

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 394 886**

51 Int. Cl.:

C02F 3/10 (2006.01)
C02F 3/20 (2006.01)
C02F 3/12 (2006.01)
C02F 3/30 (2006.01)
B01D 63/02 (2006.01)
B01D 63/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.02.2004 E 04710766 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la solicitud europea: **16.11.2005 EP 1594807**

54 Título: **Procedimiento de película biológica soportada**

30 Prioridad:

13.02.2003 US 447025 P
18.08.2003 US 496178 P
22.08.2003 CA 2438441
22.08.2003 CA 2438432
22.08.2003 CA 2438050
22.08.2003 CA 2438101

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.02.2013

73 Titular/es:

ZENON TECHNOLOGY PARTNERSHIP (100.0%)
THE CORPORATION TRUST COMPANY
CORPORATION TRUST CENTRE 1209 ORANGE
STREET
WILMINGTON, DE 19801, US

72 Inventor/es:

COTE, PIERRE;
HUSAIN, HIDAYAT;
TOWE, IAN, G.;
BEHMANN, HENRY y
POTTINGER, IAN, A.

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 394 886 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

Procedimiento de película biológica soportada

Campo de la invención

La presente invención se refiere a un aparato y procedimiento de transferencia de gas, por ejemplo para soportar una película biológica en un líquido, como en un procedimiento o aparato de tratamiento de agua o de aguas residuales.

Antecedentes de la invención

Actualmente, la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales usan un procedimiento de sedimentos activado basado en oxidación biológica de contaminantes orgánicos en un medio de crecimiento suspendido. El oxígeno se obtiene del aire usando aireadores de tipo burbuja. La eficiencia de estos sistemas es mala, lo cual da como resultado un uso de energía muy alto. El tamaño de tanque es grande ya que las cargas de la demanda de oxígeno son bajas. El resultado es un elevado coste en capital y operaciones.

Un segundo tipo de procedimiento de oxidación biológica establecido usa películas biológicas que han crecido en un medio sólido. Por ejemplo, se puede hacer circular las aguas residuales por la parte superior del reactor y se filtra. El aire se suministra desde el fondo. La velocidad de transferencia de oxígeno está limitada por el área de superficie de la película biológica y los costes de operaciones son elevados por los requisitos del bombeo de aguas residuales.

Recientemente se ha realizado trabajo de desarrollo con un concepto de biorreactor soportado en membrana. Por ejemplo, las patentes de EE.UU. números 4,181,604 y 4,746,435 describen un procedimiento para tratar las aguas residuales suministrando oxígeno desde un lado de una membrana permeable al gas a microorganismos en crecimiento en el otro lado de la membrana. Como membrana se usaron fibras huecas con paredes porosas. En la patente de EE.UU. 5,116,506, una membrana permeable al gas divide un vaso reactor en un compartimento para líquidos y un compartimento para gases. Una película biológica crece en la membrana permeable al gas en el lado para líquidos de la membrana. A través de la membrana pasan el oxígeno y los gases alternos hacia las bacterias en crecimiento en el lado para líquidos de la membrana.

Kazuaki Yamagiwa y col.: "Simultaneous organic carbon removal and nitrification by biofilm formed on oxygen enrichment membrane", Journal of Chemical Engineering of Japan, Society of Chemical Engineers, Tokyo, JP, vol. 27, no. 5, 1 October 1994, páginas 638-643, divulga un soporte para película biológica que consiste en una fibra hueca de silicona y un soporte fibroso. El soporte fibroso está en forma de fibras de poliéster superfina tejidas alrededor de la fibra hueca. El soporte para película biológica se usa para tratar aguas residuales en un reactor.

El documento US 5,126,050 divulga un aparato para la eliminación de compuestos orgánicos del agua, aguas residuales o carbón activado granular usado. El procedimiento comprende introducir el líquido que se va a tratar por la parte superior del reactor donde pasa sobre lechos de membrana permeable a gas que eliminan los contaminantes. El gas se suministra a la membrana que proporciona los necesarios donantes y aceptores de electrones para soportar el crecimiento de los microorganismos adecuados. Los microorganismos que han crecido sobre la superficie de los lechos de membrana y su crecimiento se puede controlar. Estos microorganismos capturan los aceptores y donantes de electrones del gas suministrado y el uso de contaminantes en el líquido que se va a tratar como fuente de carbono, de modo que se descontamina el líquido.

Brindle K y col.: "Nitrification and oxygen utilisation in a membrane aeration bioreactor", Journal of Membrane Science, Elsevier Scientific Company, Amsterdam, NL, vol. 144, no. 1-2, 10 June 1998, páginas 197-209, divulga un biorreactor de aireación de membrana a escala de laboratorio. El biorreactor comprende fibras huecas porosas de polietileno suspendidas verticalmente en un reactor tubular que contiene aguas residuales que se han de tratar. Las fibras se agrupan en un haz y se suministra oxígeno en la base del haz.

Sumario de la invención

La invención se establece en las reivindicaciones adjuntas.

En la medida que cualquiera de los aspectos y realizaciones de los procedimientos de tratamiento descritos más adelante se salen del alcance de las reivindicaciones de los mismos, dichos aspectos y realizaciones están incluidos a modo de antecedentes para ayudar a comprender la invención como se ha reivindicado.

Es un objeto de la presente invención mejorar con respecto a la técnica anterior. Es otro objeto de la presente invención proporcionar procedimientos y aparatos adecuados para tratar agua, por ejemplo aguas residuales industriales y municipales, usando la tecnología de biorreactor soportado con membrana. Es otro objeto de la presente invención proporcionar una membrana de transferencia de gas de fibra hueca y un módulo que es, por ejemplo, adecuado para soportar una película biológica. Estos aspectos y otros se cumplen en la invención descrita y reivindicada en el presente documento. El sumario siguiente introducirá al lector a varios aspectos de la invención, pero no se pretende que definan la invención, que puede residir en una combinación o subcombinación de varios elementos o etapas que se encuentran en el sumario siguiente u otras partes del presente documento.

La invención proporciona un procedimiento para tratar aguas residuales con una velocidad de transferencia de gas razonablemente alta y un área de superficie adecuada, para la transferencia de oxígeno, el soporte de película biológica o ambos, para permitir que un reactor de película biológica soportada proporcione una ventaja respecto a los costes operativos sobre otros procedimientos usados en la técnica. La membrana y el módulo pueden tener una eficiencia de transferencia de oxígeno (ETO) de más del 50 % o en el intervalo del 50 % al 70 % o superior. El módulo puede estar hecho de membranas de fibra hueca de paredes no porosas o densas para proporcionar un área de superficie grande al tiempo que evita la tendencia de las fibras porosas a humedecerse con el tiempo, lo que tiene como resultado un descenso drástico de sus velocidades de transferencia de oxígeno.

La fibra hueca está fabricada de polimetilpenteno (PMP), que tiene un elevado coeficiente de selectividad y difusión para el oxígeno. En concreto, el PMP tiene una permeabilidad al gas de aproximadamente 70.000 cc.mm/m².24 h.Bar en forma de pared densa no humidificante. Aunque esta es significativamente menor que la silicona, que tiene una permeabilidad al gas extremadamente alta, el PMP puede hilarse en fusión para formar una fibra hueca. La fibra puede tener un diámetro externo de 500 micrómetros o menos o de 100 micrómetros o menos. El uso de una fibra de un diámetro tan pequeño ayuda a reducir los costes del módulo, ya que se puede usar tecnología textil de fibra fina para crear módulos. Se puede proporcionar un área de superficie muy grande para conseguir una ETO alta. La pared no porosa evita problemas de humidificación como se ha descrito en lo que antecede.

Se cultiva una película biológica sobre las fibras huecas permeables al gas, por ejemplo fibras huecas de pared densa de PMP. El gas portador del oxígeno se introduce en la luz de la fibra. Las reacciones aeróbicas tienen lugar cerca de la superficie de la fibra, donde existen los niveles de oxígeno más altos. Estas reacciones incluyen conversión de compuestos de carbono orgánico en dióxido de carbono y agua, y de amoníaco en nitratos. La superficie de la película biológica se mantiene en condiciones anóxicas de un modo tal que pueda tener lugar la conversión de los nitratos en nitrógeno. El resultado es la reducción simultánea del carbono orgánico, el amoníaco y el nitrógeno total.

El procedimiento de la invención se puede usar para realizar otras reacciones biológicas sobre la superficie de la tela. Un ejemplo es la reducción biológica de compuestos tales como nitratos en agua usando gas hidrógeno suministrado a la luz de la fibra hueca.

Para suministrar oxígeno se puede usar aire o aire enriquecido. La selección de aire enriquecido y el nivel de oxígeno presente en dicho aire pueden venir determinados por la fuerza de las aguas residuales.

El procedimiento de la invención se puede usar para digerir el lodo primario y/o secundario.

Las fibras tienen un diámetro externo pequeño (es decir, 30-100 µm, y un área hueca sustancial, por ejemplo del 30 % o 40 % o más, de modo que tengan una pared fina. Las fibras pueden estar tejidas, tricotadas, bordadas o formando una tela de otro modo. El uso de fibras huecas finas permite que el grosor de la pared de la fibra sea bajo, por ejemplo de 20 µm o menor, que es varias veces menor de lo que sería necesario para hacer que una película sea manejable. Las fibras finas pueden, en sí mismas, ser difíciles de manejar de forma individual pero se pueden combinar para formar unidades, tales como hebras o cables para manipular, que puede incluir formar láminas textiles. La tela, teniendo un gran número de fibras huecas, proporciona suficiente área de superficie para la capacidad de transferencia de oxígeno de modo que se puede usar aire como gas de alimentación sin limitar el crecimiento de la película biológica u otra cinética biológica y con una pérdida de presión aceptable debido al flujo de aire a través del módulo.

Se pueden usar reactores de tanque discontinuos o agitados continuos de flujo de pistón o de múltiples etapas para realizar las reacciones biológicas a las concentraciones del sustrato más altas posibles para una alimentación dada. Esto maximiza la transferencia de masa de los compuestos de carbono orgánico y amoníaco en la película biológica, lo que elimina estos procedimientos como potenciales limitaciones de las velocidades de reacción. En los reactores de múltiples etapas se pueden usar diseños de módulos con áreas de superficie menores para proporciones de la transferencia de oxígeno al área de superficie de la película biológica en las etapas corriente abajo. El área de superficie total para la transferencia de oxígeno, por ejemplo por unidad del volumen del tanque o caudal de la alimentación, puede aumentar o disminuir en el reactor corriente abajo, ya que la proporción inferior puede ser el resultado de un incremento del área de superficie de la película biológica en lugar de una disminución del área de superficie para la transferencia de oxígeno.

El procedimiento de la invención se puede usar en un reactor de película biológica discontinuo con soporte (MSBBR). El reactor incluye uno o más módulos de membrana en los que se introduce un gas que contiene oxígeno y soporta una capa de película biológica. Los módulos se localizan en el interior de un tanque que se llena y drena cíclicamente para proporcionar un procedimiento de tratamiento discontinuo. En una realización, los módulos están fabricados de una tela de fibra hueca y se usan para reducir el COD (demanda química de oxígeno), el amoníaco, el nitrógeno total y los sólidos suspendidos en una planta industrial de aguas residuales a concentraciones adecuadas para su descarga en un sistema de alcantarillado municipal o para su descarga directa a una corriente de recepción. En otra realización, los módulos se usan para reducir el COD, el amoníaco, el nitrógeno total y los sólidos suspendidos en una corriente de aguas residuales municipal para la descarga directa a una corriente de recepción. En otra realización, los módulos se usan para reducir el COD, el amoníaco, el nitrógeno total y los sólidos

suspendidos en un tanque séptico para reducir el tamaño del campo séptico o para usar técnicas de eliminación más simples y de menos costes o para la descarga directa a una corriente de recepción.

El procedimiento de la invención se puede usar para controlar el crecimiento o el grosor de una capa de película biológica en crecimiento sobre los módulos. Algún(os) procedimiento(s) implica(n) aplicar una o más sustancias a la película biológica desde el latera del tanque mientras el tanque se drena del alimento. Estas sustancias pueden incluir gases, tales como ozono o cloro, o líquidos, tales como agua calentada o soluciones básicas o ácidas. Durante la aplicación de la sustancia control, las condiciones en la película biológica se pueden ciclar de aerobias a anaerobias girando el suministro de oxígeno al interior del módulo una y otra vez. La película biológica también se puede privar de alimentación antes de la aplicación de la sustancia control eliminando el agua alimentada, sustituyendo el agua alimentada con agua limpia o sustituyendo el agua alimentada con alimento a una carga de 0,1 kg de COD por kg de MLSS al día o menos. Tras la aplicación de la sustancia control también se pueden usar procedimientos mecánicos de control de las películas biológicas con la película biológica debilitada.

Se puede proporcionar arrastre de aire en el exterior de las fibras como medio de control del grosor de la película biológica hasta un nivel óptimo. El aire se puede usar como medio de control del grosor de la película biológica hasta un nivel deseado. El tratamiento con ácido, base, oxidante o enzima o un tratamiento anaeróbico se pueden usar periódicamente antes del arrastre de aire para debilitar la película biológica y mejorar la eficacia del aire al eliminar completa o parcialmente la película biológica. Otros procedimientos de control de la película biológica incluyen digestión in situ, ozonación periódica seguida de digestión, tratamiento periódico con ácido o con base seguido de digestión, tratamiento periódico con enzimas seguido de digestión y uso de una forma de vida superior, tal como gusanos, para digerir la película biológica periódicamente. Para acelerar las reacciones biológicas de digestión, el aire suministrado en el interior del módulo se puede precalentar para elevar la temperatura del biorreactor.

Para facilitar la construcción de módulos con una reducción mínima del área de superficie efectiva de las fibras, las fibras se pueden procesar o usar como cables sobre una porción significativa, por ejemplo una mitad o más, de su longitud. Los módulos se pueden fabricar directamente a partir de los cables sin fabricar primero una tela. Los cables también pueden formar telas abiertas para facilitar el moldeado, por ejemplo a lo largo de los bordes de la tela, al tiempo que se dejan porciones significativas de las fibras como cables, por ejemplo una porción entre los bordes de la tela. Los módulos hechos de cables se pueden moldearse en ambos extremos o moldearse solo en un extremo dejando el otro extremo sin moldear con los extremos de la fibra abiertos para permitir la salida de los gases de escape. Un módulo de un solo cabezal puede tener menos costes que un módulo de cabezal doble. Un módulo de un solo cabezal se puede insertar en una configuración vertical con el cabezal en el fondo y las fibras flotando hacia arriba. Dicho módulo se puede airear desde la parte exterior del módulo para eliminar las acumulaciones de basura y sólidos. La alimentación también se puede cribar a través de, por ejemplo, un tamiz de 0,5 mm, para reducir la basura en la alimentación antes de que entre en el reactor. Cuando el módulo de cable se usa en una etapa corriente debajo de un reactor de múltiples etapas, la etapa corriente arriba puede también reducir la cantidad de basura alimentada en el reactor del módulo de cable.

Los reactores para tratar aguas residuales de diferente fuerza pueden estar provistos de módulos que tienen proporciones diferentes del área de superficie para la transferencia de gas al área de superficie de la película biológica unida. El área de superficie para la transferencia de gas es el área de la superficie externa del módulo que está en contacto con la película biológica soportada. El área de superficie de la película biológica es el área de la superficie externa de la película biológica que está en contacto con las aguas residuales. En algunos casos, el área de superficie de la película biológica depende del grosor de la película biológica que, para los cálculos o para comparar módulos, puede ser el grosor real o la media temporal de los grosores de una película biológica en un reactor o un grosor nominal o del diseño o el grosor medio, por ejemplo 250 micrómetros. Un reactor para tratar aguas residuales con un COD de más de 1.000 mg/l puede tener un módulo con una proporción del área de superficie para la transferencia de gas al área de superficie de una película biológica fijada de más de 1, más de 1,6 o entre 1,6 y 10. Un reactor para tratar aguas residuales con un COD de más de 1.000 mg/l puede tener un módulo con una proporción del área de superficie para la transferencia de gas al área de superficie de una película biológica fijada de menos de 2,5 o entre 0,2 y 2,5. La COD de las aguas residuales a tratar disminuye a través de cada reactor y la proporción del área de superficie para la transferencia de gas al área de superficie de la película biológica fijada para los módulos en un reactor corriente abajo es menor que para los módulos en un reactor corriente arriba.

Otros aspectos de la invención se describen en las reivindicaciones o en las figuras o descripción siguientes.

Breve descripción de las figuras

A continuación se describirán realizaciones de la invención, así como antecedentes y materias relacionadas, con referencia a las figuras siguientes.

La figura 1 es una fotografía de un grupo de fibras huecas.

La figura 1a es una sección transversal de una fibra hueca.

La figura 1b muestra un grupo de fibras huecas y fibras inertes recogidas en una unidad.

Las Figuras 2a a 2d y 2e muestran disposiciones de ranuras y una hilera para las fibras hiladas en fusión.

Las Figuras 3a y 3b muestran una vista en planta y la sección transversal de una tela tejida respectivamente.

La Figura 3c muestra etapas durante el tejido de una tela.

La Figura 3d muestra un tejido de punto por urdimbre.

- 5 La Figura 4a muestra una lámina de fibras huecas teniendo una porción central de la lámina las láminas en cables. La Figura 4b muestra detalles de una parte de la lámina de la Figura 4a.

La Figura 5 es una sección transversal de un módulo de cable suelto.

La Figura 6 muestra una vista desde arriba de un módulo que tiene láminas de fibras.

La Figura 7 es una sección parcial, en vista en alzado, del módulo de la Figura 6.

- 10 La Figura 8 es una sección transversal de otra parte del módulo de la Figura 6 en una vista en planta.

La Figura 9 es una vista en alzado de un módulo de acuerdo con las Figuras 6 y 7.

Las Figuras 10a, 10b y 10c son vistas en alzado, en planta y de sección parcial de otro módulo que tiene láminas de fibras.

- 15 Las Figuras 11 y 12 son vistas en planta y en alzado de un tanque que tiene casetes de módulos de láminas de fibras huecas.

La Figura 13 es un dibujo de los detalles de un mecanismo de tensado en el aparato de las Figuras 11 y 12.

La Figura 14 es una vista en alzado del mecanismo de la Figura 13.

Las Figuras 15 y 16 son dibujos esquemáticos en alzado de los reactores.

Las Figuras 17 y 18 son dibujos esquemáticos de otros reactores.

- 20 La Figura 19a es un reactor discontinuo a escala de laboratorio que usa un módulo de cable.

La Figura 19b es una fotografía de una película biológica en un cable de fibras que crecen en el reactor de la Figura 19a tomada a través de un microscopio.

La Figura 20 es un dibujo esquemático en alzado de un tanque séptico modificado para usar un módulo de película biológica soportada.

- 25 Las Figuras 21 a 31 son los resultados de los ensayos realizados con varios módulos o reactores de muestra.

Descripción de las realizaciones

1.0 Elementos del módulo

1.1 Fibra

- 30 Las Figuras 1 y 1a muestran una fibra de poli(4-metilpenteno-1) (PMP) 10 que está hueco en su interior pero no poroso y con paredes densas. En un grupo de fibras 10, las fibras 10 pueden tener varios diámetros y pueden ser fibras finas que tienen diámetros externos de menos de 500 micrómetros o menos de 100 micrómetros, por ejemplo entre 30 y 100 micrómetros, o entre 50 y 60 micrómetros. Las fibras huecas 10 mostradas son no porosas o de paredes densas y el agua no fluye a través de las paredes de las fibras mediante flujo de advección. No obstante, el oxígeno u otros gases pueden atravesar o viajar a través de las paredes de la fibra mediante, por ejemplo, difusión molecular o disolución-difusión.

- 35 La fibra hueca 10 se puede preparar mediante hilatura por fusión, que alternativamente se denomina extrusión por fusión. En la hilatura por fusión se introduce un granulado polimérico, por ejemplo de PMP, en la tolva de un extrusor. El granulado polimérico se calienta y se funde en el extrusor y se extruye de forma continua hacia un cabezal giratorio con una presión de varias decenas de bares. El cabezal giratorio consta de un filtro incorporado calentado y una hilera. La hilera es, esencialmente, una placa de acero con ranuras con forma de arco delgado en disposiciones circulares. Ejemplos de disposiciones de ranuras adecuadas para la formación de una fibra hueca se muestran en las Figuras 2a a 2d. Como se muestra en la Figura 2e, la hilera puede tener múltiples grupos de ranuras de modo que muchas fibras, 8 en la hilera mostrada, se puedan extruir de forma simultánea. El polímero fundido se extruye a través de la hilera, sale por las ranuras y se cierra en una fibra hueca en una zona de enfriamiento. Los huecos producidos por los divisores de segmentos permiten la entrada del aire en la fibra para evitar el colapso antes de que las secciones de la fibra se condensen para formar el anillo. En la zona de enfriamiento, la fibra polimérica formada se solidifica y enfría mediante un flujo de aire cruzado controlado y al fina

se recoge en un devanador tensor. También se pueden formar fibras adecuadas 10 mediante otros procedimientos de hilatura por fusión. Por ejemplo, en conductos en hilatura por orificios el polímero se funde y estira a través de una hilera anular al tiempo que se pasa un gas a la luz de las fibras extruidas a través de otro orificio en la hilera para prevenir el colapso de la fibra. También se pueden usar otros procedimientos aparte de la hilatura por fusión.

- 5 Con referencia a la Figura 1a, en la realización ilustrada se usa un procedimiento de hilatura por fusión para fabricar fibras 10 con un diámetro externo 12 de 100 μm o menor. El área hueca (o área de la luz 14) de la fibra puede ser más de 10 % o más de 30 % o 40 % del área transversal de la fibra. El área hueca es, normalmente, menos de 60 % o 50 % del área transversal de la fibra. Por ejemplo, se puede fabricar una fibra de polimetilpenteno que tenga un diámetro externo de 12 o de entre aproximadamente 50 a 60 μm y un diámetro interno 16 de 30 μm o mayor, lo que
10 tiene como resultado un grosor de la pared 18 de 10 μm o menor y una permeabilidad al gas de más de 30.000 $\text{cc}\cdot\text{mm}/\text{m}^2\cdot 24\text{h}\cdot\text{bar}$ o más.

