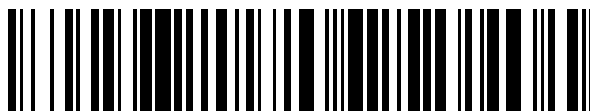


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 605 624**

51 Int. Cl.:

**C02F 3/12** (2006.01)  
**C02F 3/10** (2006.01)  
**C02F 3/00** (2006.01)  
**C02F 1/44** (2006.01)  
**B01D 61/04** (2006.01)  
**B01D 65/08** (2006.01)  
**B01D 61/02** (2006.01)  
**B01D 61/14** (2006.01)  
**C02F 1/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.09.2009 PCT/EP2009/061456**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **10.03.2011 WO11026521**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.09.2009 E 09782608 (5)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.08.2016 EP 2496528**

54 Título: **Procedimiento para biorreactor de lecho compacto para control de incrustaciones biológicas de membranas de ósmosis inversa y de nanofiltración**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**15.03.2017**

73 Titular/es:

**VEOLIA WATER SOLUTIONS & TECHNOLOGIES  
SUPPORT (100.0%)  
L'Aquarène, 1 Place Montgolfier  
94417 Saint-Maurice Cedex, FR**

72 Inventor/es:

**BROUWER, HARRY y  
WITTMANN, ERICH**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 605 624 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 para biorreactor de lecho compacto para control de incrustaciones biológicas de membranas de ósmosis inversa y de nanofiltración

### Campo de la invención

- 5 La presente invención se refiere a un procedimiento para el control de incrustaciones biológicas de membranas de ósmosis inversa y de nanofiltración mediante la retirada de compuestos biodegradables disueltos utilizando un biorreactor de lecho compacto.

### Antecedentes

- 10 Cada vez se usan más las tecnologías de separación de membrana en el tratamiento del agua para la producción de agua de consumo humano y para su uso en la industria. Los principales procesos de membrana en el tratamiento del agua son microfiltración (MF), ultrafiltración (UF), nanofiltración (NF) y ósmosis inversa (OI). La microfiltración y la ultrafiltración son procesos de filtración que se caracterizan por tasas extremadamente altas de eliminación de material sólido (partículas y materia coloidal) presentes en el agua, mientras que la nanofiltración y la ósmosis inversa permiten la eliminación de compuestos que están disueltos en el agua.

- 15 En comparación con los procedimientos de tratamiento de agua convencionales, las membranas ofrecen varias ventajas, sobre todo una mejor calidad y constante del agua tratada.

Un reto importante para la implementación de los procedimientos de membrana es el control del ensuciamiento de las membranas.

Los tipos habituales de ensuciamiento de la membrana son:

- 20 - ensuciamiento por partículas y coloides que se depositan en la superficie de la membrana  
 - incrustación, es decir, precipitación de sales poco solubles  
 - ensuciamiento orgánico, es decir, adsorción de compuestos orgánicos sobre la superficie de la membrana  
 - incrustaciones biológicas, es decir, crecimiento excesivo de una película biológica en la superficie de la membrana

- 25 En la ósmosis inversa y la nanofiltración, más habitualmente, la capa de separación de la membrana está hecha de una poliamida con una resistencia muy limitada a los oxidantes como el cloro. Hoy en día, el tipo de módulo utilizado generalmente en unidades de ósmosis inversa y nanofiltración es el denominado módulo enrollado en espiral. Un segundo tipo de membranas de ósmosis inversa y nanofiltración usadas habitualmente son las fibras huecas.

- 30 Entre los diferentes tipos de ensuciamiento observado en las plantas que utilizan membranas de poliamida de ósmosis inversa o de nanofiltración, las incrustaciones biológicas son las más frecuentes. El ensuciamiento de la membrana aumenta el consumo de energía debido al aumento de los requisitos de presión. Un motivo de preocupación adicional es el aumento de la frecuencia requerida de la membrana, que da lugar a pérdidas de producción debido al aumento del tiempo de inactividad y a la menor vida útil de la membrana. Asimismo, las pérdidas muy altas de presión a través de los módulos (entre la alimentación y el concentrado) pueden causar daños mecánicos del módulo. En todos los casos, la consecuencia de incrustaciones biológicas es un aumento en los costes por cantidad de agua producida o tratada.

### Descripción de la técnica anterior

- 40 El control de las incrustaciones biológicas de las membranas de ósmosis inversa y nanofiltración se consigue generalmente mediante uno de los procedimientos siguientes o una combinación de ellos. Un procedimiento es el uso de biocidas o agentes biostáticos que son compatibles con las membranas, por ejemplo, biocidas no oxidantes o monocloramina que se inyecta de forma continua o se usa como tratamiento de choque. Otro procedimiento es el uso de módulos enrollados en espiral con separadores gruesos de alimentación que reduce la pérdida de carga entre la alimentación y la salmuera. Otros procedimientos habituales son el uso de técnicas de prevención de fijación de películas biológicas, tales como, por ejemplo, una superficie modificada de la membrana o alta velocidad del agua en el módulo de membrana, o la desinfección del agua de alimentación a las membranas a través de, por ejemplo, cloración y, después, la posterior dechloración corriente arriba de las membranas. Otro procedimiento es la limpieza química frecuente de las membranas.

- 50 Todos los procedimientos anteriores tienen limitaciones o deficiencias, tales como el impacto ambiental, los costes o la eficiencia limitada. En los últimos años cada vez se aplica más otro procedimiento que consiste en un tratamiento biológico corriente arriba de las membranas de OI o NF. Este procedimiento permite la eliminación de compuestos biodegradables disueltos que, por lo tanto, ya no están disponibles para la película biológica sobre la membrana. Como resultado, se evitan las incrustaciones biológicas o al menos se reducen significativamente. Todos los procedimientos para el control de las incrustaciones biológicas de las membranas de ósmosis inversa y de nanofiltración basados en la eliminación de nutrientes que se pueden encontrar en la literatura, combinan la filtración

y el tratamiento biológico. Estos procedimientos son biofiltración en filtros de arena, filtros de medios dobles, filtros multimedia y filtros de carbón activado granular, así como biorreactores de membrana.

Para evitar el ensuciamiento de las membranas de ósmosis inversa y de nanofiltración por materia particulada y coloides, la mejor tecnología disponible es un tratamiento previo mediante membranas de microfiltración o ultrafiltración. Sin embargo, se han construido muchas plantas utilizando este enfoque, con poca o ninguna eliminación de nutrientes disueltos en el tratamiento previo y, por lo tanto, sufren incrustaciones biológicas sobre las membranas de ósmosis inversa o nanofiltración.

En Flemming y col., se divulga una estrategia para la prevención de incrustaciones biológicas de las membranas basada en la optimización de las técnicas de limitación de nutrientes (H.-C. Flemming y col., *Desalination*, 113 (1997) 215–225). Se sugiere el uso de películas biológicas en el lugar correcto para minimizar la formación de la película biológica en los lugares en los que no se desea, es decir, permitiendo la formación controlada de películas biológicas. Se ha sugerido ofrecer un área rica de la superficie por delante del sistema que se va a proteger contra las incrustaciones biológicas de manera que se puedan formar películas biológicas sobre dicha área y consumir la materia degradable de la corriente de agua, disminuyendo el grado de desarrollo de la película biológica en los compartimientos posteriores. El biofiltro usado en los experimentos divulgados de Flemming *et al* es un filtro de arena. Para desinfectar se divulgan el uso de biocidas o la eliminación de la película biológica para superar el problema de la resistencia hidrodinámica causada por la película biológica. Esta publicación no da detalles sobre cómo formar dicha zona rica de la superficie y cómo se debe utilizar el sistema para optimizar la formación de películas biológicas y el agotamiento de los nutrientes para la prevención de incrustaciones biológicas de los equipos corriente abajo.

En Brouwer y col., se divulga el uso de un biofiltro DeNutritor<sup>®</sup> corriente arriba de un sistema de ósmosis inversa. Se pudo demostrar que el tratamiento previo del agua de alimentación con DeNutritor<sup>®</sup> reduce la tasa de incrustaciones biológicas en las membranas (H. Brouwer y col., *Desalination*, Volumen 11, números 1–3, 20 de noviembre de 2006, Páginas 15–17). Sin embargo, DeNutritor tiene sus limitaciones al manipular altas cargas de sólidos. La tecnología requiere pretratamiento adecuado con el fin de funcionar de forma satisfactoria. El pretratamiento adecuado, con la filtración por membranas, como mínimo para eliminar los sólidos en suspensión, aumenta los costes generales de inversión y operación de la tecnología.

Una desventaja adicional de DeNutritor<sup>®</sup> es que la regeneración en línea del concepto propuesto no es posible debido al material del vehículo de tipo espuma usado. Una vez que se ha alcanzado un descenso inaceptable de la presión sobre el biofiltro, se tiene que reemplazar o reparar la espuma con la producción fuera de servicio. Esto prácticamente significa que se requiere 100 % de redundancia del biofiltro para un funcionamiento continuo.

