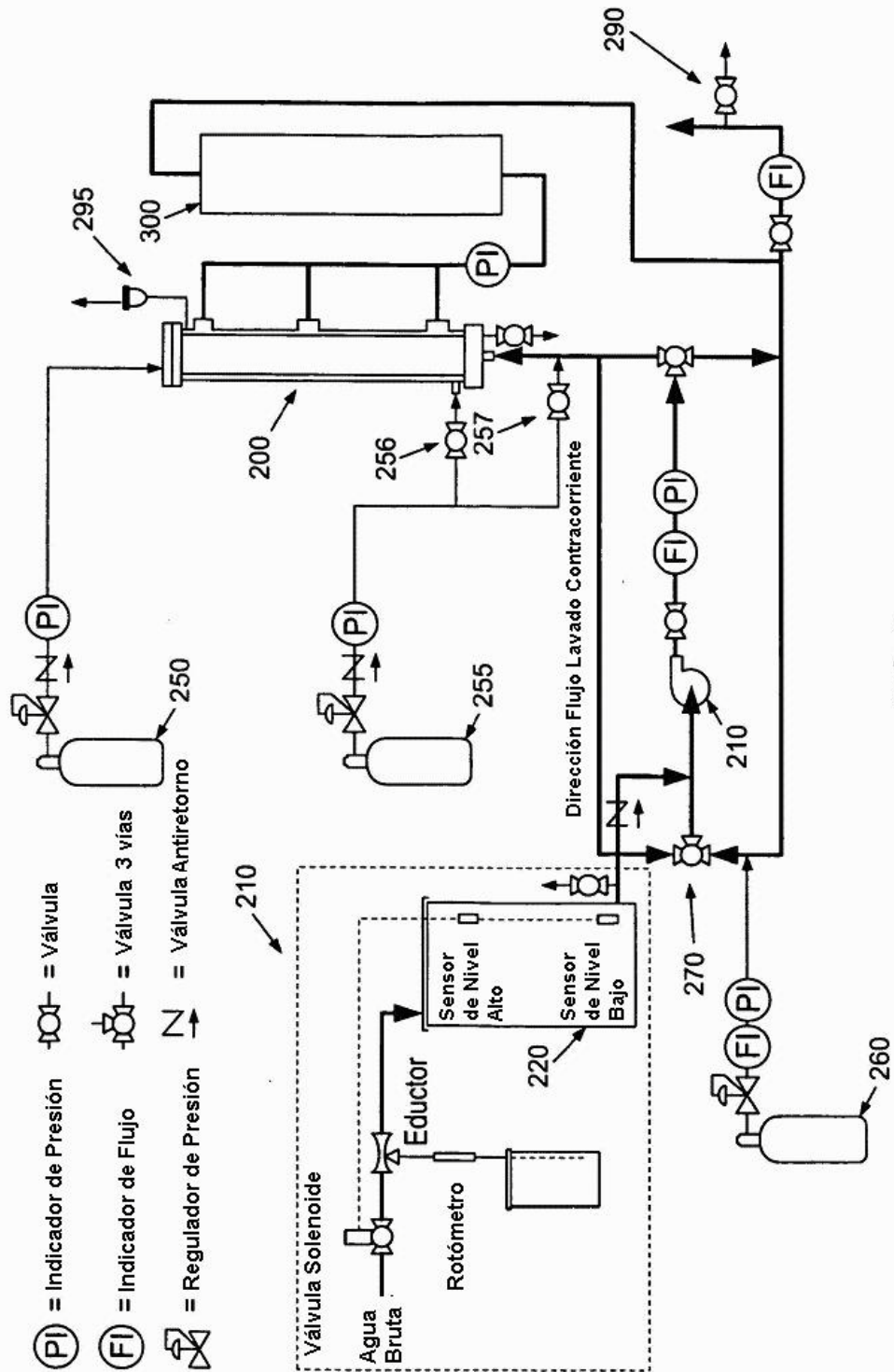


FIG. 4

ID Módulo	Material Fibras	OD Fibras (micras)	ID Fibras (micras)	Densidad Empaque- tado	Recuen- to de fibras	Diam. del Módulo (m)	Diam. Tubo de Núcleo (m)	Área de fibra única (m ²)	Área Superf. de Fibra (m ²)	Long. Fibra Activa (m)	Trama	Suminis- trador
1	CTA	330	150	45%	55.400	0,1207	0,0572	0,00079	43,7	0,762	Ajustado	Natco
2	CTA	330	150	20%	24.600	0,1207	0,0572	0,00079	19,4	0,762	Muy holgado	Natco
3	CPP	300	199	20%	25.000	0,1207	0,0572	0,00072	17,9	0,762	Ninguna	Mitsubishi
4	CTA	330	150	45%	15.500	0,0826	0,0572	0,00079	12,2	0,762	Holgado	Natco