- En la realización ilustrada en la Figura 1, la fibra de PMP textil 10 tiene un diámetro externo 12 de 45 micrómetros y un diámetro interno 16 de 15 a 30 micrómetros. La fibra 10 se extruyó por fusión usando PMP MX-001 o MX-002, producido por Mitsui Petrochemical de Japón y comercializado con el nombre TPC, como polímero bruto a través de una hilera segmentada como se ha descrito anteriormente. Esta fibra 10 se usa en las realizaciones y ejemplos descritos en el presente documento, aunque también se pueden usar otras fibras 10.
15

1.2 Agregados de fibras (p. ej., cables)

- Con referencia a la Figura 1b, las fibras huecas 10 se pueden combinar en unidades de fibras 19 para manipular. Las unidades de fibras 19 pueden ser fibras individuales 10, cables 20, por ejemplo de 1 a 200 o de 16 a 96 fibras 10 cada una, bien trenzadas o sin trenzar (Figura 1b), hebras, hilos, trenzas tubulares, planas o en cables, u otras unidades 19 para manipular. Los cables 20 se fabrican mediante rebobinado de fibras de múltiples bobinas receptoras en combinación sobre una segunda bobina. Las fibras inertes 22 más fuertes, tales como hilos de PE o PP, se pueden incluir en un cable 20 u otra unidad 19. Las fibras 10 pueden enrollarse para usar en las unidades 19. Las fibras enrolladas 10 se pueden formar enrollándolas sobre una bobina con varias tensiones.
20

1.3 Estructuras de lámina

- Las fibra 10 y/o unidades de fibra 19 se pueden proporcionar en forma de láminas 26. En las Figura 3^a y 3b, las fibras 10 se tejen como unidades de fibra 19 en una estructura bidimensional básica o lámina de tela 26. En la realización ilustrada, las unidades 19 atraviesan la lámina, es decir perpendiculares a la dirección en la que la lámina 26 avanza hacia fuera de un telar. Las fibras inertes 22 atraviesan la longitud de la lámina 26 para proporcionar soporte a las unidades de fibra 19. La Figura 3c ilustra las etapas implicadas en un proceso de tejido. Las unidades de fibra 19 se transportan en una lanzadera a través de 2 grupos de fibras inertes 22 que se suben o bajan alternativamente tras cada paso de la lanzadera. También se pueden usar otros procedimientos de tejido o de fabricación de telas. El tipo de unidad 19, el tamaño del haz de la unidad 19, la separación entre unidades 19 y el porcentaje de fibras en cada dirección se pueden adaptar para que cumplan los requisitos mecánicos o bioquímicos de cada aplicación única.
30
35

- Con más detalle, las unidades de fibras 19 proporcionan una superficie de soporte para el crecimiento de una película biológica 30. El número de unidades de fibras huecas 19 y el número de fibras 10 por unidad 19 se pueden ajustar para proporcionar un área de superficie deseada para la transferencia de O_2 en comparación con el área de superficie de la película biológica 30 o con el área de superficie planar de la lámina de tela 26. El área de superficie planar de la lámina 26 es, simplemente, la longitud de la lámina multiplicada por su anchura, multiplicada por dos (ya que la lámina tiene dos lados). El área de superficie de la película biológica 30 es el área total de la de la película biológica 30 expuesta al líquido en el reactor, que, en general, puede ser la misma que el área planar de la lámina 26 para una configuración de lámina sustancialmente bidimensional.
40

- El área de superficie para la transferencia de O_2 es el área total de las fibras huecas 10 en la lámina expuesta a la película biológica. Esto es aproximadamente igual al producto del diámetro eficaz y la longitud de la fibra 10, multiplicado por el número de fibra 10 en la lámina 26. El diámetro efectivo para la difusión es una media logarítmica de los diámetros de la fibra para justificar el efecto del grosor de la pared. Las fibras inertes 22 que atraviesan las fibras huecas 10 en la lámina 26 y el contacto entre fibras 10 pueden interferir con la transferencia de oxígeno en algunas realizaciones, por ejemplo una tela de tejido apretado, pero la interferencia suele ser pequeña y se ignora en el área de superficie para los cálculos de la transferencia de oxígeno.
45
50

- Aunque el área de superficie de la película biológica 30 es, en general, la misma que el área planar de la lámina, puede ser ligeramente más grande para telas muy ásperas o abiertas o telas que tienen unidades de fibra 19 más dispersas. También se puede usar variar la rugosidad de la tela para afectar al grosor de la película biológica 30 o a la facilidad con la que se puede reducir o controlar la película biológica 30. Se pueden obtener proporciones elevadas del área de superficie de transferencia de O_2 y el área de la película biológica ($\text{AS O}_2/\text{AS película biológica}$) en el intervalo de, por ejemplo, 6 a 10 o más. No obstante, para tratar agua de alimentación con una concentración elevada de COD, por ejemplo 300 mg/l de COD o más, son suficientes proporciones de $\text{AS O}_2/\text{AS película biológica}$ menores, por ejemplo entre 1,6 y 10, y se puede preferir reducir los costes del módulo. Una proporción de $\text{AS O}_2/\text{AS película biológica}$ en el intervalo de aproximadamente 2 a 8 o de aproximadamente 4 a 6, puede proporcionar
55

resultados satisfactorios en muchas aplicaciones de tratamiento.

El área de superficie de la película biológica 30 también puede ser más grande que el área planar de la lámina 26 proporcionando una disposición laxa de las fibras 10 y controlando el grosor de la película biológica 30 hasta una capa lo bastante fina para que la película biológica 30 en las fibras paralelas adyacentes no forme una capa continua. También se puede desear una lámina 26 con una superficie áspera o texturada, estando la altura de las ondulaciones de la superficie en el intervalo del grosor de la película biológica deseada, ya que puede facilitar el control de la película biológica. El grosor de la película biológica deseada puede ser de 200 a 1.000 micrómetros.

A condición de que la transferencia de oxígeno a través del módulo 40 no limite las reacciones en la película biológica 30, la velocidad de la reducción de COD en las aguas residuales es aproximadamente proporcional a la concentración de COD en las aguas residuales. No obstante, para que la transferencia de oxígeno no sea un factor limitante se requiere que fluya más oxígeno a través del módulo 40 para soportar una biomasa de la misma área de superficie a medida que aumentan las concentraciones de COD de las aguas residuales. Se puede proporcionar más oxígeno aumentando el tamaño o la velocidad de la operación de un soplador. No obstante se pueden producir grandes caídas de presión, por ejemplo de 69 kPa o más, debido a la resistencia al flujo de oxígeno a través de las luces de la fibra 14. La caída de presión se puede mantener por debajo de 69 kPa o en el intervalo de 41 a 62 kPa, escogiendo un tipo de tela y una serie de fibras que producen un área de la luz total suficiente para un área de superficie externa de la película biológica dada.

Asimismo, los inventores han observado que las películas biológicas que crecen en aguas residuales con concentraciones elevadas de COD, por ejemplo 1.000 mg/l de COD o más o 2.000 mg/l de COD o más, son más resilientes y tienden a crecer hasta un grosor indeseable de unos pocos mm o más, más rápidas que las películas biológicas que crecen en aguas residuales con concentraciones menores de COD. Por tanto, las películas biológicas que crecen en aguas residuales con concentraciones elevadas de COD requiere procedimientos de control de películas biológicas más enérgicos.

Los diversos problemas tratados en lo que antecede hacen preferible usar las telas en aguas residuales con concentraciones elevadas de COD que tienen más fibras y, opcionalmente, más rugosidad en la superficie, para la misma área planar global de una lámina o área de superficie externa de la película biológica soportada que para las telas usadas para tratar aguas residuales con concentraciones menores de COD. Esto se puede conseguir mediante la elección del procedimiento usado para crear la tela y la elección del recuento de la unidad de tela o de la hebra o lo apretado de la tela. También se pueden usar reactores de múltiples etapas. En un reactor de múltiples etapas, un reactor corriente arriba trata la alimentación a su concentración de COD más elevada y está provisto de módulos que tienen telas densas con un número alto de fibras. Un reactor corriente abajo recibe aguas residuales tratadas parcialmente con un COD menor y está provisto de módulos que tienen una tela menos densa con menos fibras para la misma área de superficie externa de la película biológica o lámina. La tela menos densa es más económica, ya que tiene menos fibras y puede tener un área mayor de película biológica para una lámina de la misma área de superficie planar.

Las láminas de tela 26 también se pueden fabricar mediante otros procedimientos tales como trenzado, bordado o tricotado, tal como tricotado por urdimbre. El tricotado por urdimbre es deseable, por ejemplo, cuando se usan unidades 19 o cables pequeñas o incluso hebras individuales de fibra fina 10. Si se desea, las láminas de tela 26 se pueden estampar, como en el tricotado según un patrón, para proporcionar áreas con menos fibras o agujeros para potenciar el flujo a través de las láminas 26.

En el tricotado por urdimbre, la lámina de tela 26, como se muestra en la Figura 3d, contiene bucles entrelazados de "puntos tricotados". La columna de puntos formados en una aguja hace un fleco. Los flecos en la dirección de la longitud ("urdimbre") de la tela se pueden formar mediante hilos básicos relativamente baratos, por ejemplo PET, PP etc. como fibras inertes 22. Las fibras inertes 22 pueden aguantar la tensión y el desgaste derivados del procesamiento y el uso. La lámina de tela 26 es, generalmente, fuerte y rígida en la dirección de la urdimbre (longitud) y elástica en la dirección de la trama (transversal). La trama es un sistema de hilos perpendiculares que se coloca a través de los flecos y se fija con puntos (bucles) de las fibras de la urdimbre 22. La trama no forma parte de la formación de la tela (bucle), por lo que las unidades de fibra 19 de la trama se pueden procesar muy suavemente, siendo sometidas a menos tensión y desgaste que la urdimbre. De acuerdo con esto, la preparación de la lámina 26 con unidades 19 como la trama puede minimizar el riesgo de dañar las fibras 10 durante la fabricación de la lámina 26. Normalmente la trama es una capa o banda de hilos paralela que son desplazados en diagonal con respecto a los flecos (urdimbre) durante el tricotado. La anchura de la lámina de tela puede ser de aproximadamente 2-3 m.

En la realización de las Figuras 4a y 4b, las láminas 26 se forman con una tela abierta tejiendo cables 20 a través de la lanzadera de un telar y cruzando los cables 20 con una fibra inerte 22 únicamente a lo largo de los bordes de la tela 26. La tela mostrada tiene una anchura de aproximadamente 1,3 m, es decir tiene fibras activas 10 de aproximadamente 1,3 m de longitud y tiene fibras inertes 22 tejidas perpendicularmente a los cables 20 en una tira de aproximadamente 2 cm a lo largo de los bordes. Como se muestra en la Figura 4b, las fibras 10 en cada cable 20 se dispersan más allá de las tiras de modo que los cables 20 permanecen sin restricciones y parcialmente abiertas entre las tiras. El rollo resultante de tela de 1,3 m de anchura se corta en secciones de aproximadamente 20-200 cm o de 30-60 cm, anchura para hacer láminas 26 individuales. En la Figura 4b, el número de fibras 10 en cada cable

20 es pequeño por claridad, pero los cables 20 pueden tener cada uno, por ejemplo, entre 1 y 200, por ejemplo 16, 48 o 96 fibras 10.

1.4 Módulos

1.4.1 Módulo de cable laxo

5 De acuerdo con la presente invención, múltiples unidades de fibra 19, incluidas fibras 10, cables 20 o láminas 26, se pueden agrupar para formar módulos de membrana 40. La Figura 5 muestra un módulo 40 que se puede denominar un módulo de cable o de cable laxo, con fibras 10 dispuestas y moldeadas en cables 20 de fibras. Los cables 20 están hechos de una colección laxa de una pluralidad de fibras 10, por ejemplo entre 1 y 200 o 16 a 96 fibras 10. Las fibras 10 pueden estar ligeramente trenzadas o se pueden dejar sin trenzar. Las fibras 10 se pueden enrollar, rizar u
10 ondular para proporcionar una estructura tridimensional a cada fila moldeada. El enrollado se puede conseguir rebobinando las fibra 10 sobre una bobina variando la tensión de las fibras. Las fibras individuales 10 permanecen separables unas de otras en el cable 20. Dicho cable 20, cuando está recubierto por una película biológica fina, por ejemplo de un grosor inferior a 1 mm, pueden proporcionar una proporción del área de transferencia de gas a través de las paredes de la fibra y el área de superficie externa de la película biológica ($AS_{\text{oxígeno}}/AS_{\text{película biológica}}$) de menos de 2,5, menos de 1 o entre 0,1 o 0,2 y 1. Si se requiere se pueden añadir fibras inertes 22 al cable como refuerzo. Cada cable 20 se moldea en un tapón de resina 32 de modo que sus extremos 34 queden abiertos en una cara de la resina 32. El tapón de resina 32 se pega en el interior de la carcasa del cabezal de plástico 35 que tiene un puerto 36 que forma un cabezal 44 que conecta el puerto 36 con los extremos abiertos 34 de las fibras 10 a través de una cavidad 37. Hay dos cabezales 44, uno asociado con cada extremo de las fibras 10, aunque también se pueden
20 fabricar módulos 40 con solo un cabezal de entrada 44. Con dos cabezales 44, el aire u otros gases puede entrar en un cabezal 44, fluir a través de las fibras 10 y salir desde el segundo cabezal 44. Los cables se moldean en una resina 32, tal como poliuretano, y los extremos moldeados se cortan para exponer la luz de la fibra. Como alternativa se puede usar un material de moldeo fugitivo para bloquear los extremos de las fibras, como se describe en la patente de EE.UU. 6,592,759, u otros procedimientos de moldeo. En la Figura 5, tanto el número de cables 20 como el número de fibras 10 por cable 20 son pequeños a efectos de claridad en el dibujo y en la práctica pueden ser mucho mayores.

1.4.2 Módulo de láminas

También se puede construir un módulo 40 de un haz o pila de láminas 26. Las láminas 26 pueden tener fibras inertes perpendiculares a través de la totalidad de la anchura de la lámina 26, como en la Figura 3a, o solo a través de una porción de la anchura de la lámina 26, por ejemplo en los extremos como en la Figura 4. La materia prima para las láminas 26 se puede enrollar hasta formar un rollo de tela. Por ejemplo, cuando las láminas 26 se preparan tejiendo, el material se enrolla para llegar a un rollo al final de un telar a medida que se produce el material. Las unidades de fibra 19 se pueden extender a través del rollo, mientras que las fibras inertes en enrollan alrededor del rollo. Con las fibras orientadas de este modo se pueden cortar láminas 26 individuales del rollo sacando una longitud de material del rollo y cortándolo con un cuchillo caliente o cortador térmico. El cortador térmico funde a través de las unidades de fibra 19 y las fibras inertes y las une para proteger el borde de la tela de la desintegración o del deshilachado. Dado que el cortador térmico funde una tira de fibras a ambos lados de la línea de corte, por ejemplo una tira de 5 mm de anchura, las fibras que quedan en el rollo se funden juntas de un modo similar para producir un borde estable. Una vez cortada una lámina 26 del rollo, los otros dos extremos de la lámina, es decir los bordes de las láminas 26 en ángulo recto con los bordes del corte térmico, se cortan para abrir las luces de las unidades de fibra 19. Para minimizar la distorsión o el colapso de los extremos de las fibras 10 bajo la presión de corte, el área que se va a cortar se refuerza primero, por ejemplo, impregnándola con poliuretano para proporcionar un recubrimiento de refuerzo alrededor de las fibras 10 o unidades de fibra. El corte a través de las unidades de fibra 19 se hace a continuación con un cortador afilado, por ejemplo un cortador con filo de cuchilla. El cortador se mantiene, preferentemente, muy afilado, por ejemplo cambiando las cuchillas con regularidad, para minimizar las distorsiones de los extremos de las fibras 10. También se pueden usar otras máquinas o herramientas de corte en las industrias de ropa y textil.

El extremo o extremos de láminas 26 únicas o múltiples se pueden moldear en un cabezal para proporcionar uno o más puertos 36 en comunicación con las luces de las fibras 10. Para moldear una o más láminas 26, las láminas 26 se cortan de un rollo como se ha descrito en lo que antecede. Una tira espaciadora de plástico se fija, por ejemplo con cola o con cinta adhesiva, en uno o los dos lados de la lámina 26, en el extremo de la lámina 26 paralelo pero desviada de la línea de corte de la cuchilla a través de las unidades de fibra 19. Para moldear múltiples láminas 26, las láminas 26 con tiras espaciadoras unidas se colocan unas encima de otras y se fijan, por ejemplo con cola o cinta adhesiva, entre las tiras espaciadoras adyacentes o entre la tira espaciadora de una lámina 26 y una segunda lámina 26. Las tiras separan láminas 26 adyacentes, pero también forman una barrera entre un material de moldeo que se va a aplicar más tarde y la cavidad del cabezal que contiene los extremos de las fibra 10. Los extremos de la lámina 26 o pila de láminas 26 se coloca en una cavidad alargada del cabezal que se puede hacer mediante, por ejemplo, moldeo por inyección. La separación y el sellado de las paredes del cabezal se mantienen con una tira selladora de neopreno de celda cerrada y autoadhesiva unida a cada una de las paredes largas del cabezal. Todas las aberturas en la cavidad del cabezal formada por las tiras espaciadoras pueden cubrirse con cola de fusión en caliente. El sellado final del cabezal se realiza vertiendo una capa de material de moldeo, por ejemplo

un compuesto de poliuretano de dos componentes, sobre las tiras espaciadoras. La capa puede tener un grosor de aproximadamente 45 mm y extenderse entre las partes interiores de las paredes del cabezal. Si hay múltiples láminas se debe tener cuidado y forzar o garantizar el flujo del material de moldeado, de un modo tan completo y uniforme como sea posible, entre las láminas 26. Una vez que el material de moldeado se ha endurecido se forma un sello entre las partes externas de las fibras 10 y las paredes del cabezal, pero los extremos de las fibras 10 permanecen en comunicación con una cavidad dentro del cabezal.

Las Figuras 6 a 9 muestran un módulo 40 en el que un conjunto de láminas 26 paralelas se moldean con huecos 42 entre ellas en un cabezal 44. Se pueden usar dos cabezales 44, como se muestra cuando se desea una salida de aire de escape. También se puede usar un cabezal 44 con salida de escape a través de los extremos abiertos opuestos de las fibras 10 o con los otros extremos de las fibras 10 cerrados para una operación con extremo ciego. El hueco 42 puede tener un grosor de entre 2 mm y 10 mm o entre 3 mm y 15 mm. El hueco 42 escogido puede depender del agua que se va a tratar o de la elección del procedimiento para controlar el grosor de la película biológica. Por ejemplo, un módulo 40 de láminas 26 tensadas puede tener un hueco 42 de 6 mm cuando se usa con arrastre de aire para controlar el grosor de la película biológica. La tensión se puede proporcionar montando los cabezales 44 en una estructura rígida, que puede incluir partes de un tanque, con uno o ambos cabezales 44 móviles con respecto a la estructura. Como alternativa, los cabezales 44 se pueden unir a parte de un marco separado por una distancia ajustable. Las láminas de tela 26 se moldean y separan en los cabezales 44 mediante varios materiales de moldeado, tales como uno o más de poliuretano, cola de fusión en caliente, cintas adhesivas, tras espaciadoras de plástico o epoxi. La separación entre láminas 26 adyacentes, o huecos 42, proporciona espacio para arrastrar el aire y el flujo del sustrato a través del módulo 40. Asimismo, una lámina grande de la tela 26 se puede enrollar o plegar para producir un módulo 40 en lugar de usar láminas individuales. La longitud del módulo 40 es un compromiso entre la ETO y el descenso de presión, y puede variar de 1 m a 5 m o entre 1 m y 3 m.

Con referencia a la Figura 8, para hacer el módulo 40 se coloca una lámina 26 de fibras 10 sobre tiras 50 (una en cada extremo) de un adhesivo localizado para atravesar los extremos de las fibras 10. Otras tiras 50 de cintas adhesiva y espaciadora 52 se colocan sobre la lámina 26, seguido de tiras adicionales 50 de cinta adhesiva y una lámina adicional de tela 26. Estas etapas se repiten según sea adecuado para el número de láminas 26 deseado. El montaje resultante se sella después en las carcassas del cabezal 35 de un par de cabezales 44 opuestos, de modo que las luces 14 de las fibras 10 estén en comunicación con los puertos 36 en los cabezales 44 a través de las cavidades 37. Los extremos de las fibras 10 se cortan antes de moldearlos para abrirlas, por ejemplo como se ha descrito en lo que antecede. Opcionalmente se puede verter cola o resina de moldeado 41 adicional en la carcasa del cabezal 35 para sellar adicionalmente las fibras 10 a la carcasa del cabezal 35. Como alternativa, las láminas 26 se pueden pegar por separado para espaciar las tiras por sus bordes e insertar en una cavidad del cabezal y colocar cola o resina de moldeado 41 adicional alrededor de este montaje para pegarlo a la carcasa del cabezal 35. Como otra alternativa, se puede usar el primer procedimiento de montaje descrito en lo que antecede.

La Figura 9 muestra una imagen de un módulo 40 montado como se describe generalmente en lo que antecede. Los cabezales 44 están separados por aproximadamente 2 metros. Se usan espaciadores 33 adicionales a medio camino entre los cabezales para conservar mejor la separación de las láminas 26. Un rodillo de acero fino 45 se une a los bordes de la lámina de tela 26 en la mitad derecha del módulo para abordar el plegamiento que se puede ver en la mitad izquierda del módulo. El módulo 40 tiene una proporción de AS oxígeno/AS película biológica de aproximadamente 5.

Otra realización de un módulo 40 se puede ver en las Figuras 10a a 10c. El módulo 40 tiene una única lámina 26 con unidades de fibra 19 hueca y fibras inertes 22. Las unidades de fibra 19 hueca se extienden entre los cabezales 44 en cualquier extremo de la lámina 26. La anchura 62 de los cabezales 44 es tal que el apilamiento de múltiples módulos 40 adyacentes con los cabezales 44 de los módulos 40 adyacentes contiguos proporciona la separación deseada entre las láminas 26 adyacentes. Las carcassas del cabezal 35 de este módulo 40 son transparentes, lo que permite ver la cavidad 37. Para moldear la lámina 26, se fuerza la apertura de la carcasa del cabezal 35, que es una tira de plástico plegada, y se inserta una lámina 26. La carcasa del cabezal 35 se cierra con un muelle sobre la lámina 26. Los tubos que funcionan como puertos 36 se insertan en los extremos de las carcassas del cabezal. La resina de moldeado 31 se coloca a lo largo de la junta entre la lámina 26 y la carcasa del cabezal 35, entre los puertos 36 y la carcasa del cabezal 35 y todas las demás aberturas para sellar la cavidad 37.

Con referencia de nuevo a la Figura 4, otro módulo, que se puede denominar un módulo de cables o de lámina de cables, se puede fabricar de láminas abiertas 26 de cables 20 cortados a lo largo de bordes tejidos para abrir los extremos de las fibras 10 y moldeados con un espacio de 0 a 10 mm entre ellos en uno o un par de cabezales opuestos. En función del procedimiento de moldeado usado, que puede incluir procedimientos de moldeado descritos en lo que antecede, las fibras 10 se pueden abrir antes o después de que se inserten en la resina de moldeado. Se pueden moldear de 1 a 100 u 8-20 láminas en un par de cabezales para producir un módulo. Los módulos hechos de este modo usando las fibras de la Figura 1 tenían proporciones AS oxígeno/AS película biológica de entre 1:2,5 (0,4) y 1/11 (0,1) con un grosor de la película biológica de 250 micrómetros.

1.5 Casetes/Reactores

En general, una pluralidad de módulos se pueden agrupar para formar un casete y uno o más módulos o uno o más

casetes se pueden introducir en un tanque como parte de un reactor. Con referencia a las Figuras 11 y 12, los módulos 40 de un casete 110 se montan en un tanque 112 de un reactor piloto para tratar 1 metro cúbico al día de aguas residuales industriales que tienen un COD de más de 1.000 mg/l, normalmente de 7.000 mg/l. La alimentación se trata mediante un proceso discontinuo o continuo para reducir su concentración de CO a 300 mg/l según se requiera para descargar en el alcantarillado municipal al que se vierte. El tanque 112 tiene un volumen de llenado de 1,8 m³. Se proporcionan quince módulos 40 en el tanque 112, conteniendo cada módulo 114 seis láminas 26 de 3,6 m² de área de superficie de una tela tejida de unidades de fibra 19 de PMP, tejidas como cables 20. Las fibras 10 tienen una longitud de 1,8 m y se extienden entre un cabezal de entrada 116 y un cabezal de salida 122 de los módulos 40. El número total de cables de PMP por lámina es 1.968 y las fibras por lámina son 94464, habiendo 48 fibras por cable y un dos embalajes de 50 hebras por pulgada en la lámina 26. Asimismo, el hilo de poliéster se teje perpendicular a la fibra de PMP y el número total de hilos por módulo es 1.912. La caída de la presión del aire en la luz de la fibra está en el intervalo de 34 kPa a 69 kPa. El área total de la película biológica es de 17 m² y el área de transferencia de oxígeno es de aproximadamente 5,1 veces el área de la película biológica.