Además, la espuma no tiene ninguna superficie protegida. Básicamente, esto significa que la regeneración de la espuma no se puede controlar con el fin de que quede un cierto nivel de bioactividad en el biofiltro.

En el documento WO01/72645 se divulga un sistema con dos etapas de tratamiento antes de un dispositivo de ósmosis inversa, a saber, una etapa de biorreacción y una etapa de acondicionamiento, en el que se añade un agente biostático al agua. El problema resuelto en la presente solicitud es la prevención de incrustaciones biológicas de la membrana corriente abajo a través de estas dos etapas de acción sinérgica. En principio, el material de vehículo en la etapa de biorreacción puede estar hecho de diferentes materiales, tales como grava, carbón activado o gránulos de plástico, con una superficie específicamente grande para que el procedimiento de reabsorción. Se prefiere un filtro multimedia. En esta primera etapa, una parte sustancial del TOC se hace reaccionar microbiológicamente. La presente invención se centra especialmente en las ventajas de la segunda etapa, es decir, la adición de un agente biostático y el efecto de la combinación de ambas etapas. Se reivindica que el 80-90 % del TOC biológicamente degradable presente en el agua bruta se puede retirar. Sin embargo, como el procedimiento incluye la inyección de un agente biostático, se puede concluir que la eliminación de nutrientes mediante biofiltración utilizada por los inventores del documento WO01/726 por sí sola es insuficiente para el control de incrustaciones biológicas. Además, el uso de un agente biostático puede ser costoso, no es potencialmente sostenible y puede representar un obstáculo para la aplicación de este procedimiento para el tratamiento de agua potable.

El documento WO01/72645 divulga la implementación de una filtración en la etapa de biorreacción. Sin embargo, las ventajas de un biorreactor sin filtración (integrado) no se divulgan en el documento WO01/72645.

## **Sumario de la invención**

La presente invención se refiere a un procedimiento para la eliminación de compuestos biodegradables disueltos como una etapa de tratamiento biológico corriente arriba de un equipo que se va a proteger frente a las incrustaciones biológicas que forman parte de un agua subterránea, agua de superficie o línea de tratamiento terciario de aguas residuales, en el que dicha etapa de tratamiento biológico corriente arriba se lleva a cabo en al menos un biorreactor de lecho compacto que comprende un recipiente o tanque cargado con elementos de cohesión.

El propósito de la eliminación de compuestos biodegradables disueltos es la protección de los equipos corriente abajo de incrustaciones biológicas. El agua que se va a tratar puede ser agua subterránea, agua superficial (río,

lago, embalse, mar, etc.) o agua residual terciaria.

5 La presente invención se caracteriza por que los elementos de cohesión de dicho lecho compacto muestran una fracción de huecos de al menos 70 % y por que la velocidad de flujo del agua a través de dicho biorreactor de lecho compacto está entre 20 m / h y 400 m / h, de manera que dicho lecho compacto no tiene una eficacia de eliminación de sólidos en suspensión en agua, en su caso, de más de 30 %. La presente invención se caracteriza además por que dichos elementos de cohesión de dicho lecho compacto muestran una superficie específica de al menos 750 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> y por que dicho procedimiento no utiliza de ningún compuesto biocida ni biostático para un rendimiento eficaz.

10 Una ventaja de este procedimiento de tratamiento biológico, en comparación con los biofiltros y biorreactores de membrana, es, entre otras cosas, un diseño más simple del equipo y una operación más fácil que da lugar a menores costes.

Los elementos de dicho lecho compacto muestran una superficie protegida de al menos 350 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.

En una realización adicional de la presente invención, la etapa de tratamiento biológico se combina con una etapa de filtración. Esta etapa de filtración puede ser una etapa de filtración convencional, una etapa de ultrafiltración de microfiltración y se puede llevar a cabo corriente abajo o corriente arriba del biorreactor de lecho compacto.

15 En otra realización, la línea de tratamiento incluye además al menos una membrana de nanofiltración o de ósmosis inversa.

En una realización más preferente, la etapa de filtración se lleva a cabo corriente abajo del biorreactor de lecho compacto y corriente arriba de dicha membrana de ósmosis inversa o nanofiltración.

20 En una realización de la presente invención, el equipo corriente abajo que se va a proteger de incrustaciones biológicas es una red de distribución de agua potable.

En otra realización, la línea de tratamiento incluye un intercambiador de calor. En esta realización, el contenido de sólidos del agua bruta es lo suficientemente bajo como para que el procedimiento de tratamiento biológico de la presente invención se puede utilizar en una configuración autónoma corriente arriba del equipo que se va a proteger frente a las incrustaciones biológicas.

25 En una realización preferente, dicha degradación de los compuestos biodegradables en el biorreactor se lleva a cabo sin aireación del biorreactor. La invención se define en las reivindicaciones adjuntas.

30 La presente divulgación describe, además, un sistema para la eliminación de compuestos biodegradables disueltos como una etapa de tratamiento biológico corriente arriba de un equipo que se va a proteger frente a las incrustaciones biológicas que forman parte de un agua subterránea, agua superficial o línea de tratamiento terciario de aguas residuales, que comprende al menos un biorreactor de lecho compacto que comprende un recipiente o un tanque lleno de elementos de cohesión y al menos un medio para bombear el agua de alimentación al interior del biorreactor de lecho compacto. Los elementos de cohesión de dicho lecho compacto muestran una fracción de huecos de al menos 70 % y dichos medios para bombear el agua de alimentación al interior del biorreactor de lecho compacto controlan la velocidad del flujo de agua a través de dicho biorreactor de lecho compacto a, al menos, 20 m / h y, preferentemente, a entre 20 m / h y 400 m / h, de modo que dicho lecho compacto no tiene una eficiencia de eliminación de los sólidos en suspensión en agua, en su caso, de más de 30 %. Los elementos de cohesión de dicho lecho compacto muestran una superficie específica de al menos 750 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Esta realización comprende al menos un dispositivo de filtración corriente arriba de la al menos un biorreactor de lecho compacto.

40 En una realización, dicho dispositivo de filtración corriente arriba es un dispositivo de filtración de membrana, preferentemente un dispositivo de ultrafiltración o de microfiltración.

En otra realización, dicho dispositivo de filtración corriente arriba es un dispositivo de filtración convencional.

En una realización preferente, el sistema comprende además una membrana de osmosis inversa o de nanofiltración corriente abajo del biorreactor de lecho compacto.

45 En otra realización preferente, el biorreactor de lecho compacto comprende, además, un distribuidor de entrada que permite la distribución uniforme del agua de alimentación en dirección axial desde la parte superior del recipiente.

### **Figuras**

La figura 1 muestra una realización preferente de la presente invención, en la que el biorreactor de lecho compacto está corriente arriba de la etapa de filtración de membrana.

50 La figura 2a muestra una realización preferente de la presente invención, en la que el biorreactor de lecho compacto está corriente abajo de la etapa de filtración de membrana.

La figura 2b muestra otra realización alternativa de la presente invención, en la que se coloca un filtro de

cartucho entre el biorreactor de lecho compacto y la membrana de OI.

La figura 3 muestra una realización adicional de la presente invención, en la que el biorreactor de lecho compacto se encuentra corriente arriba de una etapa de filtración convencional.

5 La figura 4 muestra una realización de la presente invención, en la que el biorreactor de lecho compacto está situado corriente abajo de una etapa de filtración convencional.

La figura 5 muestra otra realización preferente de la presente invención, en la que el biorreactor de lecho compacto 2 está situado corriente arriba de una etapa de filtración antes de la red de distribución de agua.

10 La figura 6 muestra otra realización preferente de la presente invención, en la que el biorreactor de lecho compacto está situado directamente corriente arriba de un intercambiador de calor sin una etapa de filtración adicional.

La figura 7 muestra una puesta a punto según la cual se han realizado los ensayos.

La figura 8 muestra un despliegue piloto esquemático de biopROtector con tres biorreactores diferentes.

La figura 9 muestra los resultados de las mediciones de la absorción de oxígeno de las tres biorreactores en la puesta a punto como se muestra en la figura 8.

15 La figura 10 muestra la captación de oxígeno como porcentaje de la absorción de oxígeno total de los tres biorreactores en la puesta a punto como se muestra en la figura 8.

La figura 11 muestra la tasa de captación de oxígeno para los tres biorreactores en la puesta a punto como se muestra en la figura 8.

La figura 12 muestra la eliminación / producción de varias formas de nitrógeno.

20 La figura 13 muestra la captación de oxígeno frente a la producción de nitrato.

La figura 14 muestra la diferencia de presión en la entrada y la salida del biorreactor V10.

La figura 15 muestra una observación visual del simulador de ensuciamiento de la membrana (SEM) en el efluente de la UF de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas *con* y *sin* biopROtector anterior usando solo V10.

25 La figura 16 muestra el desarrollo de la caída de la presión de ambos simuladores de ensuciamiento de la membrana (SEM) como se muestra en la figura 15.