FIG. 5A

Resultados Medios y Condiciones				
Parámetro (media)	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Módulo 4
Influyente Nitrato-N	10,70	10,84	12,94	17,66
Efluente Nitrato-N	2,51	4,60	5,32	3,17
Flujo de Producto	0,31	0,25	0,14	0,13
Flujo de Reciclado	12,1	10,5	13,3	16,5
Tiempo Reten.Hidrául.	7,5	11,4	21,1	22,3
Área Superficial Fibras	43,7	19,4	17,9	12,3
pH	7,35	7,15	7,02	7,39
Nitrato-N/día	13724	8376	5643	10611
Flujo	314	432	315	866
Pres.Agua Entrad. MBfR	13,6	12,2	12,7	11,1
Pres. Entrada Hidrógeno	17,6	22,7	13,8	15,9

FIG. 5B

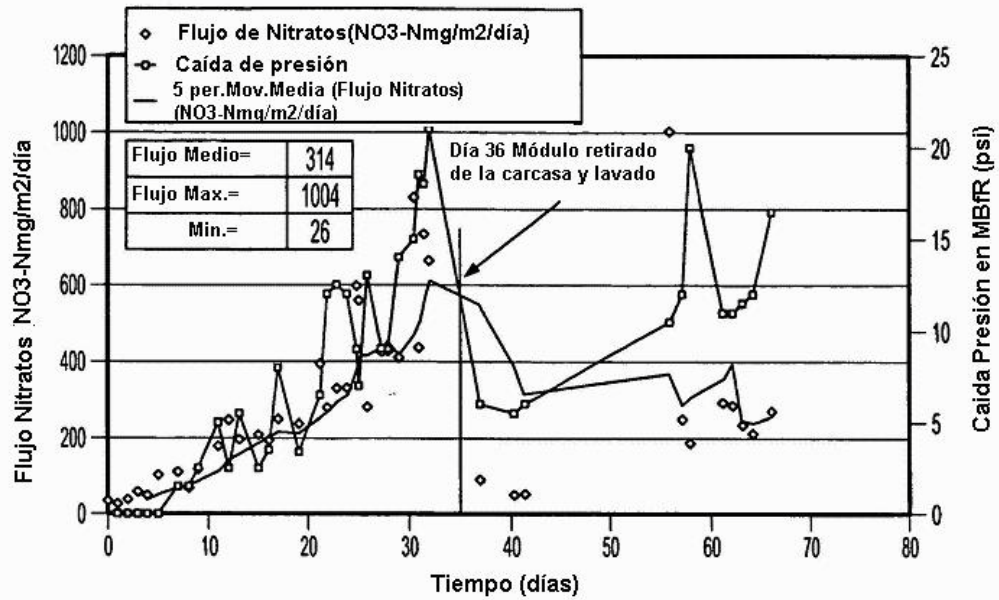


FIG. 6A

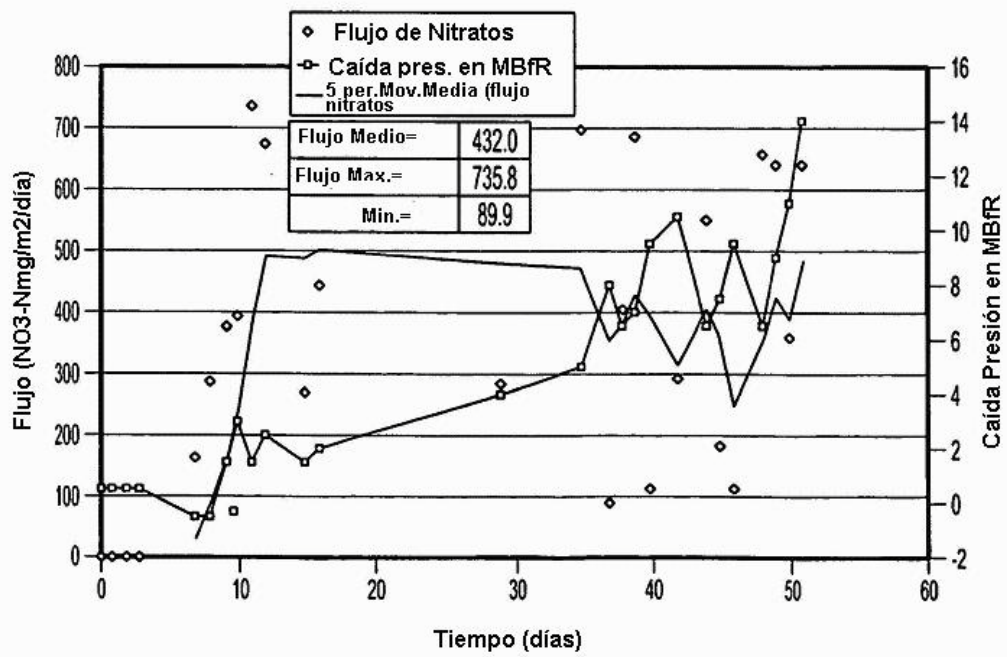
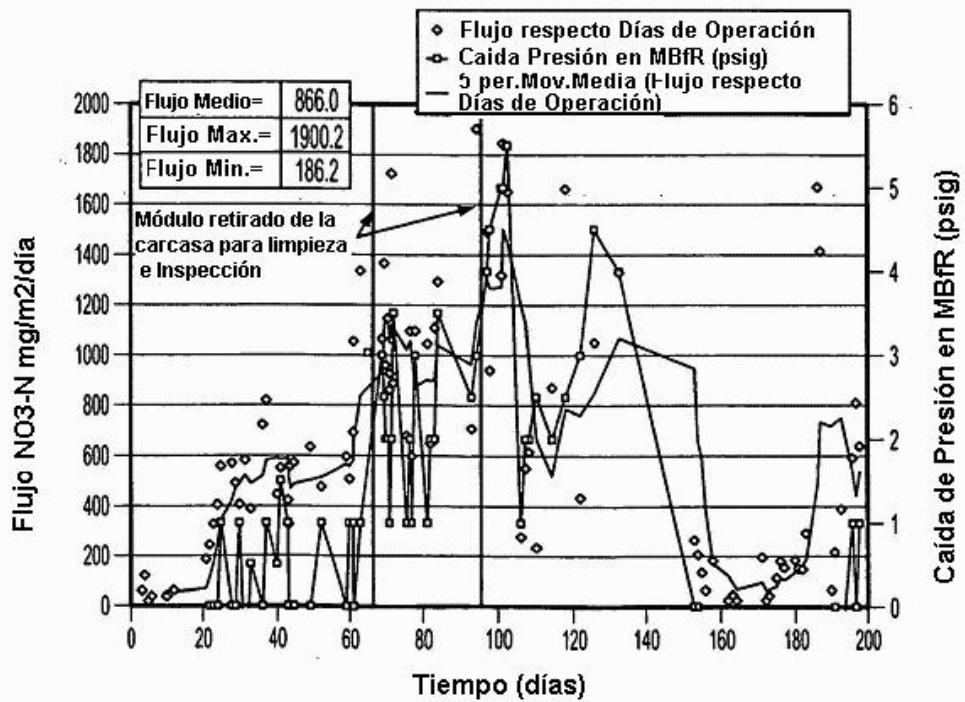
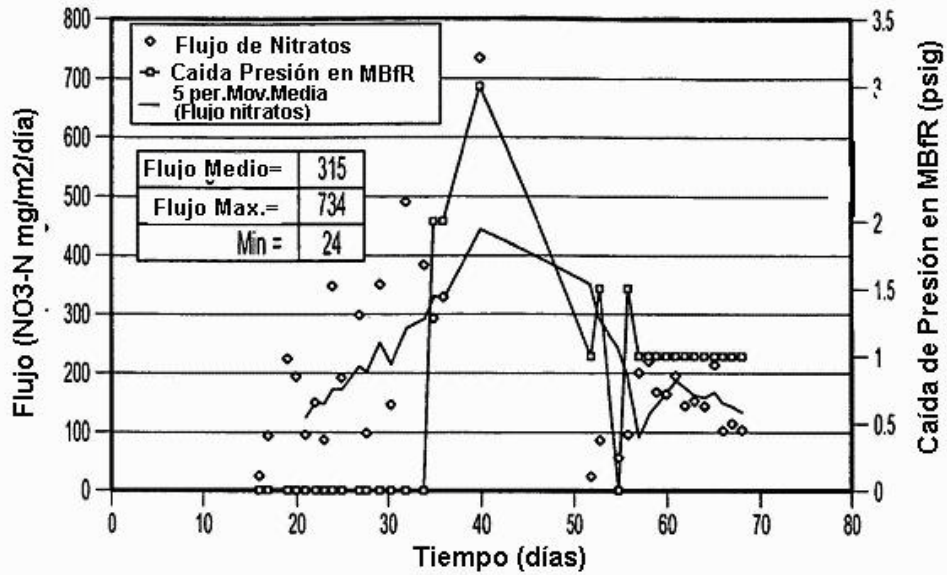


FIG. 6B



Flujos Teóricos de NO₃- en mg NO₃ - /m²/día

S, mgN/L	Lf=10 µm	50 µm	100 µm	150 µm	200 µm	250 µm
0,1	320	320	320	320	320	320
0.27	850	860	1000	1000	1000	1000
1	2700	3050	3100	3100	3100	3100
10	3900	19000	20000	20000	20000	20000
40	4000	20000	40000	48000	49000	50000

FIG. 7