Los módulos en la realización ilustrada se montan de un modo tal que la tensión de las láminas 26 que se extienden entre los cabezales 116, 122 se puede ajustar. El casete proporciona una estructura rígida 150 que puede incluir elementos del tanque 112 o elementos de un submarco del casete adyacentes a los módulos 40 y uno o los dos cabezales 116, 122 son móviles con respecto a la estructura rígida 150.

En la realización ilustrada, la estructura rígida 150 comprende un par de placas laterales 152 que se extienden a lo largo de las superficies laterales distales de los módulos 40 exteriores de la pila de módulos 40. Como se ve mejor en las Figuras 13 y 14, los módulos 40 están unidos a la placa lateral 152 por medio de un soporte 154 que se extiende transversalmente entre las placas laterales 152 en cualquier extremo de los módulos 40. Los soportes 154 están provistos de muescas 156 con una forma para recibir lenguas con forma de T 158 que se extienden desde las superficies de los cabezales 116, 122 opuestos a las láminas 26. El módulo 40 se puede fijar a los soportes 154 deslizando las lenguas 158 de los cabezales 116, 122 hacia el interior de las muescas 156 de los soportes 154. Los soportes 154 se pueden fijar a la placa lateral 152 mediante, por ejemplo, un tornillo 160 que atraviesa una abertura 162 que engancha la placa 152 y el agujero trenzado 164 en una superficie del borde del soporte 154.

La abertura 162 puede tener una forma de ranura de modo que el soporte 154 con el cabezal 116, 122 fijado se pueda desplazar horizontalmente para incrementar o disminuir la tensión de las láminas 26. Se puede proporcionar un miembro de leva montada excéntricamente 166 entre la cabeza del tornillo 160 y la placa 152 con una superficie de diámetro externo acoplada a una superficie contigua 168 fijada a la placa 152. La rotación del miembro de leva 166 puede hacer que los soportes opuestos 154 se separen o dejar que se acerquen, de modo que se ajusta la tensión de las láminas 26 en los módulos 40.

El mecanismo de ajuste de la tensión se puede proporcionar solo en un extremo o en ambos extremos de los módulos 40 y se puede modificar para proporcionar ajuste de tensión individual para cada módulo 40 o para subgrupos de módulos 40. También se pueden usar otros procedimientos de montaje para dejar que los módulos 40 se retiren o se tensen.

En otra realización de la invención, los elementos o módulos se apilan en una configuración vertical. El flujo del arrastre de aire desde fuera de los módulos o de agua en el tanque puede ser de arriba abajo o de abajo a arriba. Esto minimiza el capital requerido para el arrastre de aire y los costes de operaciones del aire.

2.0 Operación/Aplicaciones

Las unidades de fibra 19 que tienen una o más fibras 10 se pueden usar como membranas para soportar la película biológica en un reactor. En general, el gas que contiene oxígeno fluye en al menos uno de los cabezales 44 de un módulo 40. El módulo 40 puede operarse en modo de extremo ciego sin salida aparte de a través de las fibras. Como alternativa, el módulo se puede operar de un modo con flujo cruzado, de modo que el gas entra a través de un cabezal 44 y fluye a través de las fibras 10, después sale por el otro cabezal 44. El contenido en oxígeno y el caudal del gas se pueden establecer para producir una transferencia de oxígeno que proporcione condiciones aeróbicas cerca de la superficie externa de las fibras 10, en la que el nivel de oxígeno es el más elevado. Las reacciones aerobias se producen en esta área, incluida la conversión de compuestos orgánicos en dióxido de carbono y agua, y de amoníaco en nitratos. La película biológica se puede mantener en condiciones de anoxia sobre su superficie externa o cerca del sustrato que se esté tratando y puede tener lugar la conversión de nitrógeno en nitratos. De este modo, en la película biológica se pueden realizar múltiples y simultáneas reacciones, incluida la reducción basada en carbono de orgánicos, amoníaco y nitrógeno total.

Un reactor de ejemplo 80 se muestra en la Figura 15. La Figura 15 proporciona un flujo de pistón cercano. El reactor 80 tiene un tanque 82, una entrada de alimentación 84 al tanque 82, una salida del efluente 86 desde el tanque 82, una vía de flujo 88 entre la entrada de alimentación 84 y la salida del efluente 86, y una pluralidad de unidades de fibra 19 en forma de módulos 40 en el tanque 82. Cada módulo 40 puede tener una o más láminas 26 que se extienden desde uno o más cabezales 44. La pluralidad de los módulos 40 se puede proporcionar como parte de uno o más casetes 110.

Las láminas 26 y los módulos 40 se adaptan para que quepan en el tanque 82 y llenen una parte sustancial de su

volumen. Las láminas 26 se pueden adaptar para proporcionar un uso eficiente del espacio disponible en el tanque 82. Las láminas 26 se disponen, preferentemente, en el tanque 82 en una serie de filas, mostrándose una de estas filas en la Figura 15. El grosor de las láminas 26 puede variar de 0,25 a 2 mm y las láminas 26 adyacentes se colocan en el tanque 82 una al lado de otra a una distancia de 2 a 15 mm para permitir el crecimiento de la película biológica y el flujo del agua residual entre las láminas 26 adyacentes.

El tanque 82 es más largo que profundo y puede tener una vía de flujo 88 generalmente horizontal con un mezclado mínimo. Esto se consigue dejando algún espacio cerca de los extremos (es decir, cerca de la entrada 84 y de la salida 86) del tanque 82 para el movimiento vertical del agua y dejando un espacio libre mínimo arriba, abajo y en los laterales del tanque 82. También puede colocarse un deflector 90 corriente arriba de la salida del efluente 86 para forzar que a vía de flujo 88 pase por debajo. Se proporciona una salida de lodos 92 para eliminar el exceso de lodos.

La vía de flujo 88 es, generalmente, recta sobre una porción sustancial del tanque 82 entre la entrada de alimentación 84 y la salida del efluente 86. Cada módulo 40 se mantiene en el tanque 82 por sus cabezales 44 unidos a un marco (no mostrado a efectos de claridad) que restringe cada módulo 40 en las posiciones en el reactor 80, de modo que las láminas 26 de cada módulo son, en general, paralelas a la vía de flujo 88. Preferentemente, una pluralidad de láminas 26 se separan en serie a lo largo de la vía de flujo 88 de modo que el reactor 80 tendrá características de flujo de pistón. El agua residual que se va a tratar puede reciclarse parcialmente de la salida del efluente 86 a la entrada de alimentación 84. Dicho reciclado puede aumentar la velocidad de transferencia del gas aumentando la velocidad del agua residual a lo largo de la vía de flujo 88, pero se prefiere que la proporción de reciclado sea pequeña para no proporcionar características de flujo casi más mixtas en el reactor 80.

El gas que contiene oxígeno se proporciona a cada módulo 40 a través de su conducto de entrada 216 conectado a un colector de entrada 94 localizado encima del agua que se va a tratar. Con el colector de entrada 94 localizado encima del agua, una fuga en cualquier módulo 40 no admitirá agua en el colector ni en ningún otro módulo 40. El gas sale de cada módulo 40 a través de su conducto de salida 218 que está conectado a un colector de escape 95. Aunque no es estrictamente necesario recoger los gases que salen de cada módulo 40, sí proporciona algunas ventajas. Por ejemplo, el gas en el colector de escape 95 puede ser rico en compuestos orgánicos volátiles que pueden crear olor o problemas de salud dentro de un edificio que contiene el reactor 80. Preferentemente, estos gases se tratan después o, al menos, se eliminan fuera del edificio.

El oxígeno se difunde o permea a través de las fibras 10. La cantidad de oxígeno difundido o permeado de este modo puede ser tal que una película biológica aerobia se cultiva adyacente a las láminas 26, una película biológica anóxica cultiva adyacente a la película biológica aerobia y el agua residual que se va a tratar se mantiene en un estado anaerobio. Dicha película biológica proporciona nitrificación y desnitrificación simultáneas. Una fuente de agitación 98 se opera de vez en cuando para agitar las láminas 26 para liberar la película biológica acumulada. Una fuente adecuada de agitación es una serie de aireadores de burbujas grandes que no proporcionan oxígeno suficiente al agua que se va a tratar para hacerla no anaerobia.

La Figura 16 muestra un segundo reactor 80 que tiene un tanque 82, una entrada de alimentación 84, una salida de efluente 86, una vía de flujo 88 y una pluralidad de módulos 40. Los marcos (no mostrados) sujetan cada módulo 40 en una posición mediante la cual las láminas 26 de cada módulo 40 están, generalmente, paralelas a la vía de flujo 88.

Las láminas 26 se adaptan para que quepan en el tanque 82 y llenen una cantidad sustancial de su volumen. Las láminas 26 se pueden adaptar para proporcionar un uso eficiente del espacio disponible en el tanque 182. El grosor de las láminas 26 puede variar de 0,25 a 2 mm y se colocan una al lado de otra a una distancia de 2 a 15 mm para permitir el crecimiento de la película biológica y el flujo del agua residual entre las láminas 26 adyacentes.

El tanque 82 es más profundo que largo para estimular una vía de flujo 88 recta y generalmente vertical sobre una porción sustancial del tanque 82 con un mezclado mínimo. Esto se realiza dejando un espacio mínimo cerca de los extremos y laterales del tanque 82 pero una cantidad sustancial de espacio cerca de la parte superior e inferior del tanque 82. El agua que se va a tratar se puede reciclar parcialmente desde la salida del efluente 86 a la entrada de alimentación 84 pero se prefiere que la velocidad de reciclado sea pequeña si se usa un reciclado.

El gas que contiene oxígeno se proporciona a cada módulo 40 a través de su conducto de entrada 216 conectado a un colector 94. El colector 94 puede localizarse alternativamente encima del agua que se va a tratar de modo que una fuga en cualquier módulo 40 no admitirá agua en el colector 94 ni en ningún otro módulo 40. Los conductos de salida 218 están conectados a un colector de salida 95 que puede estar localizado alternativamente encima de la superficie del agua que se va a tratar.

Como alternativa, el flujo de gas a través del módulo 40 se produce aplicando una succión a los conductos de salida 218. Los conductos de entrada 216 se colocan en comunicación fluida con la atmósfera. Mediante este procedimiento, la velocidad de difusión de gas a través de la membrana se reduce ligeramente pero la salida del soplador puede estar conectada a otro aparato para procesar los gases de escape.

El oxígeno se difunde o permea a través de las membranas 120, preferentemente de modo tal una película biológica

aerobia se cultiva adyacente a las láminas 26, una película biológica anóxica cultiva adyacente a la película biológica aerobia y el agua residual que se va a tratar se mantiene en un estado anaerobio. Una fuente de agitación 98 se opera de vez en cuando para agitar las láminas 26 para liberar la película biológica acumulada. Una fuente adecuada de agitación es una serie de mezcladores mecánicos.

5 Con referencia a la Figura 17, un reactor 100 tiene un tanque 112 con uno o más casetes 110 de módulo de película biológica soportada con membrana instalados en su interior. Los casetes pueden tener uno o más módulos 40, como se ha descrito en lo que antecede. El módulo 40 puede también ser un módulo de cable, un módulo de elementos planares u otros tipos de módulos usando una membrana como soporte de una película biológica. Cada módulo 40 tiene un cabezal de entrada de gas 116 alimentado con aire u otro gas que contenga oxígeno, a través de un
10 soplador 118. El gas pasa desde el cabezal de entrada 116 al interior (o las luces 14) de una o más fibras 10. Las paredes de las fibras 10 sirven como membranas de transferencia de gas 120. Una porción del gas atraviesa las membranas 120 mientras que otra porción, y posiblemente algunos gases captados del tanque 112, fluyen hasta un cabezal de salida 122 de los módulos 40 y a una salida de escape 124. Los gases que salen por la salida de escape 124 pueden tratarse después o descargarse en la atmósfera.

15 El agua de alimentación entra en el reactor 100 a través de una válvula de alimentación 126 y una bomba de alimentación 128. La alimentación se carga hasta un nivel de carga de alimentación 130 por encima de los módulos 40. Una vez que se ha tratado un lote de alimentación se abre una válvula de drenaje 131 para drenar el tanque 112 de agua tratada. El agua tratada puede fluir a un alcantarillado municipal, al ambiente, descargarse directamente en una corriente receptora o a otra etapa de MSBBR (reactor discontinuo de película biológica soportada en membrana)
20 o a otro tipo de reactor para su procesamiento adicional.

Una película biológica 132 crece en el exterior de las membranas 120. Para controlar el grosor de la película biológica 132, uno o más aireadores 134 se proporcionan debajo de los módulos 140 y se conectan a un soplador de arrastre de aire 136 a través de una válvula de aireación 138. El soplador de arrastre de aire 136 se puede manejar para proporcionar burbujas cuando el tanque 112 está lleno de agua. Las burbujas suben por el módulo 140 y eliminan físicamente algo de la película biológica 132 de las membranas 120. Los aireadores 134 también están
25 fijados a un suministro de gas 140 a través de una válvula de suministro de gas 142. El suministro de gas 140 puede contener un gas presurizado o un generador o bomba de gas u otro dispositivo para suministrar un gas cuando el tanque 112 está vacío. El reactor 100 también tiene una bomba para líquidos 144 operable para cargar el tanque 112 con un líquido distinto al agua de alimentación. La bomba para líquidos 144 puede estar conectada a un depósito que contiene el líquido o a una fuente de agua limpia que pasa a través de un modificador, tal como un dispositivo o calentador de inyección química. El tanque 112 está, generalmente, abierto a la atmósfera y contiene líquido a, generalmente, presión ambiental, pero tiene una tapa 146 que se puede cerrar de vez en cuando para proporcionar un espacio cerrado.

El principal proceso de tratamiento en el reactor 100 implica la aplicación discontinua de alimentación a la película biológica 132. El tanque 112 se llena con alimentación hasta el nivel de alimentación 130 usando la bomba de alimentación 128. La bomba de alimentación 128 está conectada al suministro de alimentación a través de un depósito de ecualización 148 para permitir la operación discontinua a partir de una alimentación no discontinua. La alimentación permanece en el tanque 112 durante un periodo de tiempo, por ejemplo entre 12 y 96 horas, mientras que se trata con la película biológica 32. Durante el tratamiento, la tapa 46 puede permanecer abierta, pero el agua
40 en el tanque 112 es, generalmente, anóxica o anaerobia. No obstante, el oxígeno, normalmente como componente del aire, es suministrado a la película biológica 132 a través de la membrana 120 mediante el soplador 118 creando una región aeróbica sobre la película biológica 132. De vez en cuando durante el periodo de tratamiento se puede abrir una válvula de recirculación 149 y accionar la bomba de alimentación 128 para mezclar el agua de alimentación en el tanque 112.

45 Después de que la película biológica 132 ha digerido la alimentación hasta el grado deseado, la válvula de drenaje se abre 131 para drenar el tanque 112. El drenaje se puede producir en dos etapas. En la primera etapa, la suspensión de los sólidos presente en el fondo del tanque se drena para eliminar los sólidos sedimentados que después se transfieren a un sistema de manipulación de lodos. En la segunda etapa, el líquido decantado transparente se drena después hasta el tratamiento de la segunda etapa o sistema de desinfección o se descarga en un alcantarillado o se descarga en una corriente de recepción.
50

El suministro de gas portador de oxígeno se puede continuar a través de las operaciones de llenado para continuar la digestión del material adsorbido sobre la película biológica y para asegurar que el tratamiento comienza inmediatamente en cuanto una porción de la película biológica se sumerge en el agua residual. De un modo similar, la aireación puede continuar a través de la operación de drenaje para continuar el tratamiento siempre que una
55 porción de la película biológica esté sumergida y para digerir los orgánicos en la película biológica durante un periodo de tiempo corto incluso cuando no se ha sumergido, con el fin de maximizar el tiempo de tratamiento de cada lote.

Con referencia ahora a la Figura 18 se muestra un reactor 400 que tiene características similares a las del reactor 100 pero sin el suministro de gas 140, la válvula de suministro de gas 142 o la bomba para líquidos 144.

60 En un procedimiento discontinuo, la concentración del agua residual disminuye hacia el final de cada periodo de

procesamiento. La demanda de oxígeno suministrado a la película biológica también disminuye y, por tanto, el suministro de gas a los módulos se puede reducir. Los módulos que usan fibras al menos parcialmente en forma de cables permiten un área de superficie muy elevada para la transferencia de oxígeno y el crecimiento de la película biológica. Los módulos de cable son particularmente útiles en el tratamiento de aguas residuales que tengan una COD baja, por ejemplo 1.000 mg/l o menor, 500 mg/l o menor o 300 mg/l o menor, porque proporcionan áreas de superficie grandes. La pérdida de presión a través de las luces de las fibras finas no es limitante con la cantidad de suministro de aire requerida para liberar oxígeno a una película biológica que trata aguas residuales con un contenido bajo en COD. Aunque pueden ser útiles para tratar otras aguas residuales también, los módulos de cable se pueden usar cuando la alimentación inicial tiene niveles bajos de COD o como segunda o tercera etapa tras otros procedimientos o aparatos de tratamiento que reducen la concentración de COD de aguas de alimentación más fuertes. Con las aguas residuales municipales u otras alimentaciones, por ejemplo alimentaciones que tienen una COD de 1.000 mg/l o más, se puede usar un aparato de dos etapas. En una primera etapa, los módulos de la película biológica soportada en membrana en forma de una lámina de tela se usan como en la Figura 9. La salida de un reactor que contiene estos módulos se alimenta a un reactor que contiene módulos de cable con láminas como en la Figura 4 que proporciona un tratamiento de segunda etapa. Los inventores han observado que la reducción rápida de la COD de un agua residual con niveles altos de COD limita la desnitrificación producida en un reactor de película biológica soportada en membrana. Con un procedimiento de dos etapas, la primera etapa se puede optimizar para la eliminación de COD. La alimentación a la segunda etapa tiene una COD reducida y la segunda etapa se puede optimizar para soportar microorganismos nitrificantes, por ejemplo de las especies de nitrobacter y nitrosomas, sobre microorganismos que degradan el carbono, para proporcionar una mejor oxidación del amoníaco en la segunda etapa.

En general, al considerar la COD, se usa la COD soluble ya que la COD soluble se digiere más fácilmente mediante una película biológica 30 y se mide con facilidad. No obstante, particularmente para los módulos 40 con cables laxos 20 sobre algunos o todos los de su área, algunas partículas de COD insoluble quedan atrapados en la película biológica. Con el tiempo, estas partículas se rompen en COD soluble y se digieren. De acuerdo con esto, el COD total o total biodegradable también puede ser un parámetro relevante en algunas realizaciones.

Para las alimentaciones que tienen CODs de 1.000 mg/l o más, un módulo 40 puede tener un $AS_{OXIGENO}/AS_{PELICULA\ BIOLÓGICA}$ de 1 o más, por ejemplo entre 1 y 10. Por ejemplo, los módulos 40 que tienen láminas 26 tejidas a través de toda la longitud de las fibras 10, en un tejido denso con un número elevado de fibras para cargas muy altas, son útiles. Para las alimentaciones que tienen CODs de 1.000 mg/l o más, un módulo 40 puede tener un $AS_{OXIGENO}/AS_{PELICULA\ BIOLÓGICA}$ de 0,2 y 2,5. Por ejemplo, los módulos 40 que tienen láminas tejidas a través de toda la longitud de las fibras pero con un tejido menos denso o láminas 26 con un área de cable 20 abierto central, son útiles. Para las alimentaciones que tienen CODs de 300 mg/l o menos, un módulo 40 puede tener un $AS_{OXIGENO}/AS_{PELICULA\ BIOLÓGICA}$ de 1 o menos, por ejemplo entre 1 y 10. Por ejemplo, los módulos 40 con láminas 26 tienen un área de cable 20 abierto central o los módulos 40 de cables 20 laxos son útiles.

La Figura 19a muestra un reactor a escala de laboratorio que tiene un módulo 40 fabricado mediante moldeado de 100 cables 20 cada uno de 96 fibras 10 como se muestra en la Figura 1, en un par opuesto de cabezales 44. El módulo 40 se usó para tratar un agua de alimentación en un procedimiento discontinuo. En el procedimiento, el módulo 40 se localizó en un tanque 112 cargado hasta 4 l de agua residual sintética. El tanque se drenó y cargó con alimentación fresca cada 1 a 7 días. Se aplicó aire al módulo a 10 ml/min. Una película biológica 30 de un grosor estable creció en el módulo 40 durante un periodo de más de 6 meses. La película biológica 30 fue esencialmente endógena, su velocidad de crecimiento es generalmente igual a su velocidad de deterioro, excepto que una pequeña parte de la película biológica 30 se soltó y se descargó con parte de los drenajes del tanque. Una sección de un cable 20 se muestra en la figura 19b. Las fibras individuales 10 se cubren en película biológica 30. En algunos lugares, la película biológica 30 alrededor de un grupo pequeño de fibras 10 puede fundirse para una porción de la longitud de las fibras 10. El grosor de la película biológica 30 mostrada es de aproximadamente 250 micrómetros.

Con referencia ahora a la Figura 20 se muestra otro reactor como adecuado, por ejemplo para un tanque séptico, retroajuste del tanque séptico o una planta de tratamiento naval. El reactor concreto mostrado es un retroajuste del tanque séptico usando un tanque séptico estándar 410 con una entrada 412 y una salida 414 en lados opuestos. El tanque 410 tiene dos etapas que incluyen una cámara primaria 416 y una cámara secundaria 418. Una pared divisora 420 tiene un orificio sumergido 422 que permite el flujo entre las cámaras 416, 418. Uno o más módulos 424 se colocan en la cámara secundaria 418. Se suministra aire en los cabezales inferiores de los módulos 424 a través de tubos de entrada 426. El aire de salida se ventila desde los cabezales superiores de los módulos 424 a través de tubos de escape 428. Periódicamente se aplica arrastre de aire a un rociador 430 localizado debajo o cerca de la parte inferior de los módulos 424 a través del tubo para arrastre de aire 432. Cada uno de los módulos 424 tienen de 1 a 100 o de 8 a 20 láminas como en la Figura 4 moldeados en un par de cabezales para producir un módulo 424. Por ejemplo, un tanque séptico para un solo domicilio puede tener un módulo de 8 a 10 láminas 424 alimentado con soplador de aire 1/4 hp y crear un descenso de presión de aproximadamente 1 a 7 psi o de aproximadamente 3 psi. Con una alimentación típica de un domicilio, una película biológica endógena crece generalmente sobre las superficies de la fibra individual 19 y del cable 20. El tratamiento biológico en la película biológica tiene como resultado una reducción de los sólidos suspendidos y de la demanda química de oxígeno del efluente, lo que permite reducir el tamaño o eliminar el campo del tanque séptico.