### **Descripción detallada de la invención**

30 La presente invención se refiere a un procedimiento para la eliminación de compuestos biodegradables disueltos como una etapa de tratamiento biológico corriente arriba como parte de un agua subterránea, agua superficial o una línea de tratamiento terciario de aguas residuales. La etapa de tratamiento biológico corriente arriba se lleva a cabo en al menos un biorreactor de lecho compacto que comprende un recipiente o tanque cargado con elementos de cohesión.

35 El propósito de la eliminación de compuestos biodegradables disueltos es la protección de los equipos corriente abajo de incrustaciones biológicas. El agua que se va a tratar puede ser agua subterránea, agua superficial (río, lago, embalse, mar, etc.) o agua residual terciaria.

40 La presente invención se caracteriza por que los elementos de cohesión de dicho lecho compacto muestran una fracción de huecos de al menos 70 % y por que la velocidad de flujo del agua a través de dicho biorreactor de lecho compacto está entre 20 m / h y 400 m / h, de manera que dicho lecho compacto no tiene una tasa de eliminación de sólidos en suspensión en agua, en su caso, de más de 30 %. A esta velocidad de flujo, se potencia la transferencia de nutrientes en la película biológica y se mantiene la capa de película biológica activa fina.

45 La presente invención se caracteriza además por que dichos elementos de cohesión de dicho lecho compacto muestran una superficie específica de al menos 750 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> y una superficie protegida de al menos 350 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. La superficie específica de acuerdo con la presente invención puede estar suelta o estructurada. La superficie específica de la presente invención ofrece competir con el área de superficie de crecimiento, en la que los microorganismos tendrán la capacidad de establecerse y crecer. Los microorganismos forman una película biológica sobre la superficie específica y agotan los nutrientes disponibles en la corriente de agua de alimentación que fluye a través del biorreactor de lecho compacto. Esto da lugar a la falta de nutrientes y, con ello, a la falta de crecimiento de los microorganismos en el sistema de membrana corriente abajo. Por tanto, una gran ventaja de presente invención es el crecimiento controlado de microorganismos en un área específica corriente arriba de las membranas que se van a proteger de incrustaciones biológicas.

50

- La presente invención se caracteriza además por que dicho procedimiento no utiliza ningún compuesto biocida ni biostático. Una desventaja importante del uso de biocidas, tal como, por ejemplo, agentes oxidantes como cloro o peróxido de hidrógeno, es que la membrana corriente abajo, en la mayoría de las aplicaciones, tiene que estar protegida de tales biocidas. Por tanto, tiene que añadirse otra etapa para la retirada del biocida antes de que el agua de alimentación llegue a la etapa de membrana. Se pueden usar biocidas no oxidantes que no dañan la membrana corriente abajo, pero tendrán que retirarse de la corriente de aguas residuales resultante en la etapa de membrana. Se pueden añadir agentes bioestáticos en cantidades bajas con el fin de inhibir aún más el crecimiento de los microorganismos y, por lo general, no inhiben el funcionamiento de la etapa de membrana corriente abajo.
- En una realización de la presente invención, los elementos de cohesión de la presente invención pueden estar hechos de metal, cerámica o plástico, en una realización preferente, dicho material de cohesión está hecho de polietileno de alta densidad. La densidad se puede aumentar mediante el uso de una mezcla maestra de elementos que contienen, por ejemplo,  $\text{TiO}_2$  o  $\text{Ca CO}_3$ . Para la mayoría de las aplicaciones, los elementos de cohesión existen en dos densidades, por ejemplo,  $0,95 \text{ kg / dm}^3$  y  $0,98 \text{ kg / dm}^3$ . La tolerancia a la densidad es de  $\pm 0,02 \text{ kg / dm}^3$ . En una realización preferente del presente invento, el elemento de cohesión es AnoxKaldnes® K1.
- El biorreactor utilizado de acuerdo con la presente invención no tiene características de filtrado ni previstas ni fuertes (ejemplo 2 y Figura 14).
- El biorreactor utilizado de acuerdo con la presente invención comprende un recipiente o un tanque cargado con elementos de cohesión.
- En una realización se cierra el recipiente o tanque de la presente invención. No hay fase gaseosa presente en el recipiente o tanque del biorreactor, es decir, los elementos de cohesión en el recipiente o tanque están completamente inundados. En esta realización no es necesaria aireación, ya que el agua que se va a tratar en dicha realización solo tiene un contenido relativamente limitado de nutrientes y la concentración de oxígeno disuelto que entra en el biorreactor es, generalmente, suficiente para la biodegradación eficiente de los nutrientes.
- Una de las ventajas de la presente invención es que incluso en el caso de condiciones anóxicas o anaerobias, la ausencia de aireación no representa ningún inconveniente, siempre y cuando se evite que el agua capte cualquier oxígeno entre el biorreactor y el equipo que se va a proteger de incrustaciones biológicas, ya que el potencial de incrustaciones biológicas anóxico o anaeróbico en las membranas también se evita mediante una biodegradación anóxica o anaeróbica en el biorreactor de lecho compacto.
- La microfiltración y la ultrafiltración son las mejores tecnologías disponibles para la eliminación de sólidos en suspensión (materia particulada y coloidal). Su eficacia en la eliminación de sólidos es significativamente mejor que la de la filtración en medio granular convencional. Sin embargo, estas membranas no eliminan ningún compuesto disuelto, incluyendo los nutrientes disueltos responsables de incrustaciones biológicas de las membranas de ósmosis inversa o nanofiltración. Este último inconveniente se supera mediante la combinación de esta tecnología de filtración de membrana con el biorreactor de lecho compacto de la presente invención.
- La ventaja del biorreactor de lecho compacto en comparación con los biofiltros convencionales es su diseño más simple y el volumen de reactor reducido, lo que da lugar a costes de inversión reducidos, así como su operación simplificada mediante la reducción de la pérdida de carga y una frecuencia muy baja o nula de lavado a contracorriente que da lugar a costes de operación reducidos. La razón del menor volumen del reactor requerido es una concentración de biomasa fija más alta, que se puede explicar por una elevada superficie específica del material de cohesión y un mayor espesor de la película biológica. Otras ventajas son que el biorreactor de lecho compacto puede, si se requiere, regenerarse en línea, que el biorreactor contendrá esencialmente suficiente bioactividad después de la regeneración debido a la superficie protegida y que, por tanto, el biorreactor no requiere ninguna redundancia.
- En las realizaciones preferentes, como se muestra en las figuras 1 y 2a, el biorreactor de lecho compacto 2 se combina con una etapa de filtración de membrana 3 utilizando membranas de microfiltración o, preferentemente, de ultrafiltración. El objetivo de esta combinación de dos etapas de tratamiento es evitar el ensuciamiento por partículas y coloides, así como controlar las incrustaciones biológicas de las membranas en una etapa 4 de ósmosis inversa o nanofiltración corriente abajo.
- En la realización preferente de acuerdo con la figura 1, el biorreactor de lecho compacto está corriente arriba de la etapa de filtración de membrana, mientras que está corriente abajo de la etapa de filtración de membrana en la realización preferente de acuerdo con la figura 2a.
- De acuerdo con la figura 1, el agua de alimentación 1 se introduce en un biorreactor de lecho compacto 2 de acuerdo con la presente invención. A continuación, el agua que sale del reactor de lecho compacto 2 pasa a una etapa de filtración de membrana 3 antes de alcanzar la etapa 4 de ósmosis inversa o nanofiltración. De acuerdo con la figura 2a, el agua de alimentación 1 se alimenta primero a una etapa de filtración de membrana 3 antes de entrar en el biorreactor de lecho compacto 2 de acuerdo con la presente invención y, después, alcanza la etapa 4 de ósmosis inversa o nanofiltración.