Se pueden instalar un número de biorreactores en serie para proporcionar patrones de flujo que se acercan al flujo de pistón. Esto tiene como resultado velocidades de reacción mayores y mejor utilización del oxígeno.

Se pueden usar diferentes niveles de oxígeno en diferentes etapas del biorreactor introduciendo oxígeno para cumplir los diferentes niveles de demanda de oxígeno y alcanzar cargas elevadas del biorreactor. También se pueden usar diferentes niveles de oxígeno a diferentes tiempos en un único reactor o etapa de un reactor. Para incrementar el nivel de oxígeno, se puede aumentar la presión del gas alimentado en las luces de las fibras o el contenido en oxígeno del gas de alimentación. De un modo similar, para disminuir el nivel de oxígeno, se puede disminuir la presión del gas alimentado o el contenido en oxígeno. También se pueden usar niveles de oxígeno más altos en etapas corriente arriba de reactores de múltiples etapas o en reactores muy cargados. Los niveles de oxígeno también se pueden aumentar periódicamente o de vez en cuando para corresponder a periodos de tiempo en los que la carga en un reactor se aumenta temporalmente, por ejemplo para responder a variaciones estacionales o diarias en la fuerza o la cantidad del agua residual.

3.0 Control de la película biológica

En un reactor de película biológica soportada con membrana puede ser ventajoso controlar el grosor de la película biológica sobre las membranas. Por ejemplo, en el reactor 100 (Figura 17), aunque el tanque 112 se drena periódicamente, la mayoría de la película biológica 132 se queda en las membranas 120, en particular cuando la alimentación tiene un nivel elevado de COD, por ejemplo de 300 mg/l. El exceso de grosor de la película biológica 132 de, por ejemplo, un grosor de 2 mm o superior, proporciona un incremento mínimo, si produce alguno, de la velocidad de digestión, sobre una capa más fina, por ejemplo de un grosor de 1 mm o menos. No obstante, mantener fina la película biológica 132 permite acercar las láminas 26 de los módulos 40, lo que proporciona más área de superficie por volumen de módulo. Este incremento del área de superficie, generalmente más que desviaciones de cualquier incremento minoritario en la digestión que puede, o no, alcanzarse con una película biológica más espesa 132.

De acuerdo con lo anterior se proporcionan medios para evitar que la película biológica 32 se convierta innecesariamente espesa. Los procedimientos siguientes pueden proporcionarse individualmente o de varias formas. La frecuencia y el tratamiento varían con la velocidad de crecimiento de la película biológica 132. Por ejemplo, una película biológica 132 puede crecer unos 10 micrómetros al día y el módulo 40 se puede fabricar para tolerar una película biológica de entre 0,2 mm y 0,8 mm. Los procedimientos de control de la película biológica pueden ser requeridos cada de 5 a 1' días. Como alternativa, el periodo entre los procedimientos de control de la película biológica puede estar unido a la cantidad de COD que la película biológica ha digerido desde el último procedimiento de control, que, a su vez, está relacionado con el tiempo y el incremento del grosor de la película biológica desde el último procedimiento de control. Por ejemplo, los procedimientos de control se pueden realizar cuando la película biológica ha digerido aproximadamente 20 a 200 gramos de CODs por metro cuadrado de película biológica desde el último procedimiento de control. Cuando los procedimientos de control o de reducción del grosor se realizan con frecuencia se mantiene una capa de película biológica estable durante periodos de tiempo extendidos, incluso cuando cada periodo de control no tenga un efecto drástico sobre el grosor de la película biológica. Los procedimientos de control se pueden aplicar a la totalidad de la película biológica de una vez o a una porción de la película biológica cada vez.

3.1 Procedimientos mecánicos del control de la película biológica

Algunos procedimientos para controlar el grosor de la película biológica 132 sobre las membranas 120 implican eliminar mecánicamente parte de la película biológica 132. En uno de estos procedimientos, todavía Con referencia a la Figura 17, se proporcionan uno más aireadores 134 debajo de los módulos 114 y conectados a un soplador 136 a través de una válvula de aireación 138. Con el tanque 112 fluido o líquido, el soplador 136 lo maneja para crear burbujas a partir del aireador 134 debajo de los módulos 40. Esto se puede realizar, por ejemplo, una vez todos los días a una vez a la semana. También se puede usar aire para mezclar periódicamente los contenidos del biorreactor.

Otros procedimientos mecánicos incluyen pulverizar el módulo 40 con agua, mientras el tanque 112 se vacía, eliminar físicamente la película biológica 132 como con un peine, alambres o cepillo. La película biológica 132 eliminada cae al fondo del tanque 112 y se puede lavar a través de un drenaje 131 para procesar adicionalmente los lodos residuales. Estos procedimientos mecánicos se pueden realizar con menor frecuencia que otros procedimientos y, cuando se realizan, pueden efectuarse una vez que otro procedimiento ha eliminado la película biológica 132.

Los procedimientos mecánicos para controlar la película biológica se potencian proporcionando a la lámina 26 una superficie áspera o texturada, siendo la altura de las ondulaciones de la superficie en el intervalo del grosor deseado para película biológica. El grosor de la película biológica deseada puede ser de 200 a 1.000 micrómetros.

3.2 Procedimientos químicos

En otra realización se usa gas ozono, introducido en la luz de la fibra, para oxidar una parte de la película biológica para hacerla digerible. Después se proporciona oxígeno a las luces para permitir que la película biológica digiera los

orgánicos oxidados de modo que se reducen las cantidades totales de sólidos generados y para controlar el grosor de la película biológica. El oxígeno se puede proporcionar como una etapa aparte o como parte de las etapas regulares de digestión de agua residual. El reactor se puede tratar de este modo mediante un módulo o sección cada vez.

- 5 En otro procedimiento, se aplica una sustancia control al lateral del tanque de la película biológica 132. Por ejemplo, una vez que se ha drenado el tanque 112, agua limpia calentado a, por ejemplo, 35-55 °C, se pueden bombear en el tanque 112 mediante la bomba de líquidos 144. El agua calentada se mantiene en el tanque 112 durante un periodo de tiempo (periodo de contacto), por ejemplo 3-5 horas, suficiente para matar una fracción de la película biológica 132 y disolver algunos de los orgánicos que forman la matriz de la película biológica. La película biológica también queda privada de alimentación en alguna medida ya que la alimentación se ha eliminado. Puede continuar aplicándose oxígeno a las luces o puede suspenderse. También se puede proporcionar arrastre de aire durante este periodo para potenciar la eliminación de la película biológica, aunque puede ser más económico llevar a cabo esta operación sin arrastre de aire, particularmente si el soplador 136 y el aireador 134 pueden eliminarse del reactor 100 completamente. La película biológica 132 también queda privada de alimentación en alguna medida. Tras el periodo de contacto, el agua se drena a través de una válvula de drenaje 131. En un sistema de tratamiento industrial, el agua de descarga tendrá algo de COD pero la duración del periodo de contacto se puede escoger de un modo tal que la descarga sea todavía adecuada para descargar en un alcantarillado municipal ya que la mayoría de los organismos muertos permanecerán en la película biológica 32. Durante una última parte del periodo de contacto, la parte interna viva de la película biológica 32 biodegradará los organismos muertos. El efecto del agua calentada, o agua sin calentar, se puede potenciar con la adición de productos químicos tales como ácidos, por ejemplo con un pH entre 1 y 6 o entre 3 y 3, bases, por ejemplo con un pH entre 8 y 13 o entre 9 y 11, o enzimas. Los productos químicos y su concentración y tiempo de contacto se escogen para disolver parcialmente o debilitar algunos orgánicos que son un componente estructural de la película biológica pero para matar solo una fracción de los microorganismos dejando la mayoría en una película biológica activa para el rápido reinicio del reactor.
- 25 En otro procedimiento, se aplica una sustancia control gaseosa al lateral del tanque de la película biológica 132. El gas se aplica desde el suministro de gas 140 mientras que el tanque 112 se drena al final de un ciclo discontinuo. La tapa 146 se cierra de modo que el gas permanezca en el tanque 112. El gas puede ser de varios tipos, por ejemplo un ácido como el cloro. Como alternativa se puede usar ozono. La principal finalidad del ozono es romper las paredes celulares de los microorganismos en la película biológica 132 para hacerla más biodegradable. La cantidad de ozono aplicada no sería suficiente para oxidar más de aproximadamente el 5 % de la película biológica directamente y para matar solo una fracción de los microorganismos presentes en la película biológica. No obstante, el material orgánico refractario se convierte en material orgánico que más tarde es reducido mediante oxidación biológica cuando se vuelve a cargar el tanque. El ozono se genera en una fase gaseosa (aire u oxígeno) y se dispersa fácilmente en un tanque vacío 112. El ozono se mantiene en el tanque 112 durante un periodo de tiempo que deja que la película biológica 132 lo absorba. Las condiciones redox en el tanque 112 se pueden controlar al tiempo que se drena para estimular la reducción de lodos. Se pueden establecer condiciones alternas aerobias y anaerobias en la película biológica 132 introduciendo y suspendiendo la introducción de la alimentación en el cabezal de entrada 113 mientras que el tanque 112 se carga con ozono para potenciar los efectos del ozono. Los organismos muertos y parcialmente oxidados siguen en la película biológica 132 y más tarde son digeridos *in situ* de modo que la biomasa en exceso no tiene que eliminarse del tanque 112 para tratamiento adicional. La desnitrificación también se puede mejorar porque aumenta la proporción carbono/nitrógeno (C/N). También se puede usar ozono en este procedimiento con membranas 120 que son sensibles al ozono, ya que las membranas 120 están protegidas por la película biológica 32.

3.3 Procedimientos biológicos

- 45 En otro procedimiento, se usan gusanos u otros animales o formas de vida superior se usan en una sección aislada del reactor para digerir el exceso de película biológica para reducir la generación de biosólidos. Los gusanos etc. crecen en un biorreactor aparte. Cuando se desea se aplican los gusanos etc. a la película biológica cargando el tanque con una suspensión líquida o salmuera que contenga los gusanos etc.

- 50 Otro procedimiento de control de la película biológica es la respiración endógena. Mediante este procedimiento, la carga de alimentación aplicada a la película biológica 132 se mantiene de modo que las velocidades de deterioro de la película biológica 132 son iguales a su velocidad de crecimiento; En la práctica, la velocidad de crecimiento puede superar a la velocidad de deterioro por una pequeña cantidad en un procedimiento discontinuo porque algo de la película biológica 132 se puede desprender y salir del tanque 12 cuando se drene. No obstante, la respiración endógena prácticamente solo se produce a velocidades de carga bajas y, por tanto, es más adecuada para alimentaciones con concentraciones bajas de COP, por ejemplo 1.000 mg/l de COD o menos, o 300 mg/l de COD o menos.

- 60 Otro procedimiento es la privación de alimento periódica. En este procedimiento, la alimentación se mantiene en el tanque 112 durante un periodo de tiempo prolongado de modo que la concentración de COD disminuye a niveles de lo que hay al final de un procedimiento discontinuo típico. La película biológica 132 no está nutrida y se deteriora rápidamente hasta el inicio del siguiente ciclo discontinuo. La película biológica también puede estar privada de alimentación al eliminar la alimentación y cargar el tanque con agua limpia, por ejemplo agua corriente o potable) o

cargar el reactor a menos de 0,1 kg de CODs por kg de MLSS por día.

En otro procedimiento, el suministro de gas en el cabezal de entrada 116 del módulo 40 se activa e inactiva cíclicamente durante un periodo de tiempo. El suministro variable de oxígeno sorprende a la película biológica 132 e incrementa el deterioro. Las áreas aeróbicas y anaeróbicas en la película biológica se expanden y se contraen al consumir o ser consumidas por la otra. Como alternativa se pueden añadir gases tales como ozono o cloro al cabezal interno 116 para aumentar el choque.

Con el control químico o biológico de la película biológica se puede usar una separación más próxima entre las láminas 26, por ejemplo 3-4 mm, ya que el flujo hidráulico de los módulos 40 no se requiere como con arrastre de aire, agitación u otros procedimientos físicos de la eliminación de la película biológica. Los procedimientos químicos y biológicos también son útiles cuando las láminas 26 o fibras 10 o unidades 19 no están dispuestas de modo que un flujo de aire de arrastre no alcanzará todas las partes de la película biológica. Los procedimientos de control químico o biológico de la película biológica también pueden ser útiles con láminas 26 abiertas o módulos con fibras sin soporte o laxas, unidades de fibra 19 o cables 20 que se dañarían por el arrastre de aire, agitación o procedimientos físicos. Como alternativa se pueden combinar uno o más procedimientos químicos, uno o más procedimientos mecánicos o uno o más procedimientos biológicos.

Ejemplos:

Ejemplo 1: Reducción de la demanda química de oxígeno (COD) en un biorreactor soportado con membrana

Se fabricó un biorreactor a escala de laboratorio usando un módulo generalmente como se presenta en las Figuras 6-9 excepto que solo se uso una única lámina de las fibras. La longitud de la lámina fue de 0,57 m y la altura de 0,45 m, proporcionando un área total de película biológica de aproximadamente 0,5 m² suponiendo que tiene ambos lados de la lámina disponibles para el crecimiento de la película biológica. La proporción del área de superficie para la transferencia de gas y el área de superficie de la película biológica fijada fue de entre aproximadamente 5 y 6. El flujo de aire de entrada fue 25 ml/min a una presión de 34,5 kPa. El volumen del reactor fue de 30 l. Se introdujo agua residual sintética con un nivel de COD de 1.000 mg/l de un modo discontinuo periódicamente. El agua residual sintética constó de 1,0 g/l de peptona soluble y 0,03 g/l de hidrógeno fosfato sódico disuelto en agua corriente. Se realizó una serie de reacciones discontinuas para determinar la velocidad de la reacción y la eficiencia de la transferencia de oxígeno. La Figura 21 presenta los resultados de tres periodos discontinuos: Un periodo de tres días desde el día 2 al día 5, un periodo de tres días desde el día 6 al día 9 y un periodo de un día desde el día 9 al día 10, se puede ver que se obtuvo una reducción de COD del 80-90 % en cada uno de los periodos discontinuos de tres días. Se alcanzó una reducción de COD de aproximadamente 40 % en el periodo discontinuo de un día, lo que sugiere que la velocidad de la reducción de COD es superior, mientras que la concentración de aguas residuales es mayor y que la reducción de COD se estabiliza a medida que disminuye la concentración de COD en el lote. La eficiencia de la transferencia de oxígeno durante esta serie de ensayos varió de 50 a 70 %, medido por la concentración de salida del aire.

Ejemplo 2: Ensayo de laboratorio con agua residual sintética

Se diseñó un biorreactor a escala de laboratorio usando un módulo de lámina única como se ha descrito para el ejemplo 1. Se introdujo agua residual sintética con un nivel de COD de 1.000 mg/l, como se describe en el Ejemplo 1, y se trató con la película biológica sobre el módulo. Las velocidades de eliminación de COD y de transferencia de oxígeno y el grosor de la película biológica se calcularon o midieron y registraron. Durante aproximadamente los primeros 21 días, el reactor (que tiene un volumen de carga de 30 l) se drenó y se volvió a cargar con alimentación tras periodos discontinuos variables para mantener las COD en el tanque generalmente entre 500 y 1.000 mg/l. El día 8 y el día 16, además de vaciar el tanque y volver a cargarlo con nueva alimentación, el módulo se lavó a presión con un pulverizador de agua para eliminar la película biológica. Desde aproximadamente el día 21 al día 30 se privó de alimento a la película biológica (es decir, el tanque se llenó con agua corriente, es decir limpia o potable, mientras que se siguió suministrando oxígeno al módulo) y se realizaron tratamientos de arrastre de aire. Aproximadamente a los 30 días se vació el tanque y se volvió a cargar con alimentación. A partir de entonces se vació el tanque y se volvió a cargar con agua residual a diario pero no se realizaron etapas para controlar la película biológica, para dejar que la película biológica aumente de grosor y observar el efecto y la velocidad de dicho crecimiento. Los resultados del ensayo se presentan en la Figura 21. Se puede observar que la velocidad de eliminación de COD variaba entre aproximadamente 19 y 38 gramos por metro cuadrado al día sin ser proporcionado al grosor de la película biológica. La transferencia de oxígeno varió entre aproximadamente 10 a 15 % gramos por metro cuadrado al día, también sobre un intervalo relativamente amplio de grosor de la película biológica, es decir de aproximadamente 0,5 mm a más de 2,3 mm, grosor en el cual el dispositivo de medición alcanzó su grosor máximo.

Ejemplo 3: Estudio piloto con agua residual industrial

Se realizó un pequeño estudio piloto usando cuatro módulos generalmente como se muestra en las Figuras 6 a 9. Cada módulo tiene 6 láminas de fibras y un área de superficie planar total, o área de la película biológica, de aproximadamente 3,6 m² y una proporción entre el área de superficie para la transferencia de gas y el área de superficie de la película biológica unida de entre aproximadamente 5 y 6. Los módulos se instalaron en un tanque de 300 litros. El reactor se operó inicialmente con peptona (aproximadamente 2.000 mg/l) y, después, se añadió

peptona al agua residual en una proporción descendente para acelerar el crecimiento inicial de la película biológica sobre las láminas, pero se aclimata la película biológica al agua residual. Después de aclimatar la película biológica se realizaron operaciones discontinuas, llenando el tanque con agua residual industrial. El agua residual se extrajo de múltiples fuentes en proporciones elegidas para crear una COD de alimentación de aproximadamente 3.000 mg/l. Se suministró oxígeno "puro" a los módulos a una presión de alimentación de aproximadamente 5 psi. Como se muestra en la Figura 23, la concentración de las COD descendió a menos de 1.000 mg/l en aproximadamente 2-3 días. También se observó que las velocidades de eliminación de COD disminuían con la concentración de COD en el agua residual y con el tiempo durante cada lote.

Las velocidades de eliminación de COD se calcularon en periodos de tiempo diferente durante los lotes correspondientes a concentraciones diferentes de COD en el tanque. Los lotes que tienen COD iniciales de 5.000 mg/l y 7.000 mg/l también se analizaron para observar el efecto de concentraciones iniciales de COD mayores sobre la velocidad de eliminación de COD. Los resultados se presentan en la Figura 24. Como se indica en la Figura 24, la velocidad de eliminación fue, en general, más alta a cargas mayores excepto porque, en el reactor analizado, cargas muy altas no siempre producían velocidades de eliminación muy altas, lo que sugiere que uno o más de la presión de aire en la alimentación, el área de superficie para transferencia de aire al área de superficie de la película biológica o el área del módulo total fueron menos que el óptimo para cargas muy altas.

Se usó el mismo reactor para una serie de ensayos realizados en operación continua. En los ensayos se variaron los valores de HRT y COD de entrada. El gas de alimentación fue oxígeno "puro" a una presión de alimentación de 5 psi. Para cada ensayo, las COD de entrada medias, las COD de salida y la velocidad de eliminación, organizados por HRT del ensayo, se presentan en la Figura 25, las velocidades de eliminación de COD generalmente disminuían a medida que aumentaba la HRT o a medida que disminuía la COD de entrada

La eficacia de los procedimientos de control de películas biológicas también se verificaron en el reactor durante los ensayos discontinuos mencionados en lo que antecede. Se aplicó aireación suave de aproximadamente 1 scfm/módulo durante 15 segundos cada hora, principalmente para mezclar y se aplicó un arrastre de aire más agresivo de aproximadamente 4 scfm/módulo durante 2-3 minutos cada 2-3 días, principalmente para eliminar la película biológica. El grosor de la película biológica se mantuvo con éxito en un intervalo de aproximadamente 0,2 mm a menos de 0,8 mm con independencia de las COD medias en el reactor, que varió de aproximadamente 300 mg/l a aproximadamente 5.500 mg/l.

Ejemplo 4: Estudio piloto con agua residual municipal

Se realizó otro estudio piloto usando dos módulos como se describe en el Ejemplo 3, teniendo cada uno un área de superficie de aproximadamente 3,6 m², instalados en un tanque de 85 litros. Se suministró aire a los módulos a una presión de alimentación de 34 kPa. Inicialmente se añadió peptona al agua cloacal para acelerar el crecimiento inicial de la película biológica en las láminas como se ha descrito para el ejemplo 3. Se realizaron operaciones discontinuas, llenando el tanque con agua residual municipal, se pasó por un tamiz de 3 mm, teniendo unas COD iniciales de media de aproximadamente 100 a 200 mg/l pero, en ocasiones, de hasta 700 mg/l. Al final de los lotes, la concentración de COD había disminuido generalmente a menos de 30 mg/l y la velocidad de eliminación de COD también había disminuido generalmente a menos de 1 g/m²/d. Los niveles de COD y CODt con respecto al tiempo dentro de un periodo de muestra en un lote se presentan en la Figura 26.

También se realizó un estudio con un procedimiento continuo, realizándose diferentes ensayos en un periodo total de aproximadamente 60 días. En los ensayos, la HRT varió de 24 horas a 3 horas y las COD de entrada de 100 mg/l a 200 mg/l. Las velocidades de eliminación medias tendían a ser menores con las velocidades de carga menores.

En el estudio de proceso continuo también se midió la cinética de nitrificación y desnitrificación. Los resultados de 4 ensayos se presentan en la Tabla siguiente.

Tabla 1: Nitrificación y desnitrificación en operación continua

HRT (h)	COD de entrada (mg/l)	NH3-N de entrada (mg/l)	COD de salida (mg/l)	NH3-N de salida (mg/l)	NO3-N de salida (mg/l)
11,5	165	18,2	29	3,5	3,4
7,8	117	19,6	25	5,4	4,4
4,4	105	17,7	35,9	5,6	4,3
3,1	84	18,7	37,6	11,6	1,3

En el estudio de aguas residuales municipales también se analizó el control de la película biológica. Se observó un grosor medio de la película biológica de 0,2 mm con arrastre de aire, pero parecía haber una película biológica más gruesa entre algunas láminas individuales, lo que indica que estas áreas no estaban recibiendo el arrastre completo

del aire.

Ejemplo 5: Estudio a escala de laboratorio con un módulo de cable con agua residual

Se analizó un módulo similar al mostrado en la Figura 5, teniendo 100 cables de fibra de PMP, teniendo cada cable 96 fibras de PMP de pared densa. El área de superficie total de las fibras en el módulo fue de 0,54 m². En el módulo cada cable se moldeó individualmente en un cabezal superior e inferior. El módulo se alimentó con un suministro de aire a una velocidad de 10 ml/min en el cabezal inferior y salió por el cabezal superior. El módulo se suspendió, con el cabezal superior sujeto en una pinza en la superficie del agua y el cabezal inferior hacia abajo, en un contenedor cargado hasta un volumen de 4 l. El módulo se manejó en modo discontinuo usando un agua residual sintética de COD de 1.000 mg/l y también aguas residuales de un tanque séptico. Al principio de cada periodo de procesamiento discontinuo se cargó el contenedor con agua residual. Se suministró aire al módulo para soportar una película biológica en crecimiento en las fibras durante periodos de procesamiento que varían de entre aproximadamente 1 a 7 días, al tiempo que no se añadió ni se retiró del tanque agua residual. Generalmente se usaron periodos discontinuos más cortos con agua residual que tiene concentraciones menores de COD. Al finalizar este periodo de procesamiento se drenó el tanque. Se añadió nueva agua residual para iniciar el siguiente periodo de procesamiento. A varios tiempos se retiró el módulo para medir de un modo no destructivo el grosor de la película biológica sobre el mismo y se midió la COD en el agua residual.

Las mediciones del grosor de los ensayos con agua residual sintética se registran en la Figura 27, que muestra el grosor de la película biológica sobre las fibras en el periodo de 180 días de operación. Inicialmente no había película biológica pero después de aproximadamente 20 o 40 días se había desarrollado una película biológica con un grosor que generalmente variaba entre aproximadamente 100 y 300 µm. Para la mayoría de los ensayos realizados no se usaron procedimientos adicionales para controlar el grosor de la película biológica y, en cualquier caso, el grosor de la película biológica permaneció generalmente estable y aceptable. Se observaron que porciones pequeñas de la película biológica se desprendían del módulo durante al menos algunas de las operaciones de drenaje del tanque y, por otro lado, el crecimiento endógeno de la película biológica proporcionaba control de la película biológica. No obstante, durante un periodo de aproximadamente 15 días, el módulo se manejó en un modo de privación de alimentación. En este modo el tanque se cargó con agua corriente y se continuó con la introducción de aire. Se redujo el grosor de la película biológica de aproximadamente 250 µm a aproximadamente 100 µm durante el periodo de privación, lo que indica que el periodo fue efectiva en la reducción del grosor de la película biológica.

Las Figuras 28 y 29 muestran la velocidad de eliminación de COD en ensayos que usan el agua residual sintética. La Figura 28 muestra la velocidad de eliminación como una función del tiempo y la Figura 29 muestra la velocidad de eliminación como función de la concentración de COD. Con referencia primero a la Figura 28, cada línea vertical dentro de la figura indica el inicio de un nuevo periodo de procesamiento discontinuo. De acuerdo con esto, en los momentos indicados por las líneas verticales se tiene que añadir al tanque nuevas aguas residuales que tengan una COD de 1.000 mg/l. A medida que el lote progresa, el agua residual se trata y en consecuencia, la concentración de COD se reduce. Como se muestra en la Figura 28, la velocidad de eliminación de COD tendía a disminuir con el tiempo en cada periodo de procesamiento discontinuo, lo que sugiere que la velocidad de eliminación está relacionada con la concentración de COD en el agua residual. Además, la velocidad de eliminación en el lote entre el día 154 y el día 159 se acercaba a cero, lo que indica que tiempo de procesamiento adicional tendría un valor insignificante. En la Figura 29, la velocidad de eliminación de COD se representa directamente contra la concentración media de COD en el agua residual. Como se indica en la Figura 29, la relación entre la velocidad de eliminación de COD y la concentración de COD en el agua residual es casi lineal, siendo la velocidad de eliminación generalmente proporcional a la concentración de COD.

Para los ensayos usando agua residual de un tanque séptico, el agua residual se obtuvo de una segunda cámara de un tanque séptico. Para un ensayo, las características del agua residual fueron las siguientes:

Demanda química de oxígeno total (CODt): 377 mg/l

COD soluble (CODs): 199 mg/l

Nitrógeno amónico (AN): 55,1 mg/l

Sólidos totales suspendidos (STS): 70 mg/l

El módulo se operó en modo discontinuo con periodos de procesamiento discontinuo de aproximadamente 24 horas para simular las condiciones de reacción reales en un tanque séptico. Se suministró aire durante estos periodos a la velocidad dada anteriormente para proporcionar oxígeno a la película biológica. Tras un periodo de procesamiento de 22 horas y 35 minutos de duración se analizó una muestra del agua residual tratada y los resultados fueron los siguientes:

CODt: 140 mg/l

CODs: 73 mg/l

AN: 24,7 mg/l

STS: 1 mg/l

Se alcanzó una mejora significativa de la calidad del efluente. En concreto, se consiguió una enorme reducción de los STS. Mediante observación visual, una gran porción de los STS eliminados estaba en forma de materia coloidal.

La Figura 30 registra los resultados de otro ensayo usando agua residual del tanque séptico. El reactor se manejó durante un periodo discontinuo de dos días con una concentración de CODt, CODs y STS y nitrógeno amónico medida al principio, en medio y al final del periodo discontinuo. A efectos comparativos otra muestra del agua residual tomada del mismo tanque séptico el mismo día se introdujo en un cilindro graduado de 500 ml y se monitorizó como control. Tras dos días de operación, la reducción de la COD total (CODt) en el reactor se acercó a 75 mg/l con una eliminación del exceso del 70 %. Los STS disminuyeron de 34 mg/l a casi inapreciables tras dos días de tratamiento. El amoníaco también se redujo durante este periodo. Durante el mismo periodo, el control tenía menos de una reducción del 40 % en COD y un incremento adecuado de los STS. El procedimiento discontinuo y el reactor trataron de forma eficaz el agua residual de tanque séptico eliminando COD pero también los sólidos suspensivos, en parte por la naturaleza quiescente del procedimiento.

Ejemplo 6 – Control químico de la película biológica

Se realizó un estudio de control de la película biológica usando el reactor de lámina única descrito en el Ejemplo 1 con una película biológica muy gruesa. Al principio del ensayo se drenó el tanque y al reactor se añadieron 30 l de solución de hidróxido sódico en agua desionizada a un pH de 9,43 y a una temperatura de 40 °C. Tras las primeras 4 horas de empapamiento se inició el arrastre del aire a 2 scfm y continuó durante más de 18 horas mientras permanecía en el tanque la solución de hidróxido sódico. Se siguió suministrando aire a las luces. El grosor de la película biológica se redujo ligeramente (de 4,6 mm a 4,3 mm) durante el primer periodo de cuatro horas. Tras las 18 horas de empapamiento y arrastre de aire, el grosor de la película biológica se redujo otros 3,2 mm.

En otro estudio de control de la película biológica se usaron 6 módulos de lámina única, como se muestran en las Figuras 10a y 10b. Cada lámina tenía 27 cm de longitud por 20 cm de anchura y tenía un área de superficie disponible de aproximadamente 0,11 metros cuadrados. Las láminas se tejieron con las fibras huecas a lo largo de la longitud y abiertas por ambos extremos. La proporción del área de transferencia del aire con el área de la película biológica fue de aproximadamente 6 a 1. Los módulos se introdujeron en un reactor de 20 l (volumen de trabajo) operado en modo discontinuo a temperatura ambiente con periodos discontinuos de aproximadamente 3 días. El reactor se alimentó con agua cloacal sintética a concentraciones de 2.000 a 8.000 mg/l de COD. Se introdujo aire en las luces de los módulos a aproximadamente 2 psi con un caudal de aproximadamente 20 ml/min en un cabezal de entrada de cada lámina. A intervalos de 3 a 7 días entre lotes se empaparon los módulos durante 4 horas en una solución de NaOH en agua caliente con un pH de 10 a 50 °C. Se siguió suministrando aire a las luces. Tras 4 horas, el reactor se volvió a cargar con alimentación. No se proporcionó arrastre de aire durante los periodos de empapamiento o durante los periodos discontinuos. La Figura 31 muestra el grosor de la película biológica en el tiempo, que se mantuvo entre 0,2 y 0,8 mm y con una media de aproximadamente 550 micrómetros en un periodo de 140 días. Los resultados calculados de los lotes durante dicho periodo indican que durante el intervalo entre limpiezas la película biológica eliminó de 66 a 120 gramos de COD por metro cuadrado.

Son posibles muchas modificaciones y variaciones de la presente invención dentro de las enseñanzas de la invención y la misma se puede practicar de otros modos aparte de los descritos en lo que antecede. El alcance de la invención se define en las reivindicaciones siguientes.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para tratar aguas residuales, que comprende las etapas de:

- 5 (a) proporcionar un aparato que comprende una pluralidad de fibras huecas de pared densa no porosa (10), teniendo cada fibra una pared con una superficie externa y una luz (14), siendo las fibras de polimetilpenteno y teniendo un diámetro externo de 30-100 μm , teniendo el aparato un puerto en comunicación con las luces de las fibras;
 - (b) poner en contacto el aparato con el agua residual;
 - (c) proporcionar un gas al puerto del aparato, atravesando el gas las paredes de las fibras hacia la superficie externa de las fibras;
 - 10 (d) soportar el gas una película biológica en crecimiento sobre las superficies externas de las fibras individuales;
 - (e) mantener la película biológica con un grosor de entre 0,05 mm y 2 mm; y
 - (f) mantener la carga de alimentación aplicada a la película biológica de modo que la velocidad de deterioro de la película biológica sea igual a su velocidad de crecimiento;
 - 15 en el que la película biológica se mantiene en un estado aerobio adyacente a la(s) superficie(s) externa(s) en un estado anóxico o anaeróbico adyacente al líquido.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el gas contiene oxígeno.
3. El procedimiento de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que el gas contiene hidrógeno.
4. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el agua residual se pone en
20 contacto con el aparato en un procedimiento discontinuo o continuo.
5. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el líquido pasa por las superficies externas en, generalmente, un flujo de pistón.
6. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes realizado en un tanque séptico o sistema naval o para tratar un agua residual tomada directamente generalmente de una o más casas u oficinas o partes de
25 un barco.
7. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que el líquido, después de ser tratado, tiene menos de 10 mg/l de sólidos suspendidos y menos de 50 mg/l de COD (Demanda química de oxígeno).
8. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes operado en un procedimiento de dos etapas, en el que la primera etapa del procedimiento reduce los COD del líquido a menos de 300 mg/l, más preferentemente
30 a entre 200 y 300 mg/l.
9. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el líquido, antes del tratamiento, tiene COD de 1.000 mg/l o menor y el aparato tiene un área de superficie para la transferencia de gas respecto al área de superficie de la película biológica unida de entre 0,2 y 1.
10. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el líquido, antes del tratamiento, tiene
35 COD de 300 mg/l o menor y el aparato tiene un área de superficie para la transferencia de gas respecto al área de superficie de la película biológica unida de 1 o menor, más preferentemente entre 0,1 y 1.