- En comparación con un biorreactor de membrana, las dos realizaciones preferentes de la presente invención de acuerdo con las figuras 1 y 2a tienen principalmente dos ventajas. La carga sólida reducida en las membranas de UF o MF, es decir, la biomasa en suspensión presente en los biorreactores de membrana frente a la película biológica fija en el biorreactor de lecho compacto, tiene un impacto positivo sobre la velocidad de flujo del diseño y / o la frecuencia de limpieza de las membranas de UF o MF. Además, en esta aplicación se pueden usar de membranas de UF o MF tipo presurizado, mientras que en las membranas sumergidas generales se utilizan para biorreactores de membrana. Tales membranas sumergidas tienen varios inconvenientes, tales como, por ejemplo, su precio más alto, el mantenimiento (limpieza) más difícil, la necesidad de desgasificación del permeado, por lo que se requiere equipo adicional de eliminación de gases, etc.
- La ventaja de la realización preferente de acuerdo con la figura 1 es la eliminación de la biomasa que puede desprenderse de la película biológica sobre el material de cohesión del biorreactor por la etapa de filtración de membrana. Esta biomasa individual puede, potencialmente, en algunos casos, causar un poco de ensuciamiento de las membranas de ósmosis inversa o nanofiltración si no se elimina.
- La frecuencia de retrolavado se puede reducir en esta realización, ya que no hay riesgo de que la biomasa desprendida alcance las membranas de ósmosis inversa o nanofiltración.
- La ventaja de la realización preferente de acuerdo con la figura 2a es la ausencia de materia en suspensión en el agua de alimentación 1 al biorreactor de lecho compacto 2. Incluso a una velocidad de eliminación muy baja, la materia suspendida potencialmente capturada por la película biológica en la configuración de la realización preferente de acuerdo con la figura 1 puede contribuir al aumento de la pérdida de carga del biorreactor y, por tanto, puede tener un impacto sobre su frecuencia de limpieza. Una ventaja adicional de la realización de acuerdo con la figura 2a es que no se requiere bomba de alimentación adicional para alimentar el agua en el biorreactor cuando un dispositivo de ultrafiltración se encuentra corriente arriba del biorreactor de lecho compacto, ya que la bomba del dispositivo de ultrafiltración proporciona una corriente de alimentación de acuerdo con los requisitos para el funcionamiento del biorreactor de lecho compacto.
- En otra realización alternativa de la realización como se muestra en la figura 2b, se coloca un filtro de cartucho 8 entre el biorreactor lecho compacto 2 y la membrana 4 de ósmosis inversa o de nanofiltración para atrapar cualquier biosólido que pueda desprenderse del biorreactor y alcanzar la membrana 4 de ósmosis inversa o de nanofiltración.
- Otra realización preferente de presente invención comprende una etapa de filtración convencional en lugar de la etapa de filtración de membrana. En la realización preferente como se muestra en la figura 3, el biorreactor de lecho compacto 2 está corriente arriba de una etapa de filtración convencional 5, mientras que en la realización preferente como se muestra en la figura 4, el biorreactor de lecho compacto 2 está situado corriente abajo de una etapa de filtración convencional 5.
- La etapa de filtración convencional 5 puede ser cualquier tipo de filtro que no sean membranas, por ejemplo, un filtro de medio granular con medios de filtro inerte y / o adsorbente, un filtro de tamiz o micro-tamiz, un filtro de tipo de haz de fibras o un filtro de tipo disco. En caso de una filtración convencional de este tipo, hay presente alguna actividad biológica, pero, como en el caso de la filtración de membrana, es insuficiente para un control razonable de incrustaciones biológicas de las membranas 4 de ósmosis o nanofiltración corriente abajo. En este caso, un biorreactor de lecho compacto complementario 2 potencia la biodegradación de los nutrientes disponibles y, por tanto, refuerza el control de incrustaciones biológicas de las membranas 4 de ósmosis inversa o nanofiltración.
- La razón principal para el uso de filtros alternativos por encima de UF / MF es el menor coste. La UF / MF tienen un rendimiento excelente de eliminación de sólidos, que es un requisito previo para el funcionamiento duradero de las membranas de OR de tipo enrollado en espiral. Sin embargo, la barrera para los sólidos en suspensión no tiene que ser 100 % (como es el caso de UF / MF). Esto permite tecnologías de filtración alternativas que tienen costes más bajos. En combinación con el biorreactor de lecho compacto de acuerdo con la presente invención, las tecnologías de filtración convencionales pueden ofrecer una alternativa rentable a la UF / MF.
- Otra realización preferente se refiere al procedimiento de utilización de un biorreactor de lecho compacto 2 para la reducción de la formación de películas biológicas en las redes de distribución de agua y, especialmente, agua en las redes de distribución de agua potable 6. Dado que algunas películas biológicas se pueden desprender del biorreactor de lecho compacto 2, es preferible que, en este caso, el biorreactor de lecho compacto 2 esté situado corriente arriba de la última etapa de filtración en la línea de tratamiento de agua, como se muestra en la figura 5. Una cantidad reducida de nutrientes disponible reduce la tasa de dosis desinfectante necesaria para la desinfección eficiente de toda la red de distribución 6.
- Una realización preferente adicional, como se muestra en la figura 6, se refiere al uso de un biorreactor de lecho compacto 2 para el control de incrustaciones biológicas de los equipos corriente abajo sin una etapa de filtración adicional. Este procedimiento es adecuado cuando, por ejemplo, el agua que se va a tratar tiene un contenido en materia en suspensión bajo o el equipo corriente abajo que se va a proteger de incrustaciones biológicas tiene una sensibilidad baja a la presencia de sólidos en suspensión. El equipo que se ha de proteger de incrustaciones biológicas en esta realización preferente puede ser, por ejemplo, un intercambiador de calor 7, como se divulga en la

figura 6.

La presente descripción divulga, además, un sistema para la eliminación de compuestos biodegradables disueltos como una etapa de tratamiento biológico corriente arriba de un equipo que se va a proteger frente a incrustaciones biológicas que forma parte de un agua subterránea, agua superficial o línea de tratamiento terciario de aguas residuales, que comprende al menos un biorreactor de lecho compacto que comprende un recipiente o un tanque lleno de elementos de cohesión y al menos un medio para bombear el agua de alimentación al interior del biorreactor de lecho compacto.

La presente invención se caracteriza por que dichos elementos de cohesión de dicho lecho compacto muestran una fracción de huecos de al menos 70 % y por que dichos medios para bombear el agua de alimentación al interior del biorreactor de lecho compacto controlan la velocidad de flujo del agua a través de dicho biorreactor de lecho compacto a entre 20 m / h y 400 m / h, de manera que dicho lecho compacto no tiene una eficacia de eliminación de sólidos en suspensión en agua, en su caso, de más de 30 %. La presente realización se caracteriza además por que dichos elementos de cohesión de dicho lecho compacto muestran una superficie específica de al menos 750 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> y una superficie protegida de al menos 350 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. La presente realización comprende, además, un dispositivo de filtración corriente arriba de la al menos un biorreactor de lecho compacto. La ventaja de este sistema es que el dispositivo de filtración corriente arriba del biorreactor de lecho compacto reduce sustancialmente la materia en suspensión en el agua de alimentación al biorreactor de lecho compacto. Por tanto, la pérdida de carga del biorreactor se reduce y tiene un impacto sobre la frecuencia de limpieza del biorreactor.

En una realización preferente, dicho dispositivo de filtración corriente arriba es un dispositivo de filtración de membrana, preferentemente un dispositivo de ultrafiltración o de microfiltración. Una ventaja de esta realización es que no se requiere bomba de alimentación adicional para alimentar el agua en el biorreactor cuando un dispositivo de ultrafiltración se encuentra corriente arriba del biorreactor de lecho compacto, ya que la bomba del dispositivo de ultrafiltración proporciona una corriente de alimentación de acuerdo con los requisitos para el funcionamiento del biorreactor de lecho compacto.

En otra realización, dicho dispositivo de filtración corriente arriba es un dispositivo de filtración convencional. El dispositivo de filtración convencional puede ser cualquier tipo de filtro que no sean membranas, por ejemplo, un filtro de medio granular con medios de filtro inerte y / o adsorbente, un filtro de tamiz o micro-tamiz, un filtro de tipo de haz de fibras o un filtro de tipo disco. En combinación con el biorreactor de lecho compacto, las tecnologías de filtración convencionales pueden ofrecer una alternativa rentable a la UF / MF

El sistema puede comprender además una membrana de ósmosis inversa o de nanofiltración corriente abajo del biorreactor de lecho compacto que está protegido de incrustaciones biológicas mediante el reactor de lecho compacto corriente arriba en combinación con un dispositivo de filtración de membrana.

En otra realización preferente, el biorreactor de lecho compacto comprende, además, un distribuidor de entrada que permite la distribución uniforme del agua de alimentación en dirección axial desde la parte superior del recipiente. El distribuidor de entrada debería distribuir uniformemente el agua en dirección axial, de modo que se previene el corto circuito de agua a través de los medios.

El biorreactor de lecho compacto de acuerdo con una realización comprende un recipiente o un tanque cerrado que tiene una parte inferior y una parte superior, y es capaz de funcionar en condiciones de presión.

El recipiente o depósito está parcialmente lleno de medio vehículo, distribuido consistentemente, que tiene una densidad superior o cercana a la del agua que se va a tratar. El efluente que se va a tratar se bombea a la parte superior del recipiente o tanque y se distribuye igualmente hacia abajo mediante un distribuidor de entrada. El distribuidor de entrada debería distribuir uniformemente el agua en dirección axial, de modo que se previene el corto circuito de agua a través de los medios. Un tamiz de salida que consiste en una serie de laterales o un tamiz que tiene aberturas adaptadas para impedir que los medios pasen a su través se encuentran en la parte inferior del tanque. Durante el funcionamiento normal, el biorreactor se hace funcionar como un lecho compacto. Durante la regeneración, se realiza un retrolavado del el biorreactor cambiando la dirección del flujo con la bomba del agua de alimentación existente y cambiando las posiciones de la válvula. El medio se expande y se hace funcionar como un lecho fluido que libera el exceso de sólidos que se capturan o crecen en el interior del biorreactor durante el funcionamiento normal.