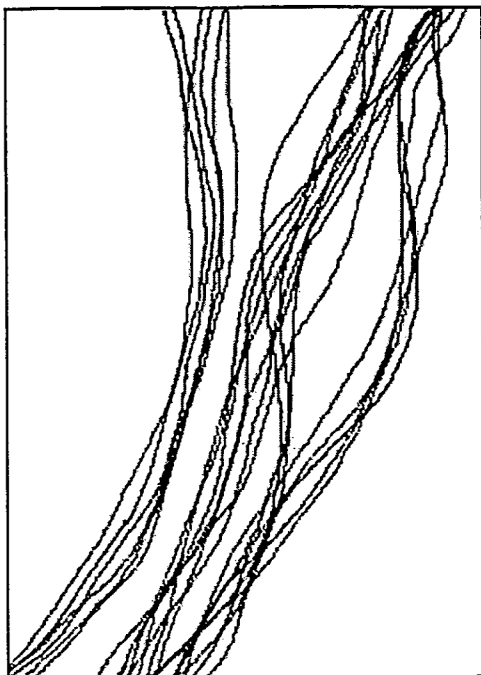


FIG. 1

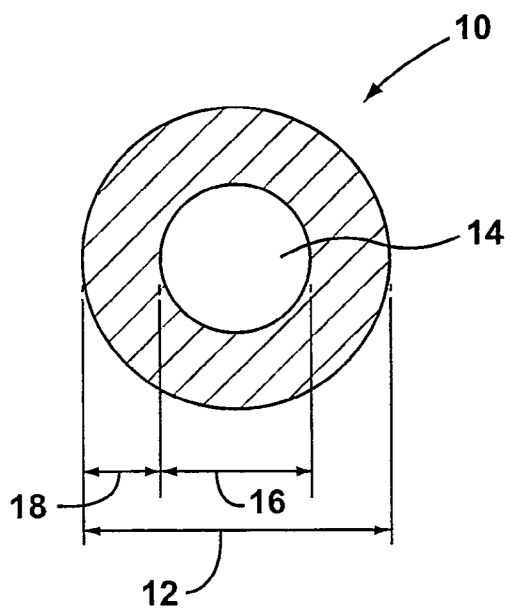


FIG. 1a

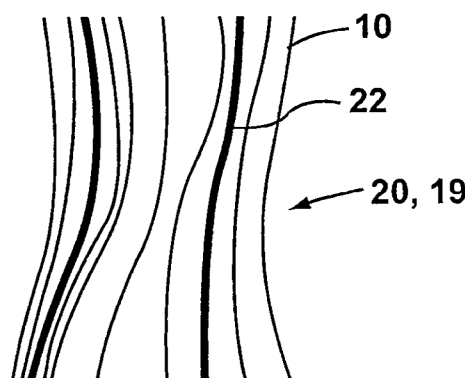


FIG. 1b

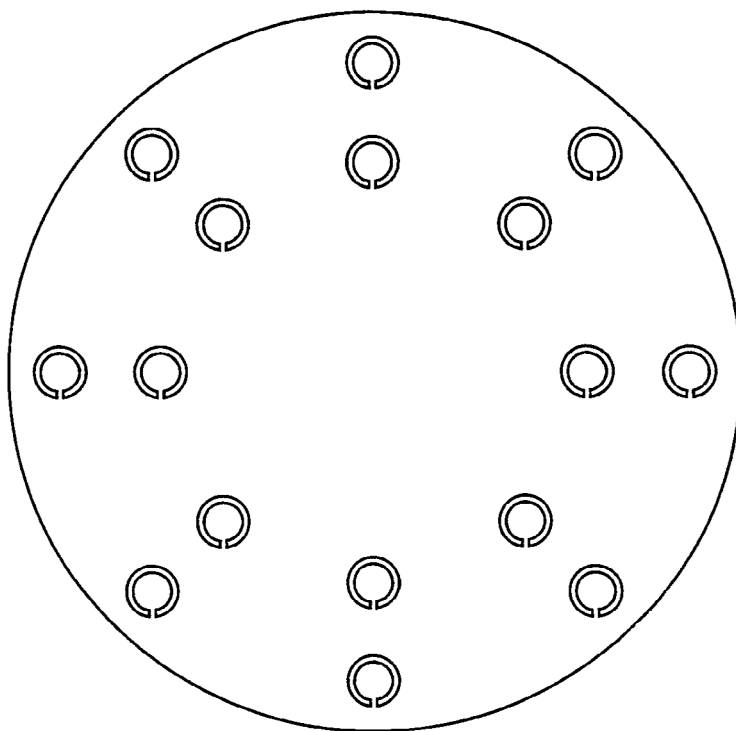


FIG. 2 E



FIG. 2a



FIG. 2b



FIG. 2c



FIG. 2d

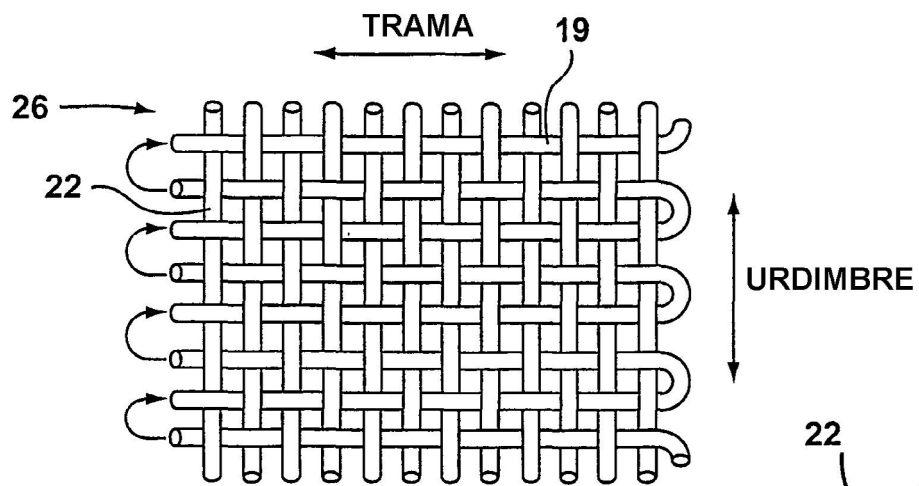


FIG. 3a

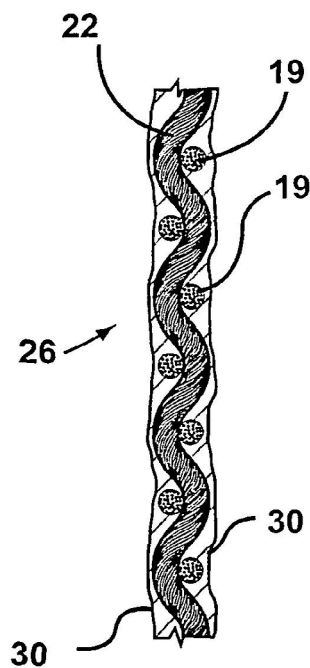


FIG. 3b

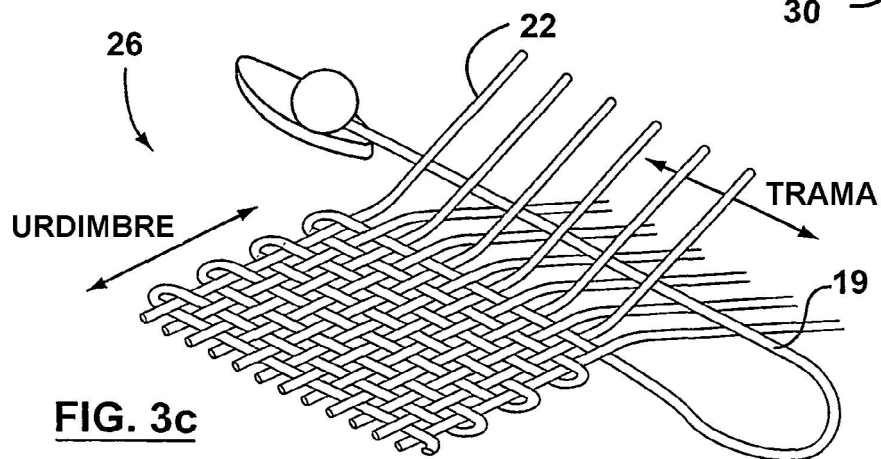


FIG. 3c

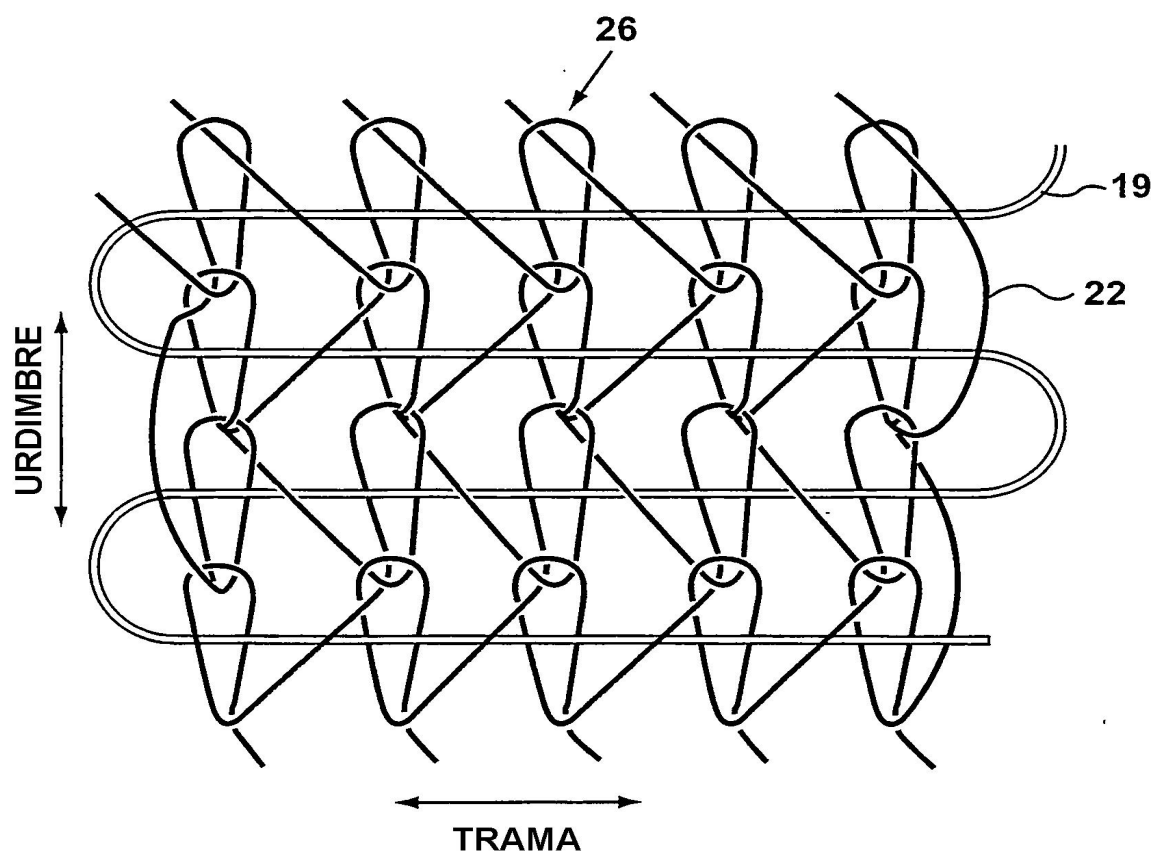


FIG. 3d

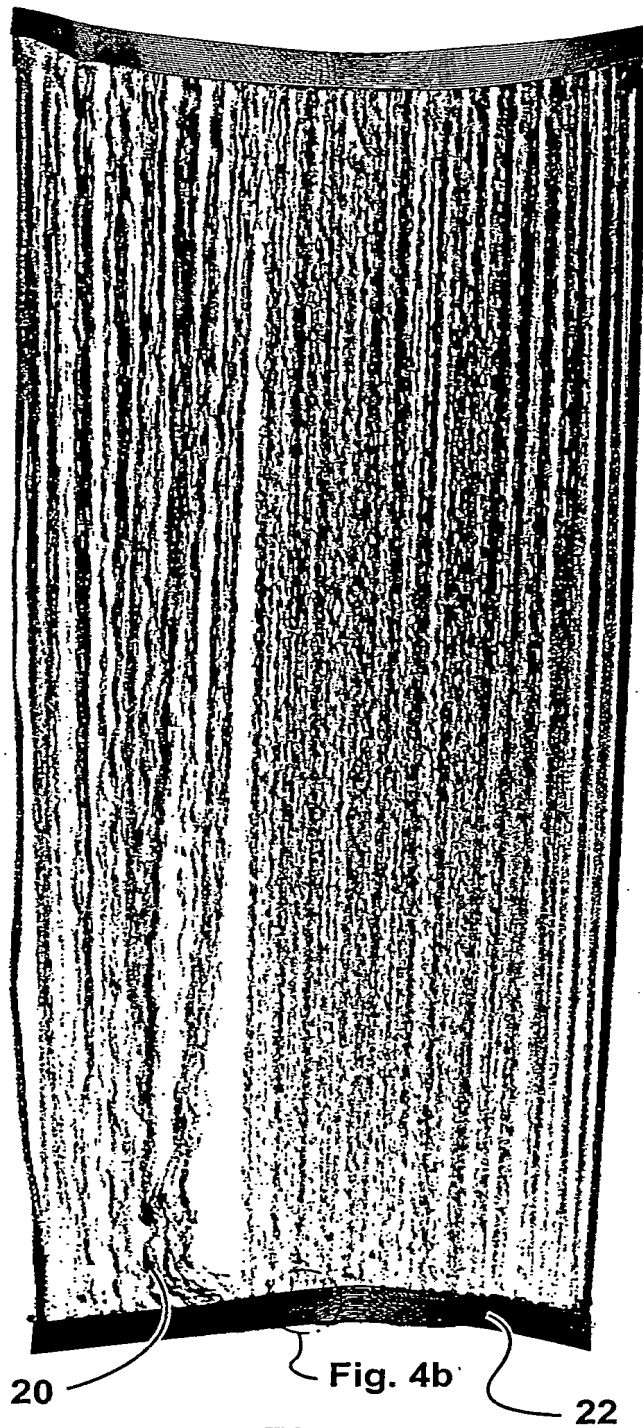


FIG. 4a

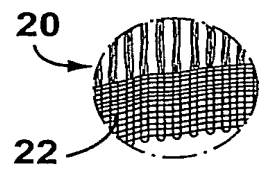
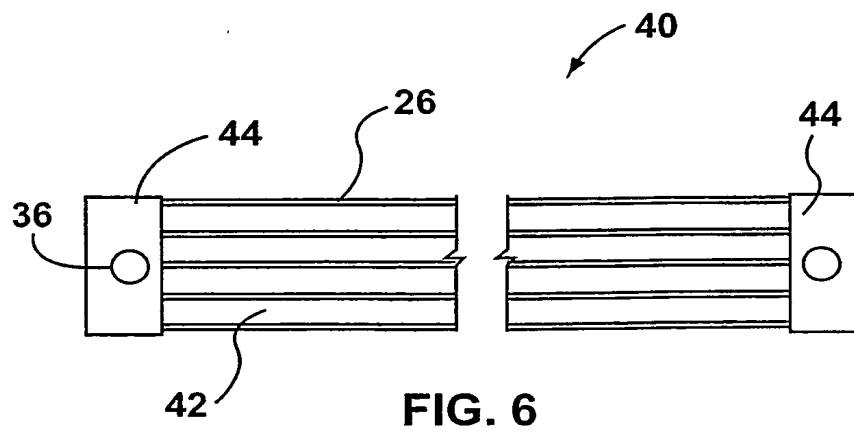
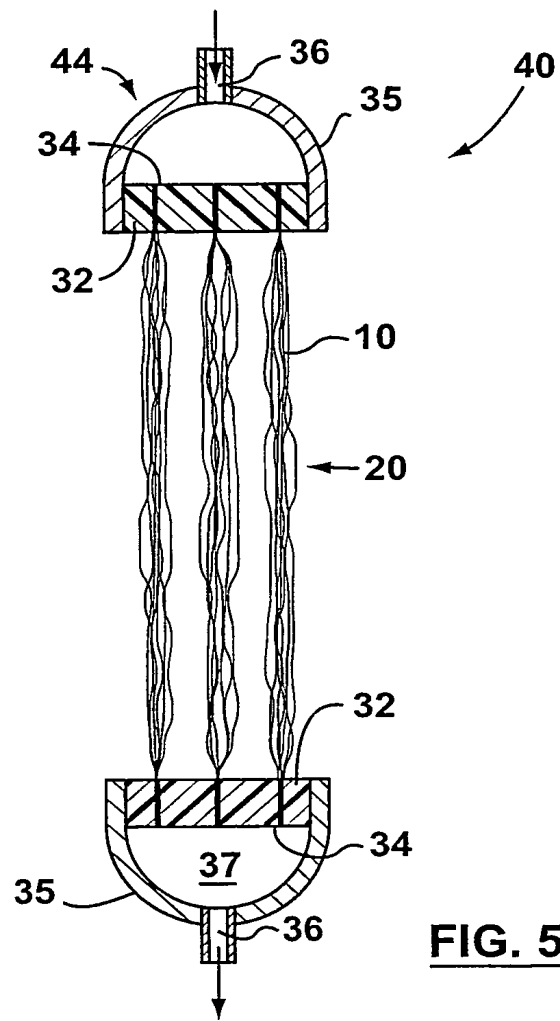


FIG. 4b



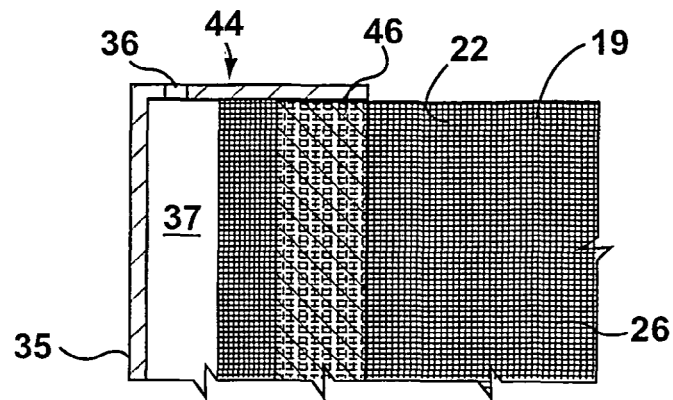


FIG. 7

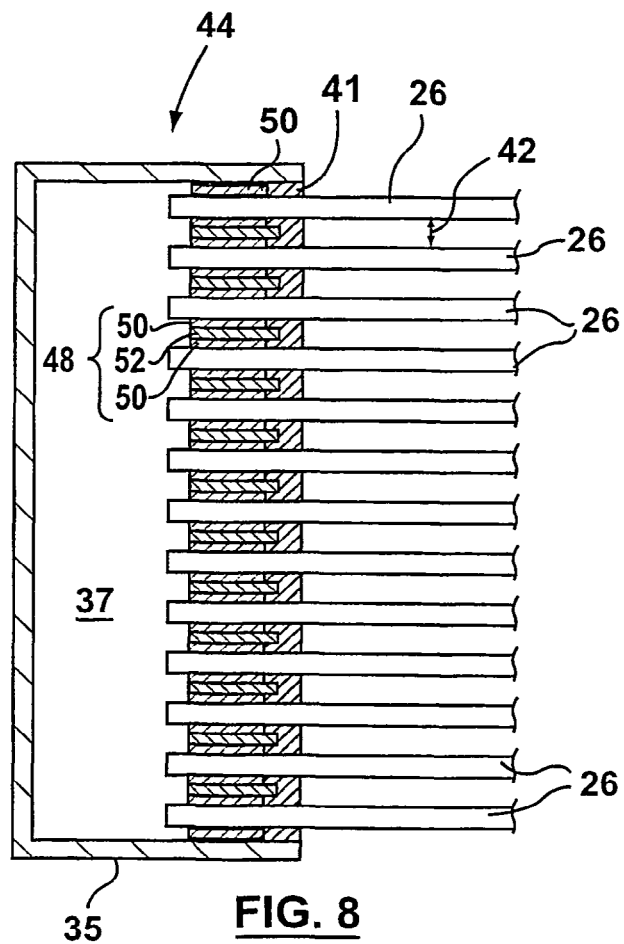


FIG. 8

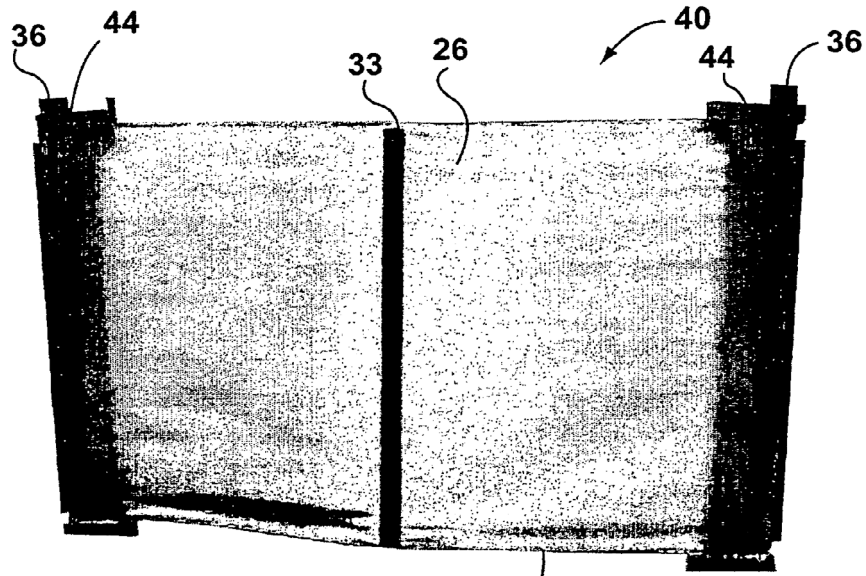


FIG. 9

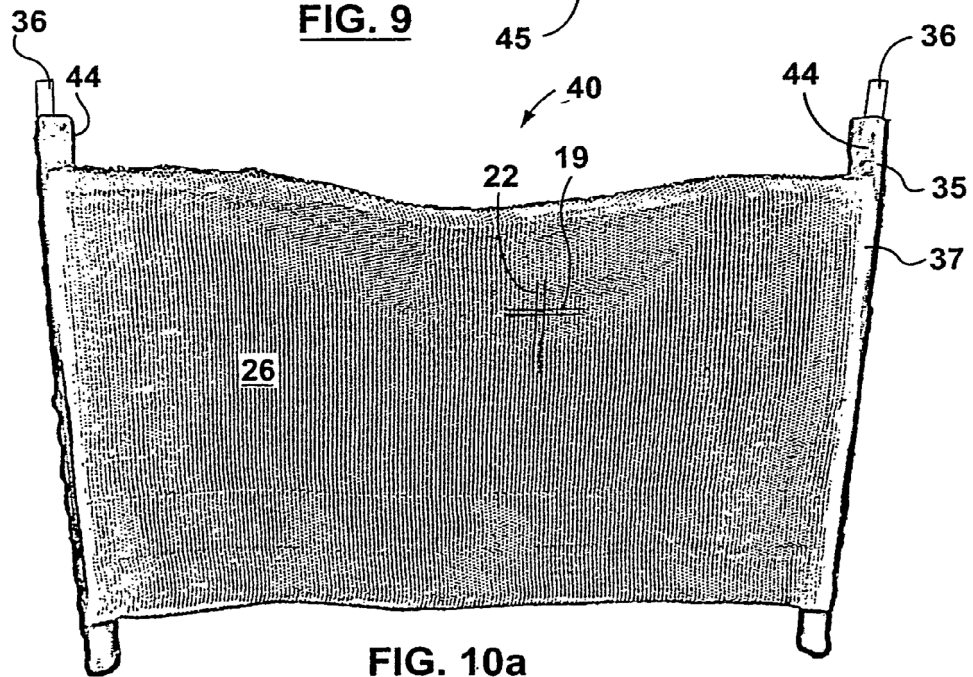


FIG. 10a

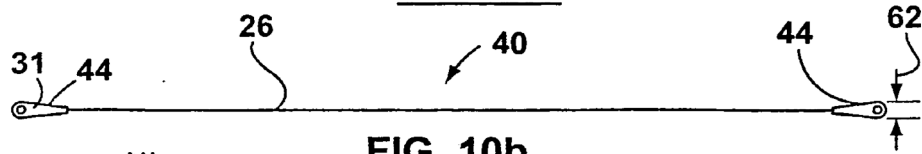


FIG. 10b

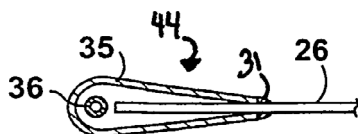
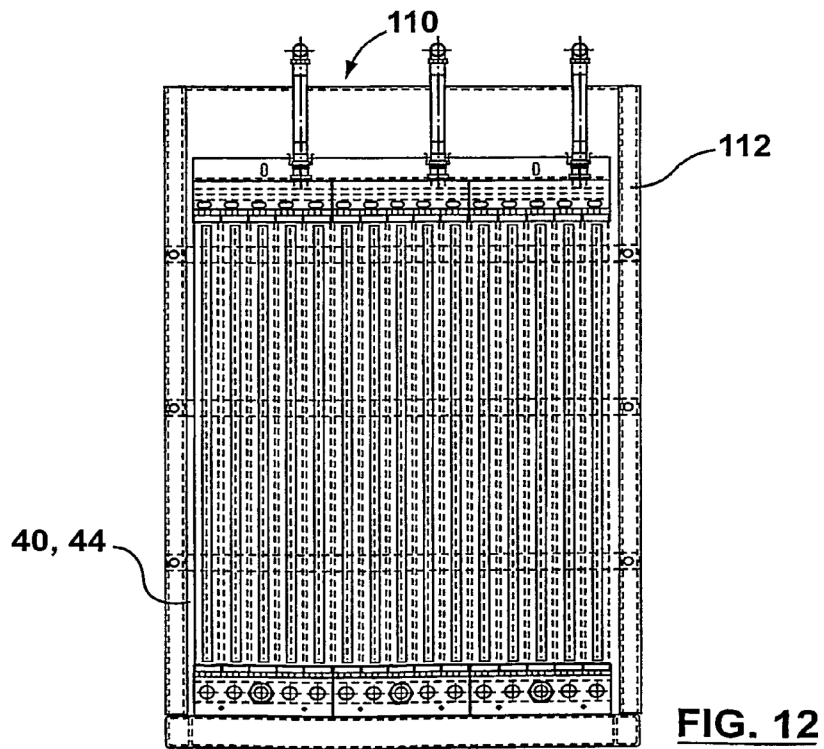
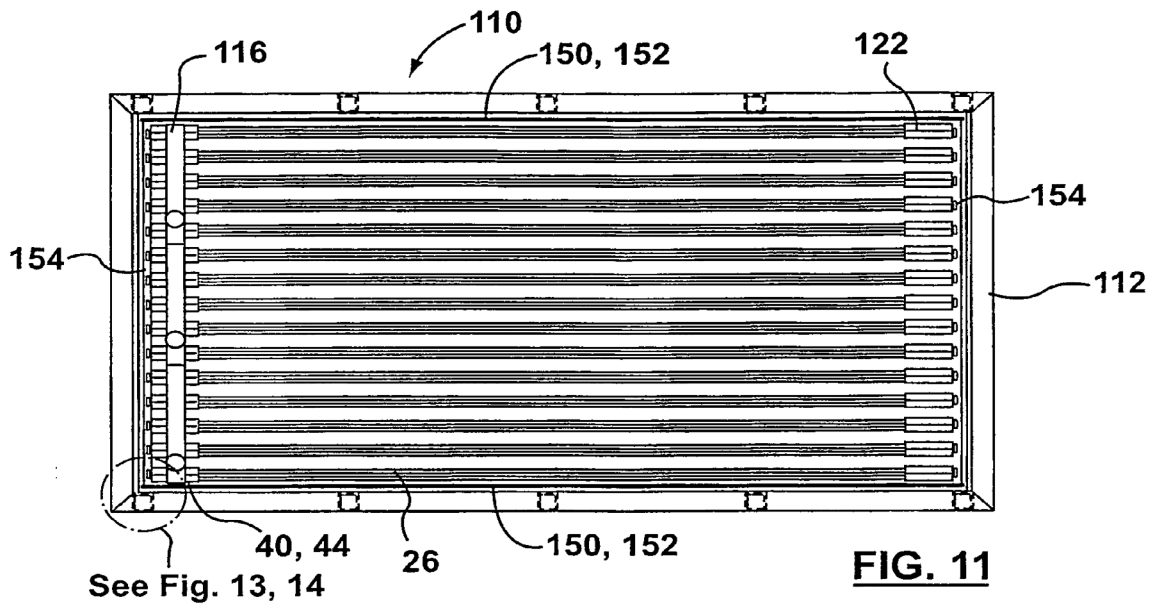


FIG. 10c



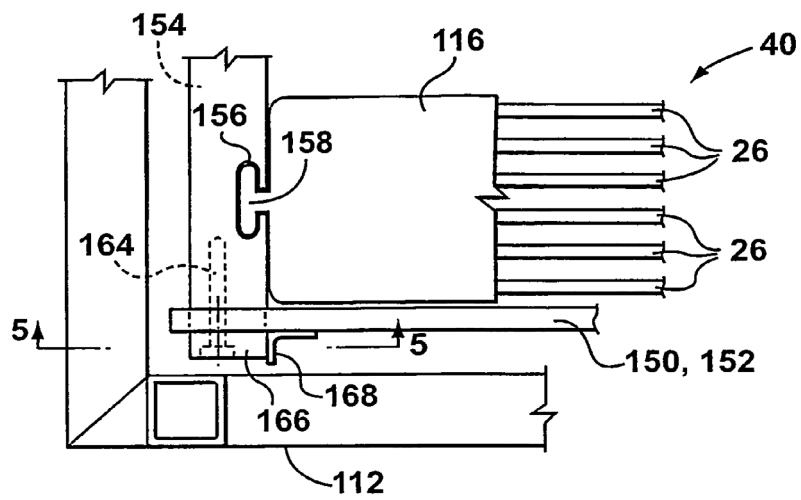


FIG. 13

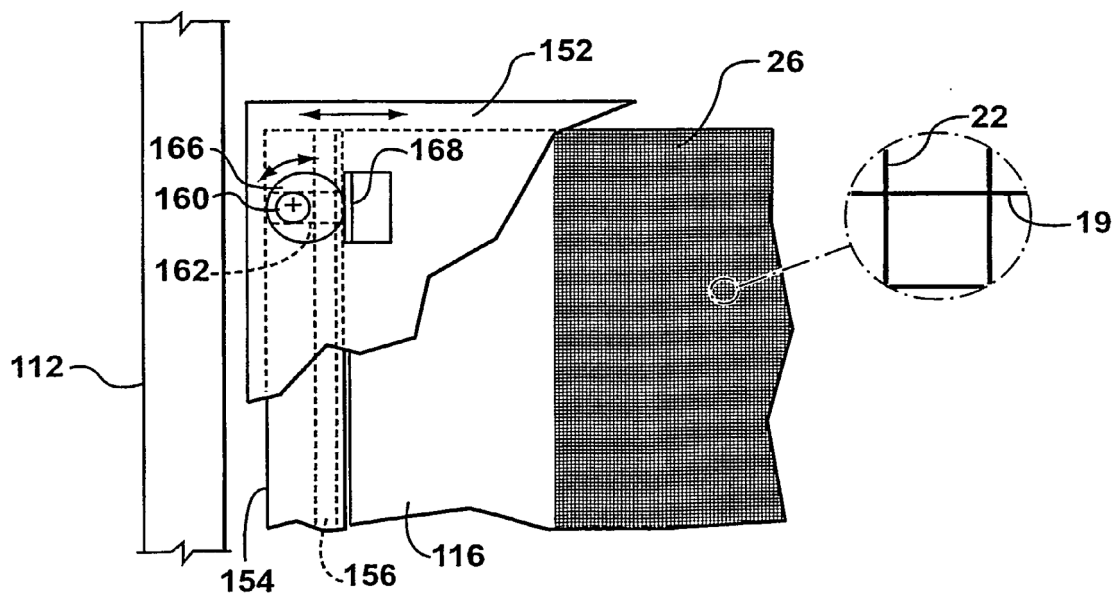


FIG. 14

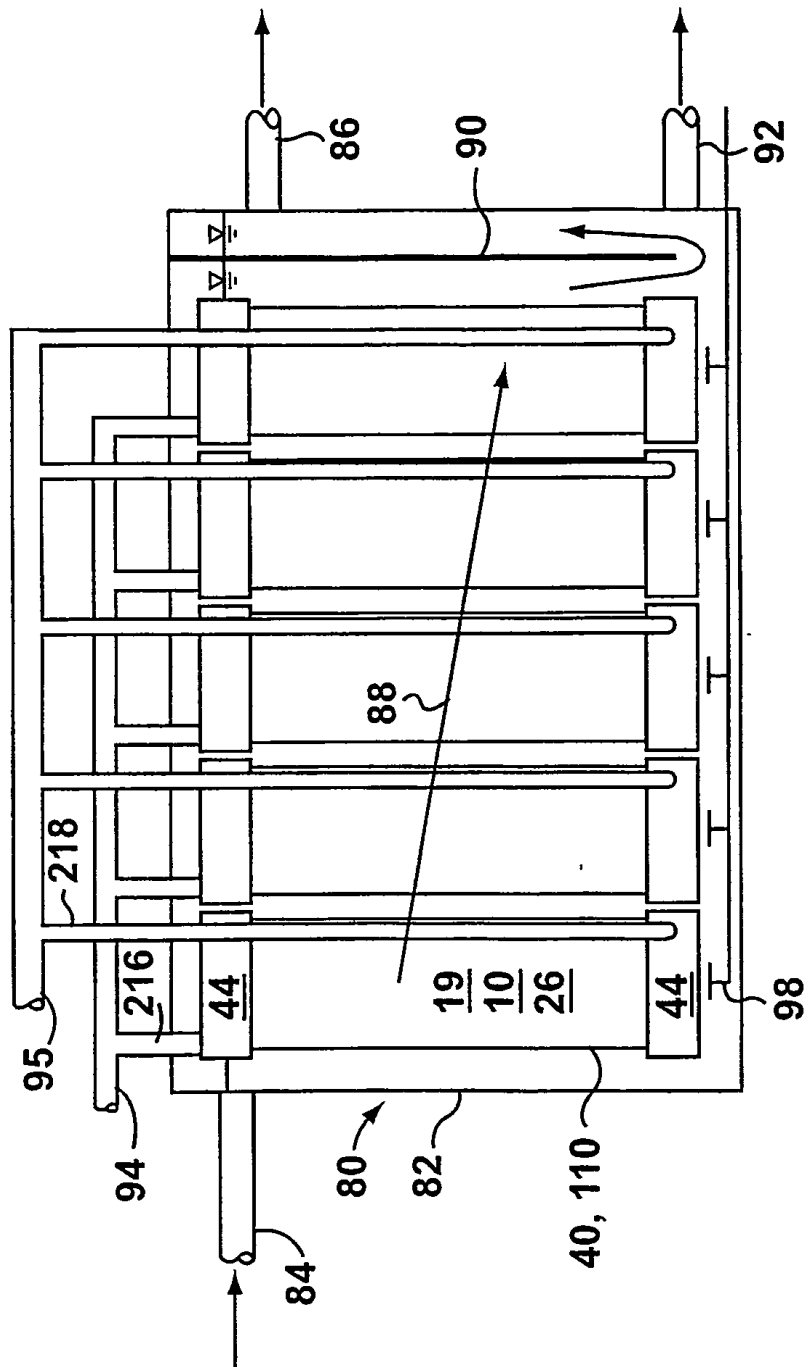


FIG. 15

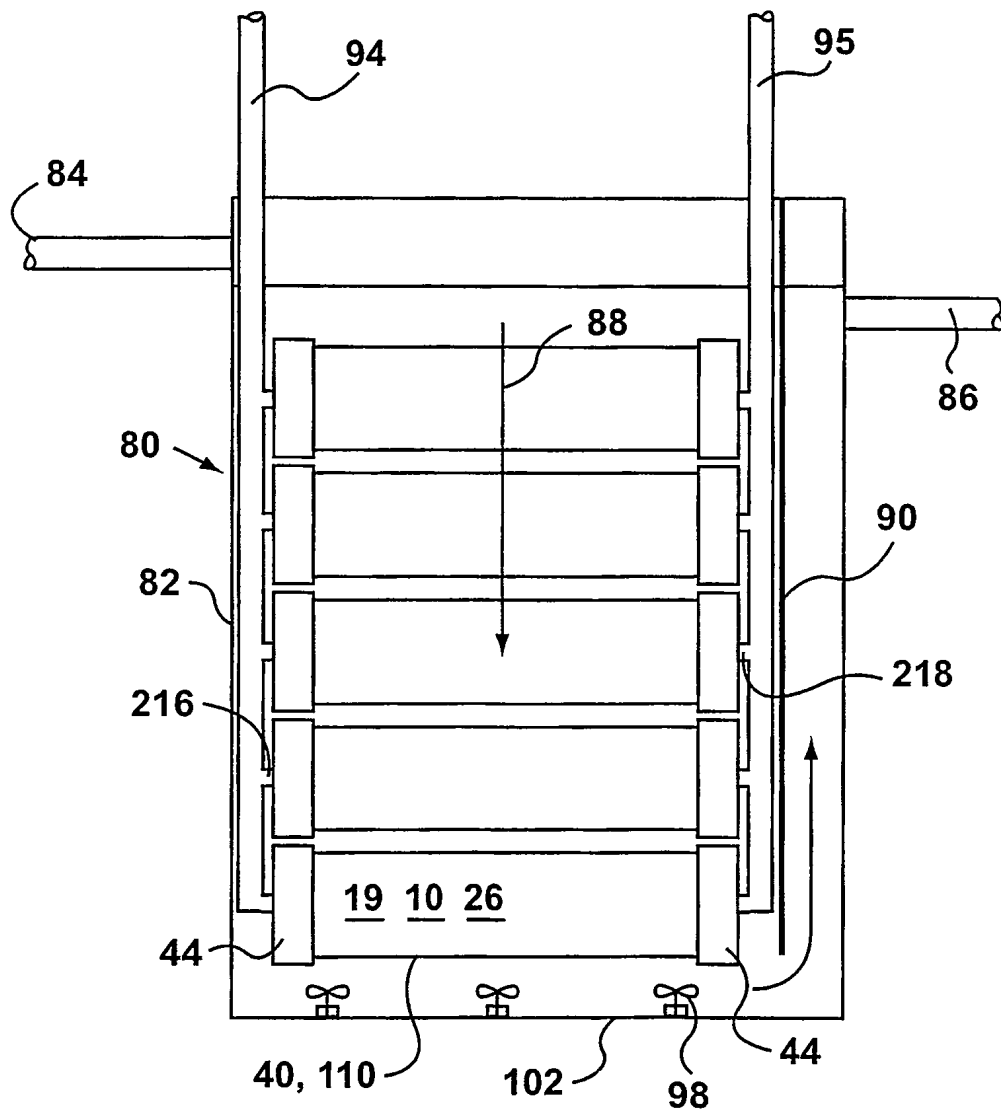


FIG. 16

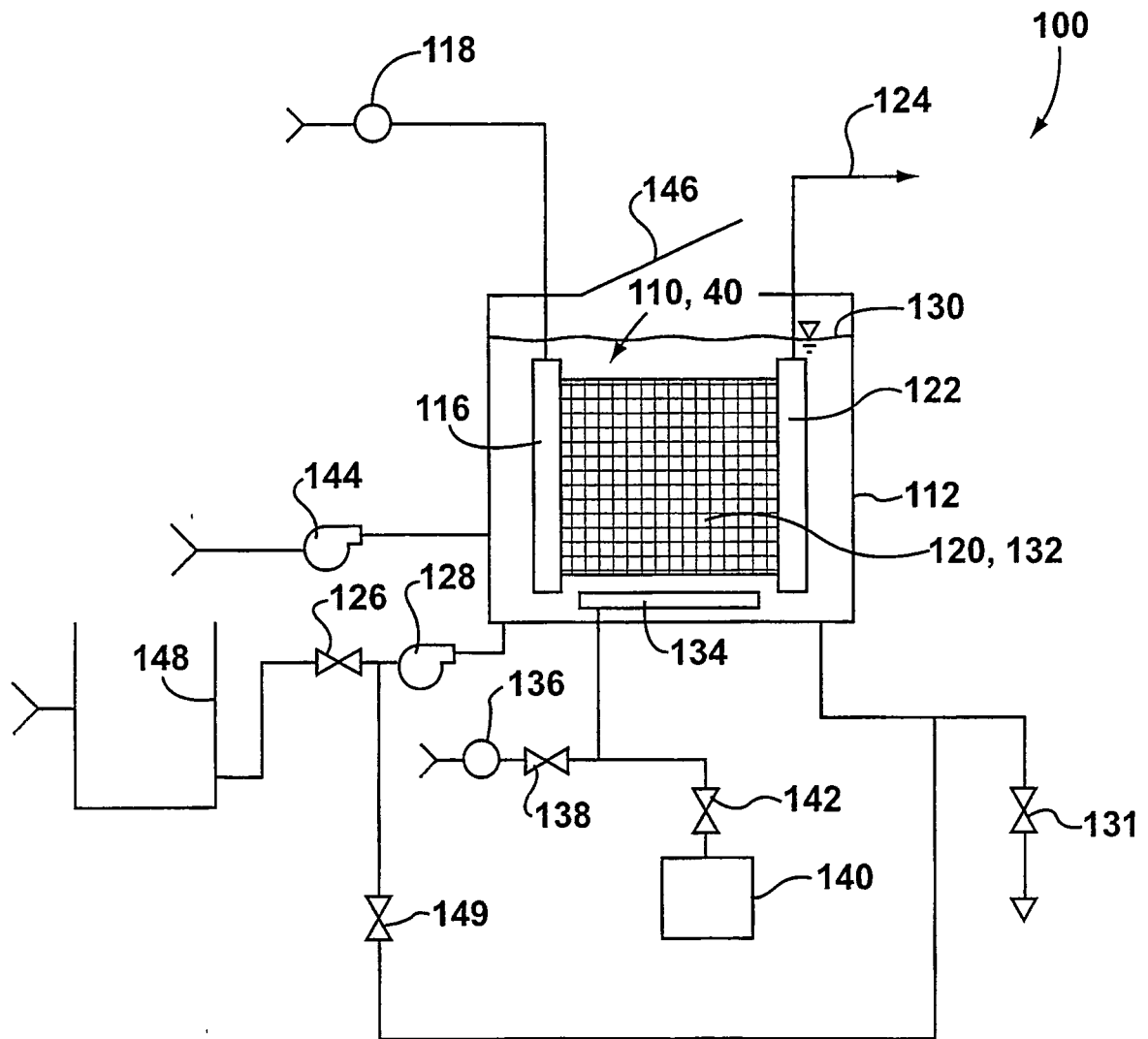


FIG. 17

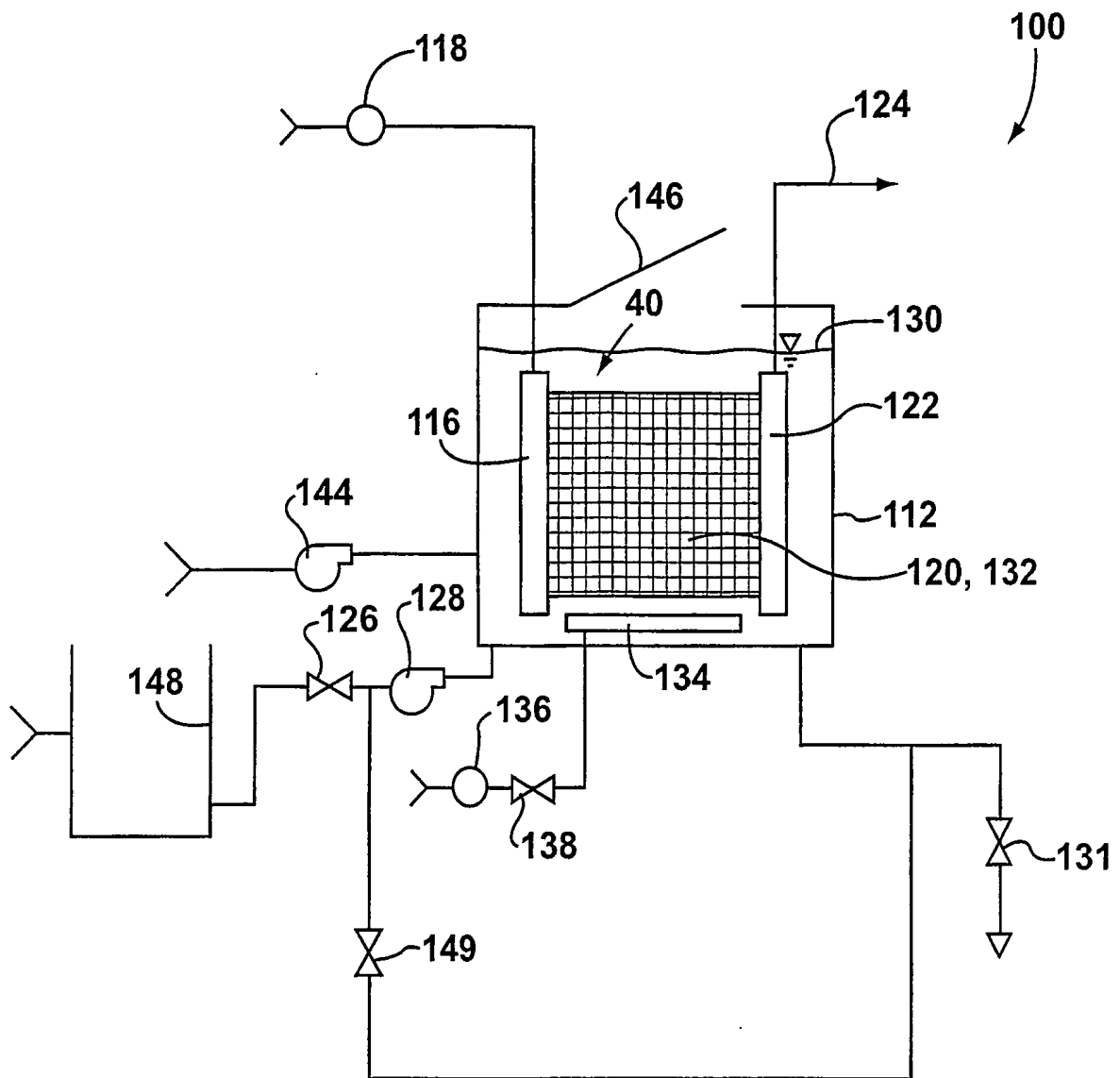


FIG. 18

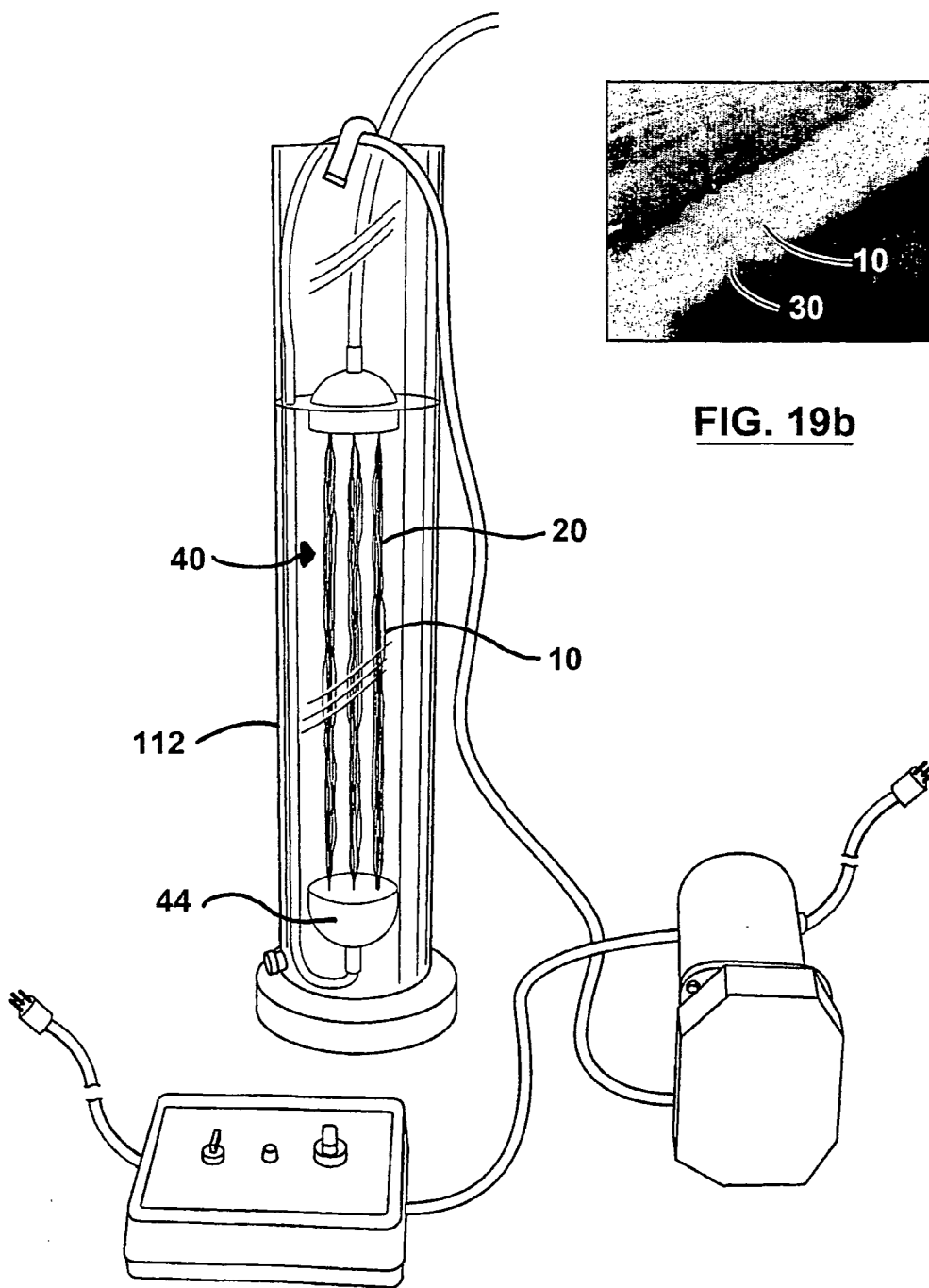


FIG. 19b

FIG. 19a

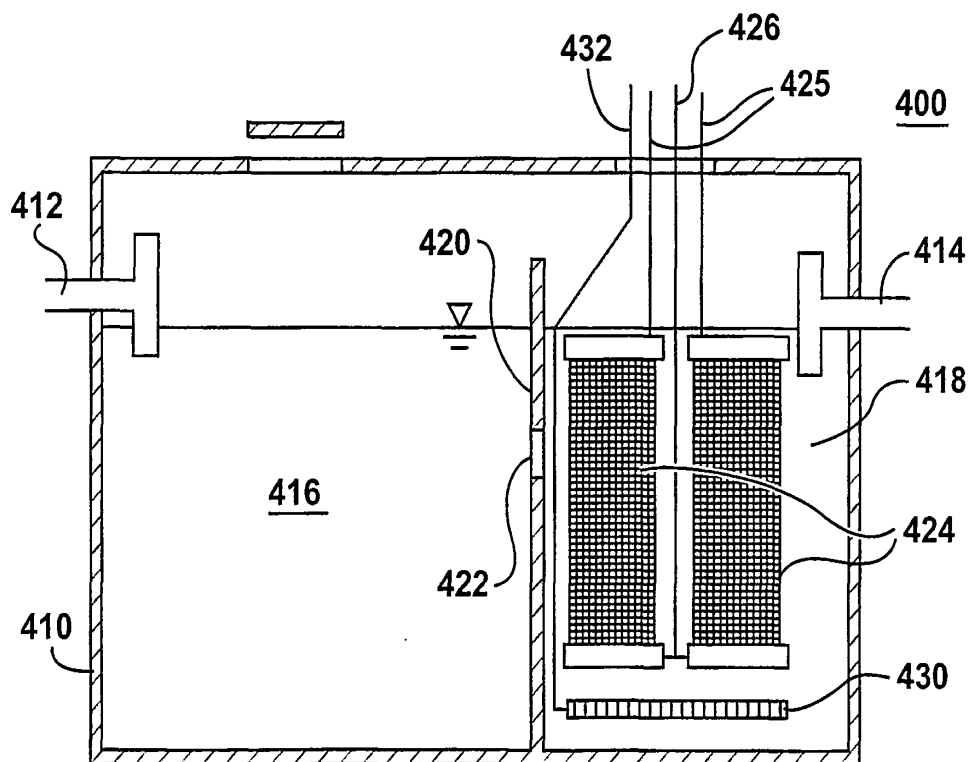


FIG. 20

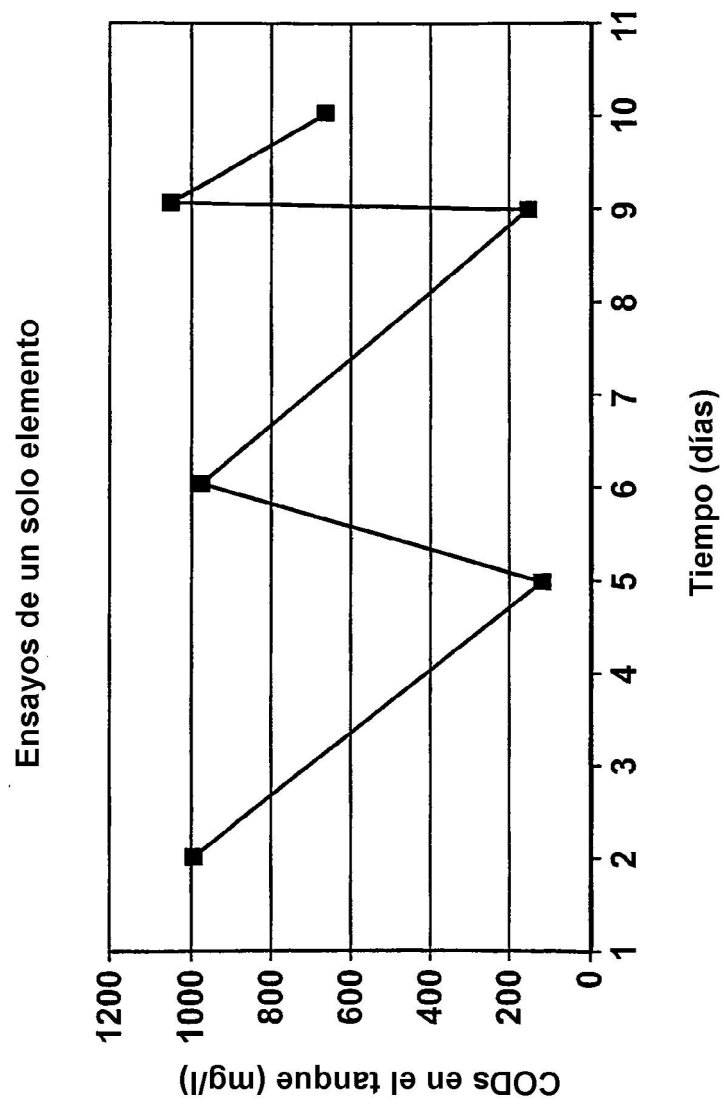


FIG. 21