El biorreactor de lecho compacto puede someterse a retrolavado cuando la presión desciende, preferentemente, el biorreactor se someterá a retrolavado cuando la pérdida de carga es inferior a 0,02 MPa para la serie total de biorreactores.

La velocidad de retrolavado tiene que ser lo suficientemente alta como para crear un lecho fluido para eliminar los sólidos en suspensión, pero para evitar una pérdida significativa de actividad biológica es preferible una pérdida de menos de 20 %. Preferentemente, la duración de del retrolavado no será superior a 120 segundos y se puede realizar con agua de alimentación o agua tratada. De acuerdo con la presente invención no se requiere aireación durante el retrolavado.

En caso de que se requiera un retrolavado para disminuir la presión y eliminar el exceso de sólidos en suspensión,



se necesita espacio de cabeza libre para permitir un lecho fluido. De acuerdo con una realización, el espacio de cabeza libre necesario para expandir el lecho fluido para lavar los sólidos es de al menos un 20 % del volumen del reactor.

5 En una realización de presente invención, el retrolavado del biorreactor no es necesario en caso de que el biorreactor esté colocado detrás de una membrana de UF.

10 El objetivo de la presente invención es reducir al mínimo el crecimiento biológico de microorganismos en las membranas de OI. Esto se consigue ofreciendo superficie de soporte corriente arriba de la membrana de OI. La cantidad de superficie de soporte requerida depende del grado de agotamiento de nutrientes / depleción de carbono orgánico que es necesario para reducir al mínimo el crecimiento en la membrana de OI. Una característica principal que se ha de determinar es cuanta actividad biológica restante es aceptable (expresado como equivalentes de oxígeno por unidad de volumen y por unidad de volumen en la unidad de tiempo) en el agua de alimentación de la membrana de OI para prevenir o reducir al mínimo el crecimiento biológico. De acuerdo con la presente invención, la relación mínima de la superficie de soporte total y la superficie de la membrana de OI corriente abajo es del 100 %.

15 En otra realización de la presente invención, se puede añadir un bucle de reciclaje al biorreactor de lecho compacto para las situaciones en las que la concentración de nutrientes no cumple los criterios definidos.

### Ejemplos

#### Ejemplo 1: Configuración de ensayo BiopROtector®

Para analizar la eficiencia de la configuración se han realizado ensayos de acuerdo con la configuración como se muestra en la Figura 7.

20 En la configuración de ensayo 1, el efluente se condujo a través de una etapa de ultrafiltración a un biorreactor de lecho compacto de acuerdo con la presente invención (BiopROtector®), y, como última etapa, se sometió a una etapa de ósmosis inversa.

25 En la Figura 8 se muestra un despliegue piloto esquemático de biopROtector. La presente invención se analizó en una secuencia de tres biorreactores, en los que V10 es el primer biorreactor, seguido de, respectivamente, V20 y V30.

La captación de oxígeno se midió en cada biorreactor en esta configuración. La Figura 9 muestra la captación de oxígeno en el tiempo para cada biorreactor. Se puede ver que la captación más alta de oxígeno tiene lugar en el primer biorreactor V10, seguido de V20 y, por último, V30.

30 La Figura 10 muestra la captación de oxígeno para los diferentes biorreactores como el porcentaje de utilización total de oxígeno medido durante un período de 7 días. El primer biorreactor (V10) tiene la mayor contribución a la captación de oxígeno (50-75 %), seguido de, respectivamente V20 (20-33 %) y V30 (3-20 %).

En la figura 11 se muestra la tasa de captación de oxígeno para los tres biorreactores. Se puede ver que la tasa de captación más alta de oxígeno tiene lugar en el primer biorreactor (V10), seguido de V20 y V30.

35 En el mismo despliegue piloto biopROtector, la concentración de nitrógeno se midió en el 23 de junio de 2009 a los puntos de muestreo sp1, 2, 3 y 4 (figura 8). Sobre la base de las mediciones se realizó de un equilibrio de masas de nitrógeno para amoníaco, nitrato, nitrito y nitrógeno orgánico. La figura 12 muestra la eliminación / producción de varias formas de nitrógeno, con la eliminación / producción de amoníaco / nitrato más alta en el primer reactor y una menor eliminación / producción de amoníaco / nitrato en el segundo y tercer biorreactor. La utilización de oxígeno en el biorreactor se corresponde directamente con el crecimiento bacteriano y la eliminación de los nutrientes y fuentes de carbono disponibles que presentan.

La Figura 13 muestra la captación de oxígeno "medida" y la captación de oxígeno "requerida" basada en la cantidad de nitrato producido para los tres biorreactores utilizando un factor de utilización de oxígeno teórico de 4,33 mg de O<sub>2</sub> requerido para la producción de 1 mg de NO<sub>3</sub>-N.

45 A partir de estas mediciones (Fig. 9-13) se puede concluir que el uso de una secuencia de tres biorreactores en serie, alimentándose con el efluente de UF de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas:

1. La captación de oxígeno más alta se produce en el primer biorreactor (hasta 70 % de la utilización total de oxígeno dentro del HRT de tres biorreactores), seguido de una fuerte disminución en la captación oxígeno en el segundo y tercer biorreactor corriente abajo.
2. La tasa de captación de oxígeno más alta (TCO) se produce en la primera biorreactor, seguido de una fuerte disminución de la tasa de captación de oxígeno en el segundo y tercer biorreactor corriente abajo.
3. Se produce un agotamiento de los nutrientes en la dirección axial del biorreactor, que muestra la eliminación más alta en el primer biorreactor, seguido de una tasa de eliminación de amoníaco más baja en el segundo y tercer biorreactor corriente abajo.

4. La captación de oxígeno en los tres biorreactores corresponde en gran medida a la producción de nitrato, lo que indica que la captación de oxígeno medido está causada principalmente por la oxidación de amoníaco y nitrógeno nítrito.

5. El agotamiento de los nutrientes en dirección axial da lugar a una captación de oxígeno menor y una tasa de captación de oxígeno menor y, por lo tanto, una tasa de crecimiento de la película biológica menor corriente abajo del biorreactor.

10 No se midió el contenido orgánico del agua. Las mediciones de COD, TOC y BOD tienen poco o ningún valor debido a la pequeña diferencia entre la entrada y la salida y la fiabilidad de los análisis DQO, TOC y DBO. Por lo tanto, es muy difícil obtener equilibrios de masa fiables para COD, TOC y BOD. Sin embargo, debido a la clara disminución de nitrógeno amoniacal en dirección axial del biorreactor, cabe esperar que los compuestos orgánicos muestren un perfil de concentración decreciente similar a lo largo del biorreactor.

**Ejemplo 2: Propiedades de ausencia de filtración del biorreactor**

15 Sobre la base de la oxidación del nitrógeno por las bacterias autótrofas, se puede calcular el crecimiento esperado de sólidos. Se usaron los siguientes parámetros para el cálculo de la oxidación prevista del nitrógeno de la producción de lodos en el biorreactor que se está alimentando con efluente de UF de una planta de aguas residuales domésticas.

Captación promedio de oxígeno en el biorreactor V10 (26-06-2000: 28-07-2009)	1,76	mg O <sub>2</sub> /l
Rendimiento de lodos bacterias autótrofas	0,074	g de célula COD/qN oxidado
Lodo de contenido COD	1,42	kg de COD/kg de ODS (sólidos secos orgánicos)
Contenido en cenizas (inorgánico)	20	%
N oxidado promedio	0,41	mg/N/l
Lodos promedios producidos	0,026	mg de MLSS/l
Lodos promedios producidos	0,11	mg MLSS/l.h

20 Se calculó que la producción diaria de lodos en el biorreactor V10 es 2,64 mg MLSS / l. La producción de lodos acumulada debido solo al crecimiento debe ser durante un período de tiempo de 1 mes de aproximadamente 1,9 g MLSS / l, como se muestra en la figura 14. Sin embargo, el crecimiento de bacterias heterótrofas que utilizan fuentes de carbono disponibles y los procedimientos de descomposición bacteriana no se tuvieron en cuenta. De la figura 14 se puede observar que dentro del período considerado no hay aumento de presión sobre V10. Esta observación apoya la afirmación de que el biorreactor no tiene características de filtración ni previstas ni fuertes.

**Ejemplo 3: Simulador de ensuciamiento de membrana**

25 La presente invención se probó utilizando un simulador de ensuciamiento de membrana (SEM) (Vrouwenvelder *et al*, 2006). El SEM es una herramienta práctica para la predicción y control del ensuciamiento. Usando el SEM se puede controlar el ensuciamiento mediante, por ejemplo, parámetros de funcionamiento como el desarrollo de descenso de presión y observaciones no destructivas (visuales y microscópicas).

30 La figura 15 muestra la observación visual del SEM en el efluente de UF efluentes de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas *con* y *sin* biopROtector anterior de acuerdo con la figura 8, en el que la configuración *con* agua biopROtector se tomaron muestras a SP2 y para la configuración *sin*, se tomaron muestras de agua a SP1. La foto se tomó 11 días después del inicio de la alimentación del SEM con una membrana y separadores de OI limpios. Hay una clara diferencia en el grado de ensuciamiento después de 11 días de funcionamiento visible.

35 Las observaciones visuales estaban avaladas por los desarrollos de descenso de presión de ambos SEM como se indica en la figura 16. El incremento del descenso de presión como se observa para el SEM sin biopROtector anterior es directamente consecuencia del crecimiento biológico debido a que el agua de alimentación del permeado de UF está libre de cualquier sólido en suspensión. Adicionalmente, el aumento exponencial es típico para el crecimiento biológico en condiciones no limitantes (presencia de nutrientes, fuentes de carbono y oxígeno suficiente).

40

**REIVINDICACIONES**

5 1. Un procedimiento de eliminación de compuestos biodegradables disueltos como una etapa de tratamiento biológico corriente arriba de un equipo que se va a proteger frente a incrustaciones biológicas que forman parte de un agua subterránea, agua de superficie o línea de tratamiento terciario de aguas residuales, en el que dicha etapa de tratamiento biológico corriente arriba se lleva a cabo en al menos un biorreactor de lecho compacto que comprende un recipiente o tanque cargado con elementos de cohesión,

**caracterizado porque:**

10 i) dichos elementos de cohesión de dicho lecho compacto muestran una fracción de huecos de al menos 70 % y la velocidad del flujo de agua a través de dicho biorreactor de lecho compacto es entre 20 m / h y 400 m / h,  
ii) dichos elementos de cohesión de dicho lecho compacto muestran una superficie específica de al menos 750 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> y una superficie protegida de al menos 350 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>;  
iii) dicho procedimiento no utiliza ningún compuesto biocida ni biostático;  
iv) dicho biorreactor de lecho compacto no tiene características de filtrado ni previstas ni fuertes.

15 2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha etapa de tratamiento biológico se combina con una etapa de filtración.

3. El procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en el que dicha línea de tratamiento incluye al menos una membrana de nanofiltración o de ósmosis inversa.

4. El procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 2 y 3, en el que la etapa de filtración se lleva a cabo corriente arriba del biorreactor de lecho compacto.

20 5. El procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 2 y 3, en el que la etapa de filtración se lleva a cabo corriente abajo del biorreactor de lecho compacto y corriente arriba de dicha membrana de ósmosis inversa o de nanofiltración.

6. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4 o 5, en el que la etapa de filtración es una etapa de ultrafiltración o de microfiltración.

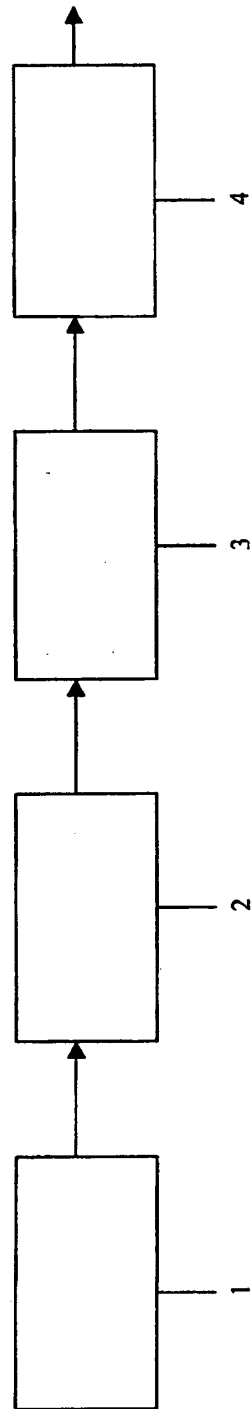
25 7. El procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el equipo que se va a proteger corriente abajo de dicha línea de tratamiento es una red de distribución de agua potable.

8. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha línea de tratamiento incluye un intercambiador de calor.

30 9. El procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que la degradación de los compuestos biodegradables en el biorreactor tiene lugar sin aireación del biorreactor.

10. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 4 o 5, en el que dicha etapa de filtración es una filtración convencional con un filtro convencional, seleccionándose dicho filtro convencional entre un filtro de medio granular con medios de filtro inertes y / o absorbentes, un filtro de tamiz o micro-tamiz, un filtro de tipo haz de fibras o un filtro de tipo disco.

35



**Fig. 1**

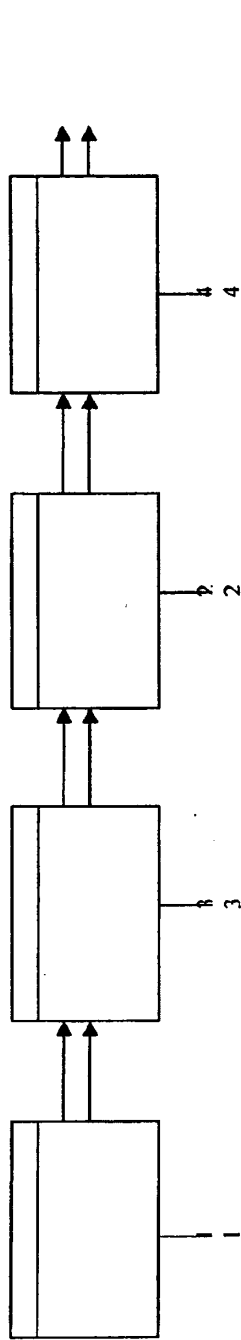


Fig. 2a

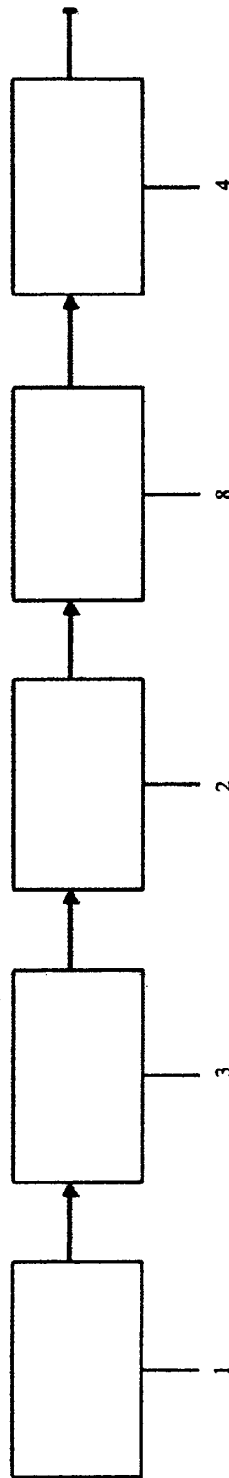
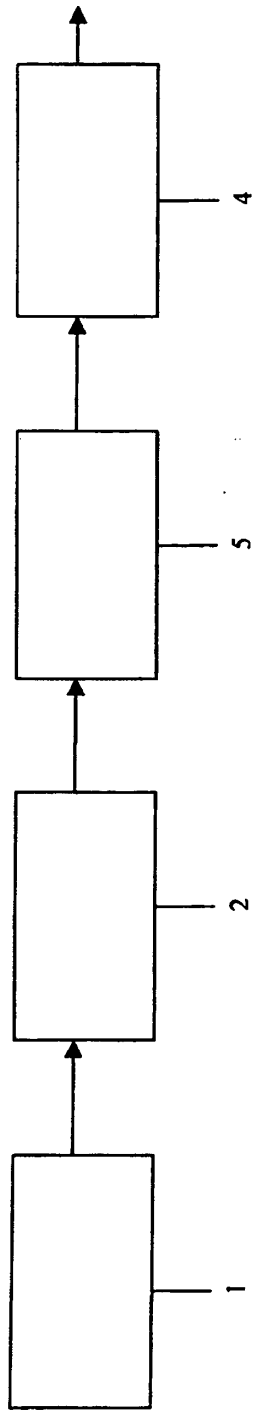
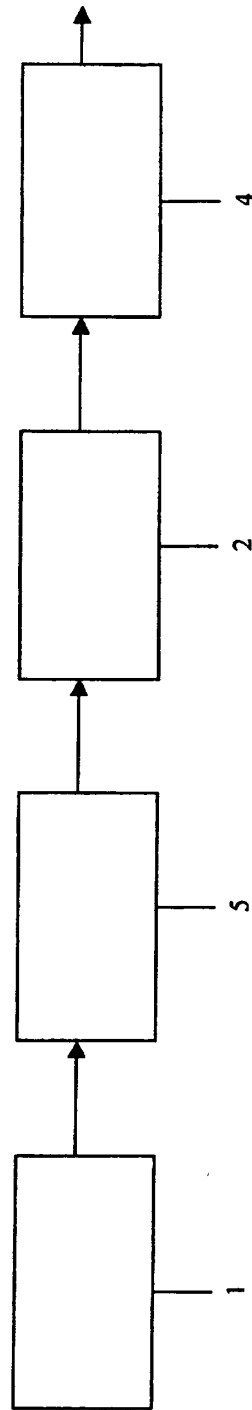