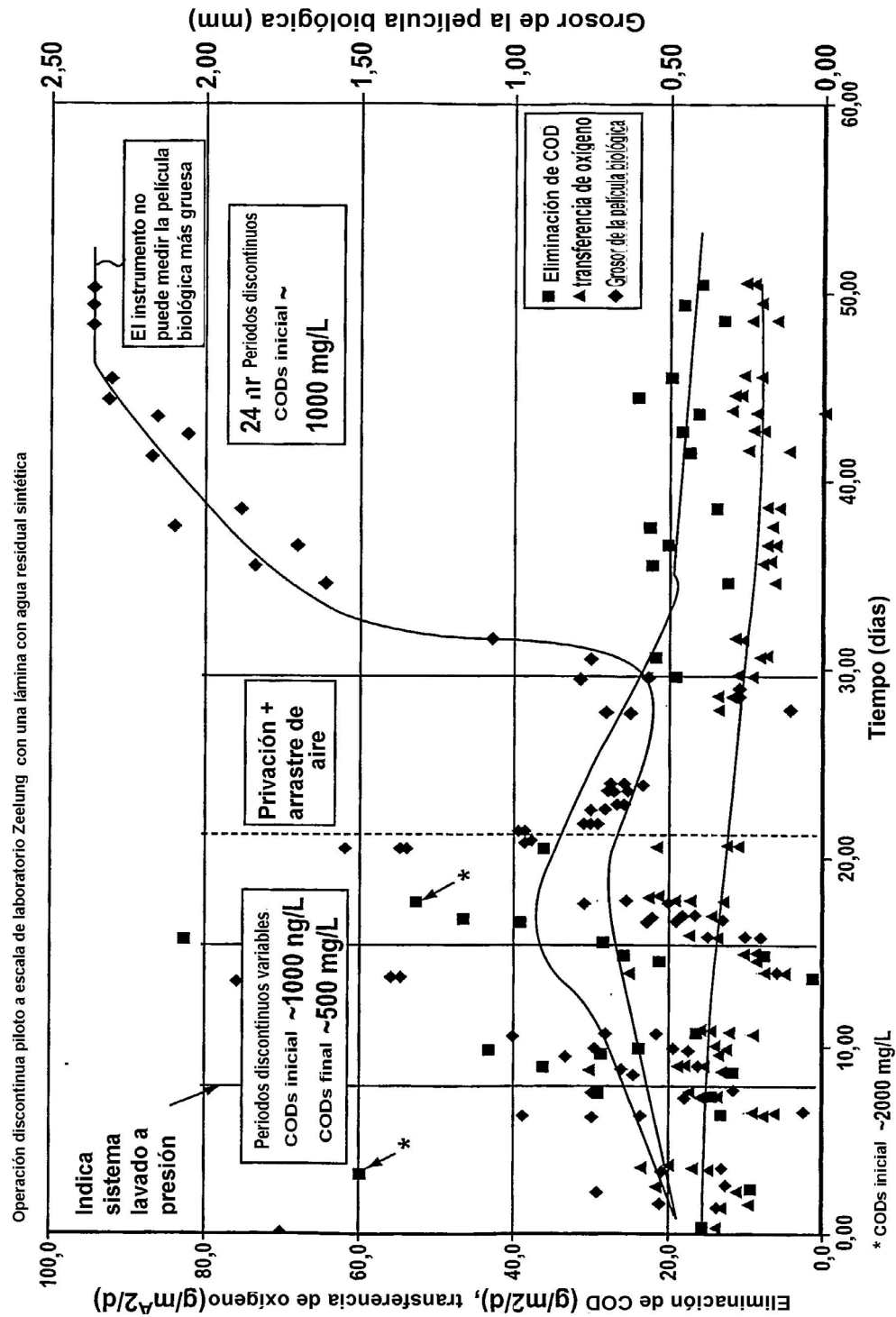


FIG. 22

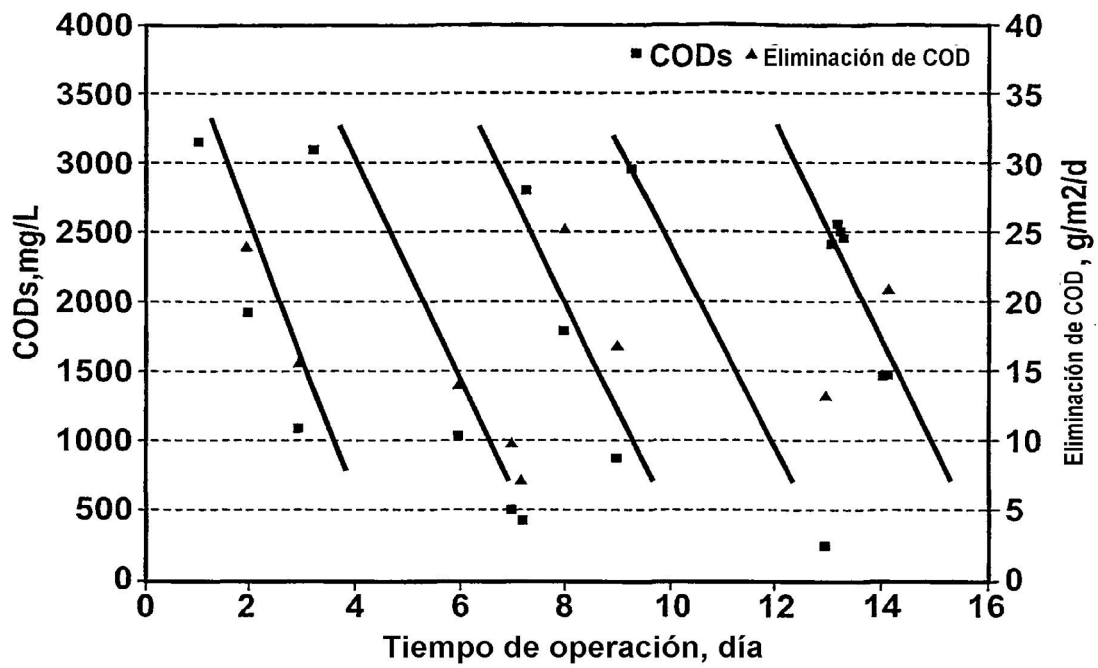


FIG. 23

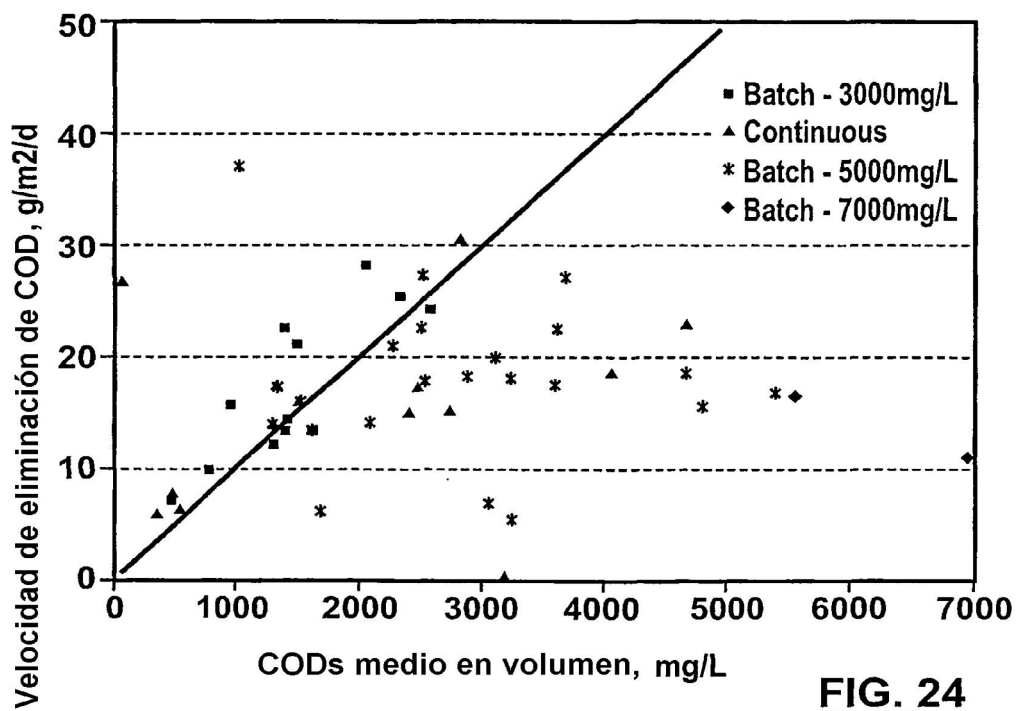


FIG. 24

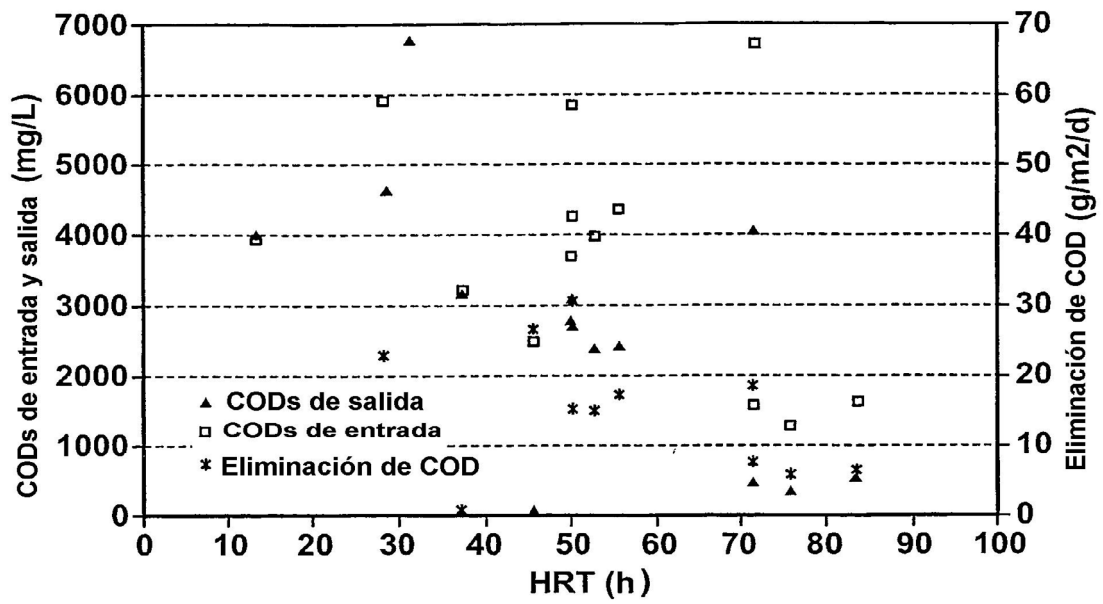


FIG. 25

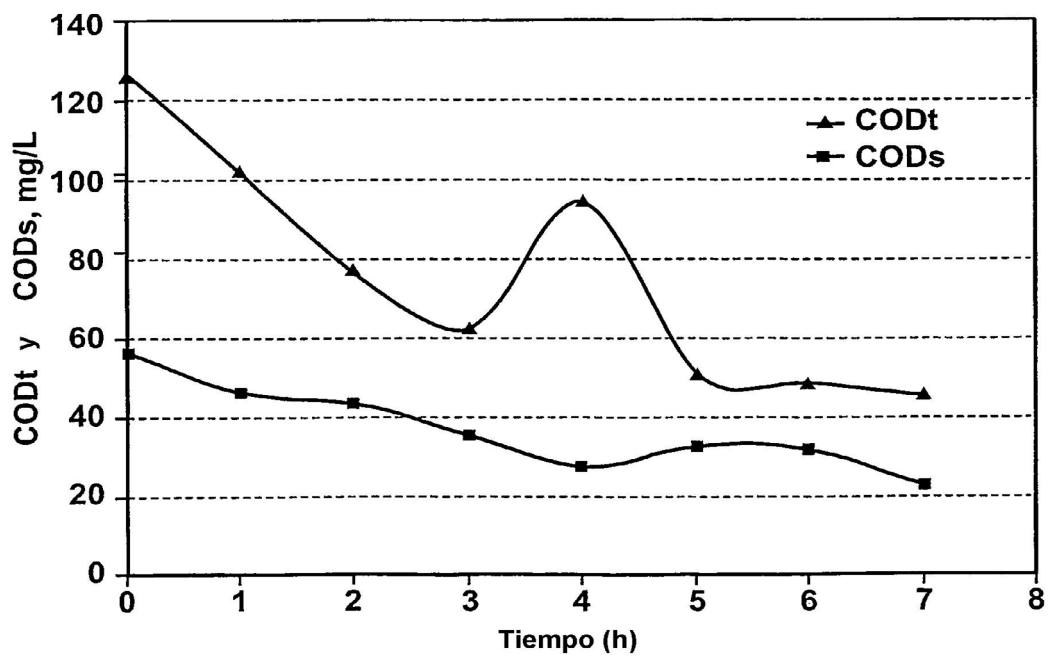


FIG. 26

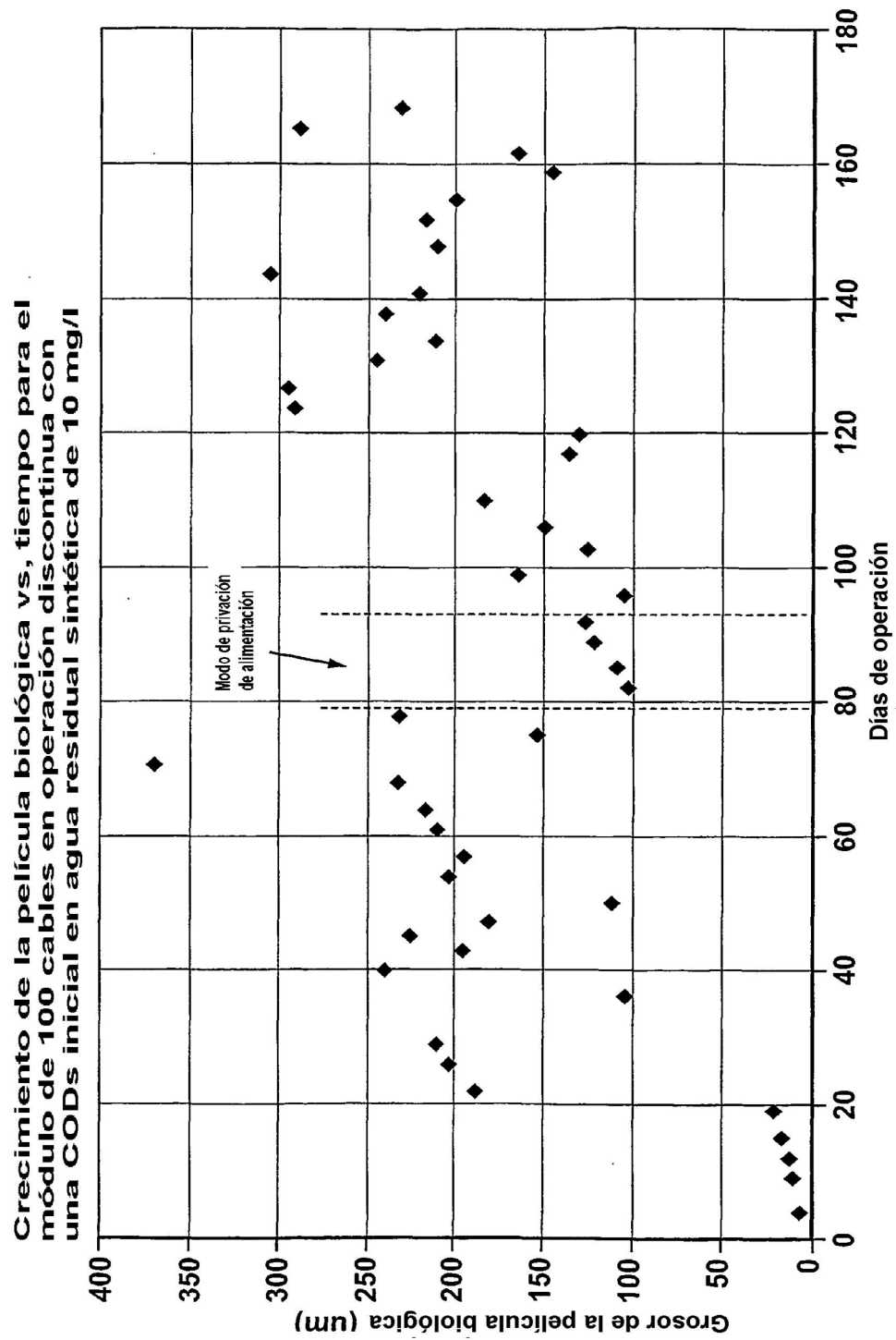


FIG. 27

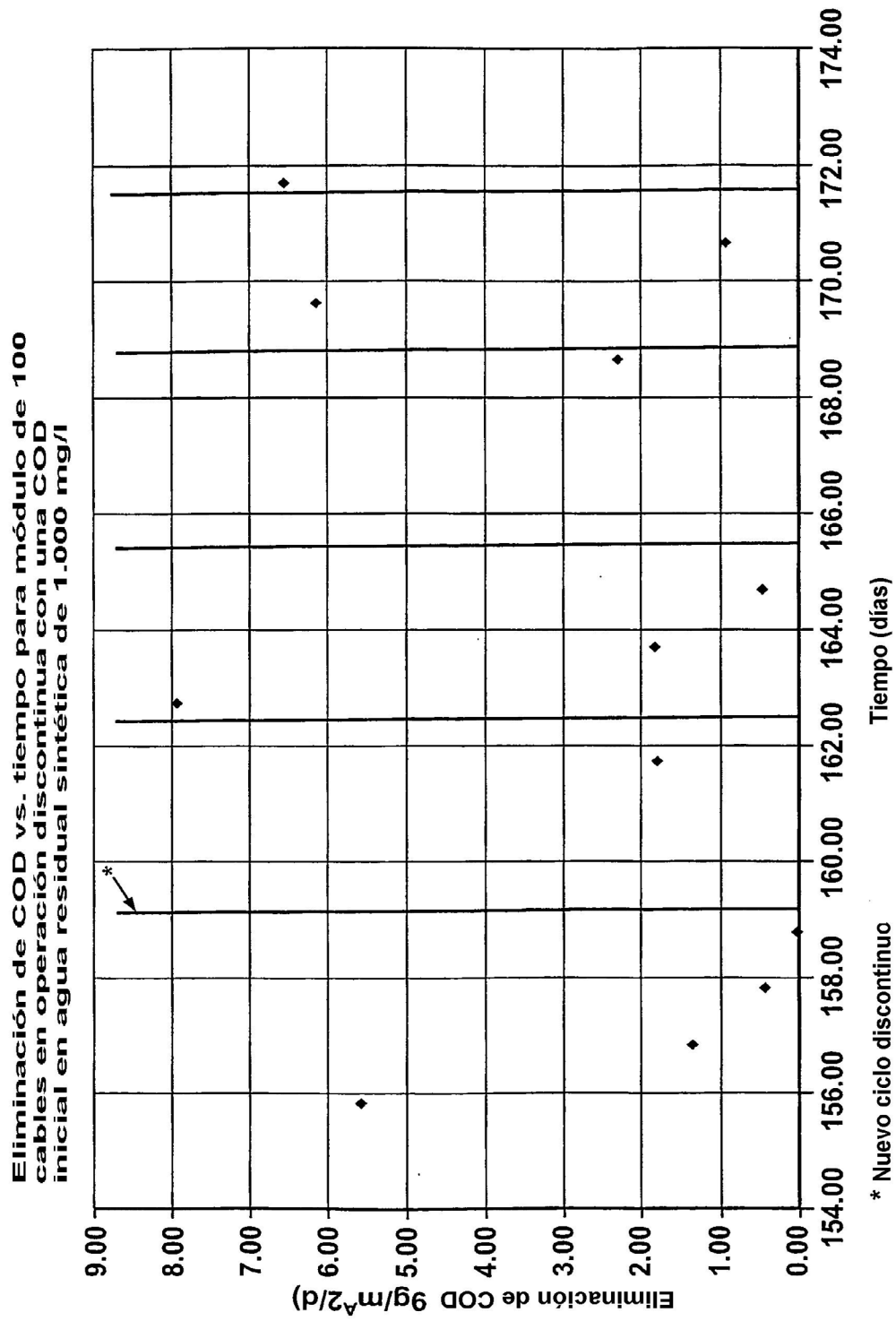


FIG. 28

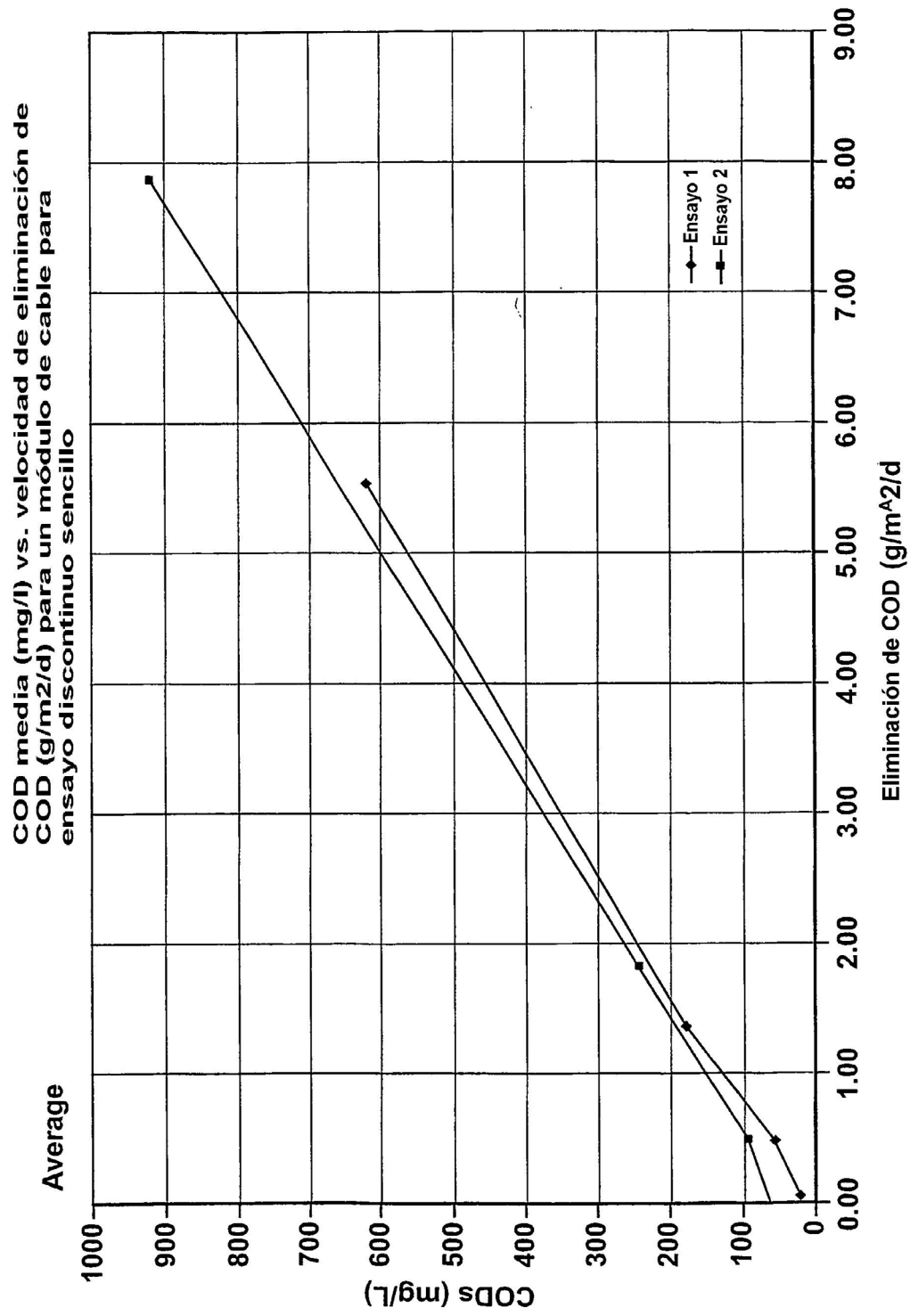


FIG. 29

Módulo de 100 cables- agua residual de tanque séptico

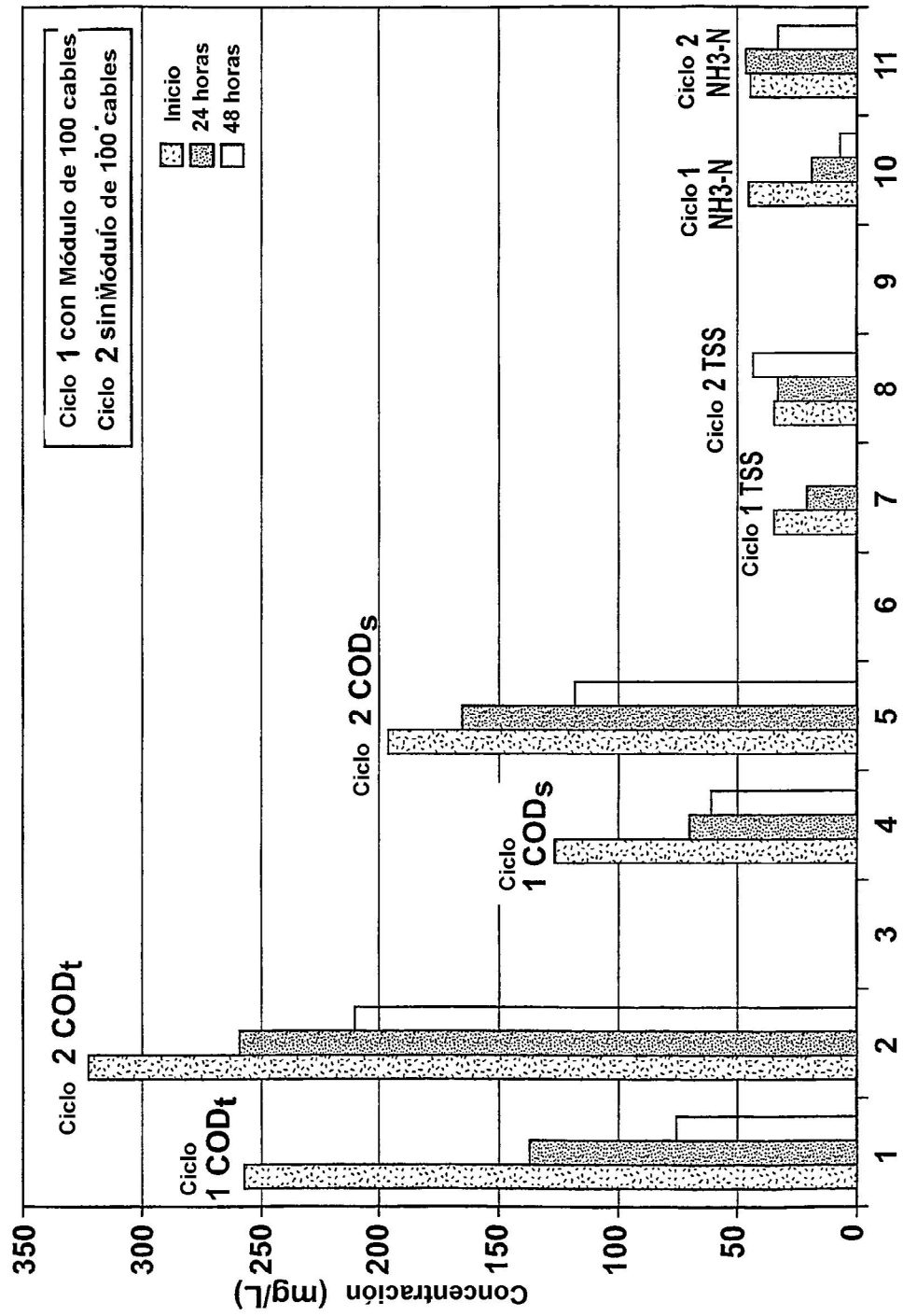


FIG. 30