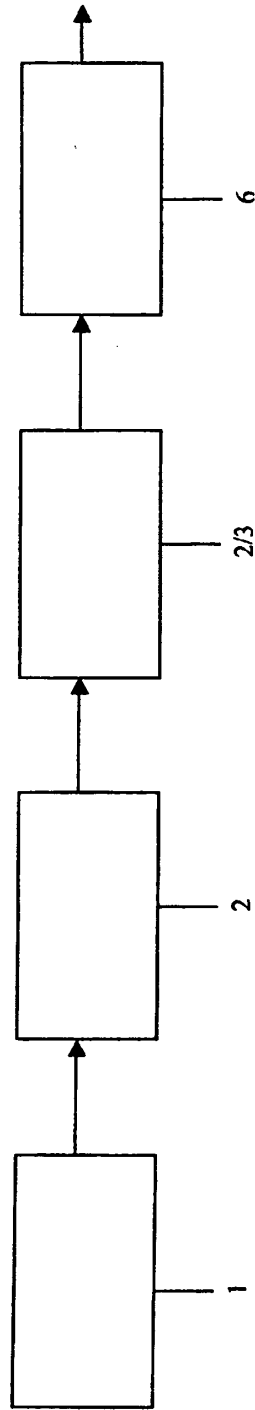
Fig. 2b



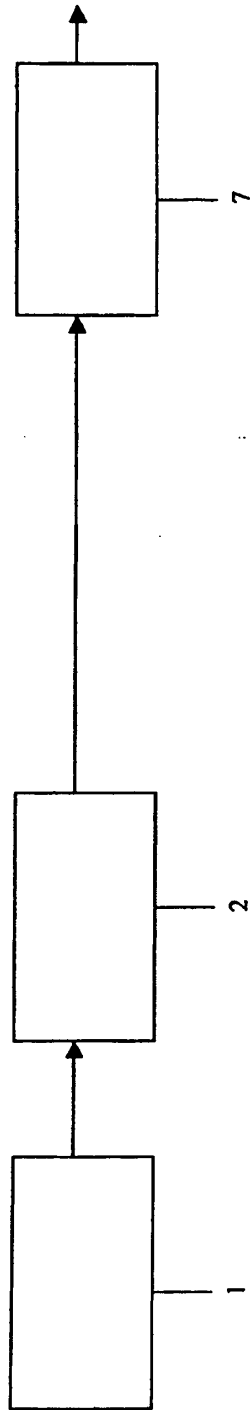
**Fig. 3**



**Fig. 4**



**Fig. 5**



**Fig. 6**



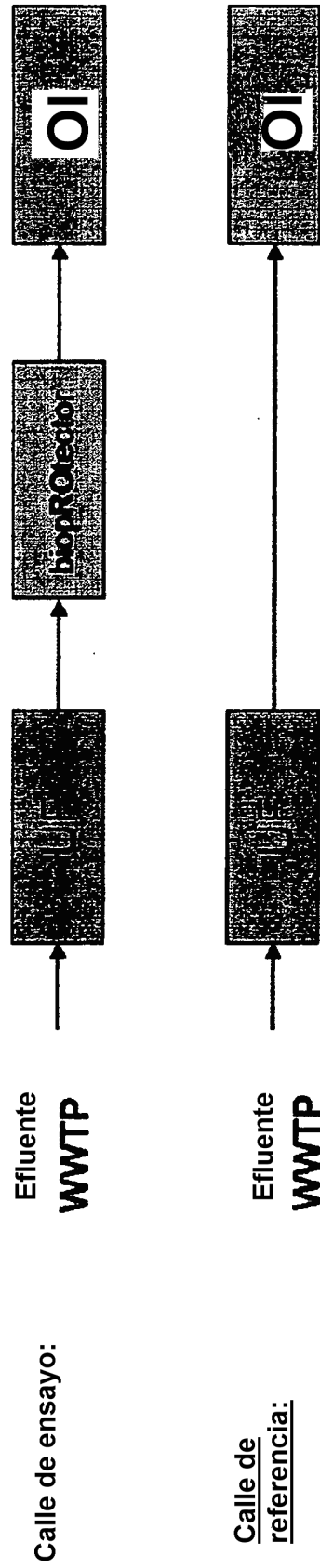


Fig. 7

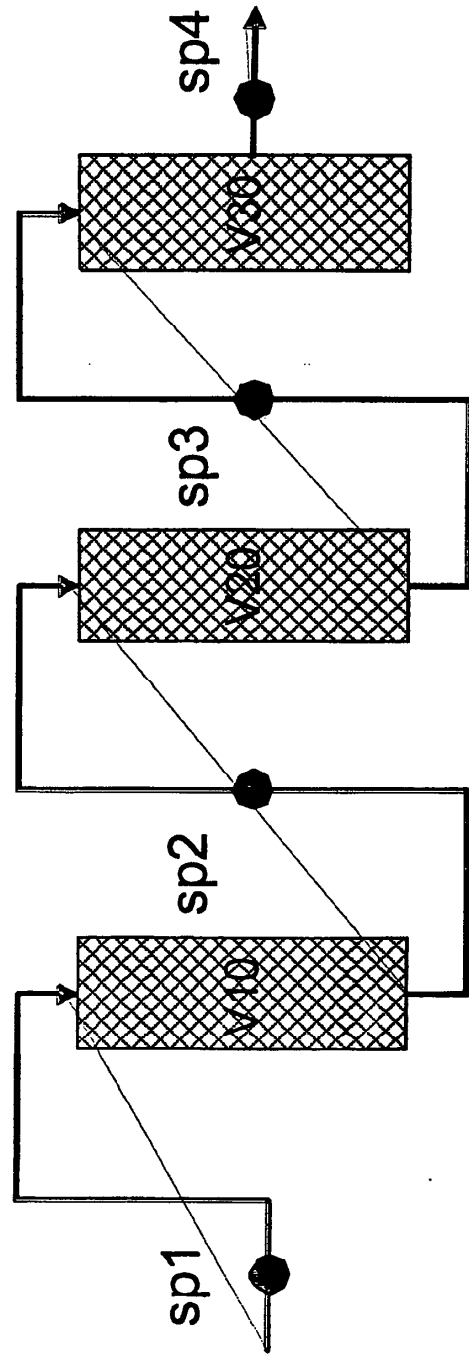


Fig. 8

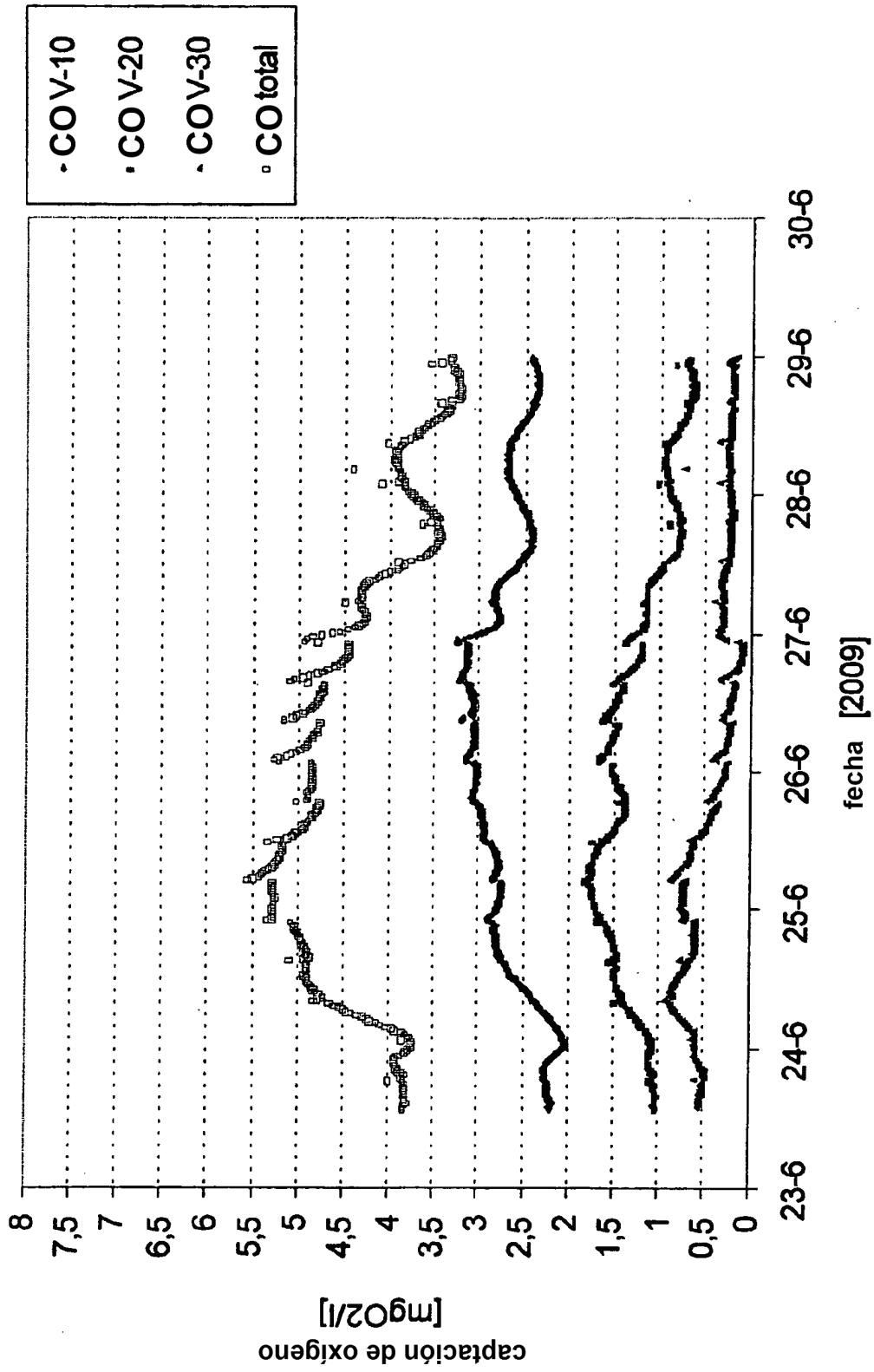


Fig. 9

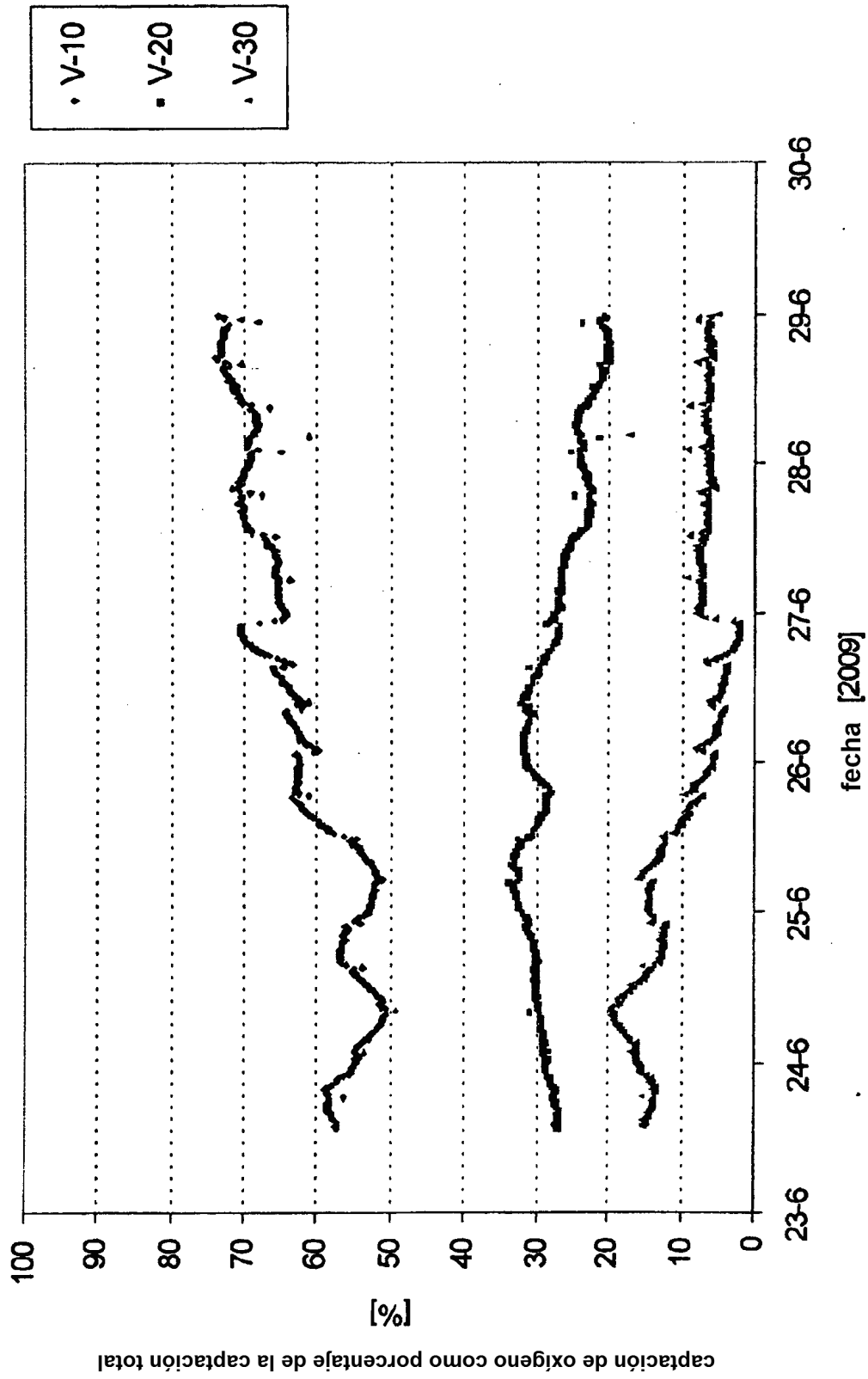


Fig. 10

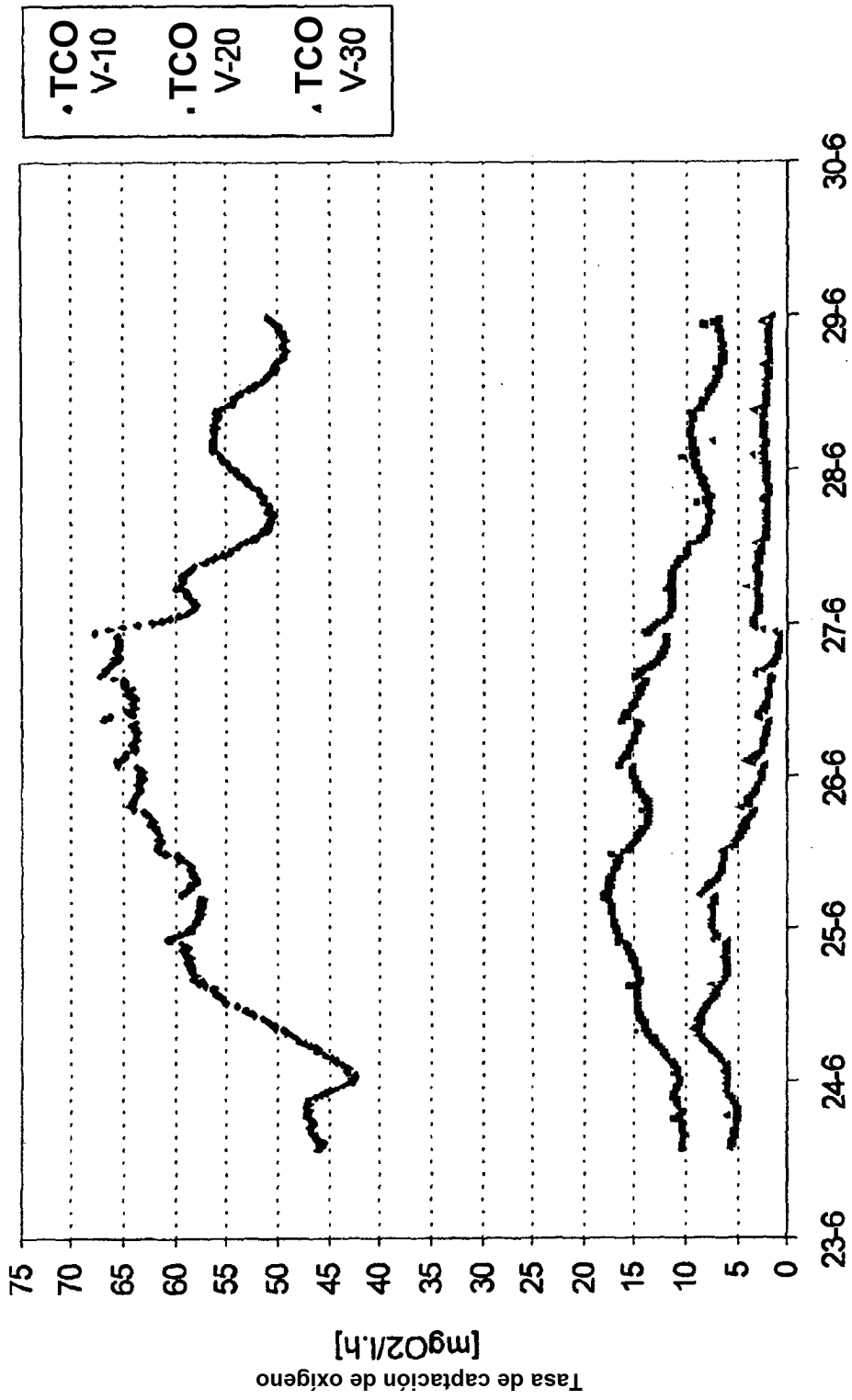
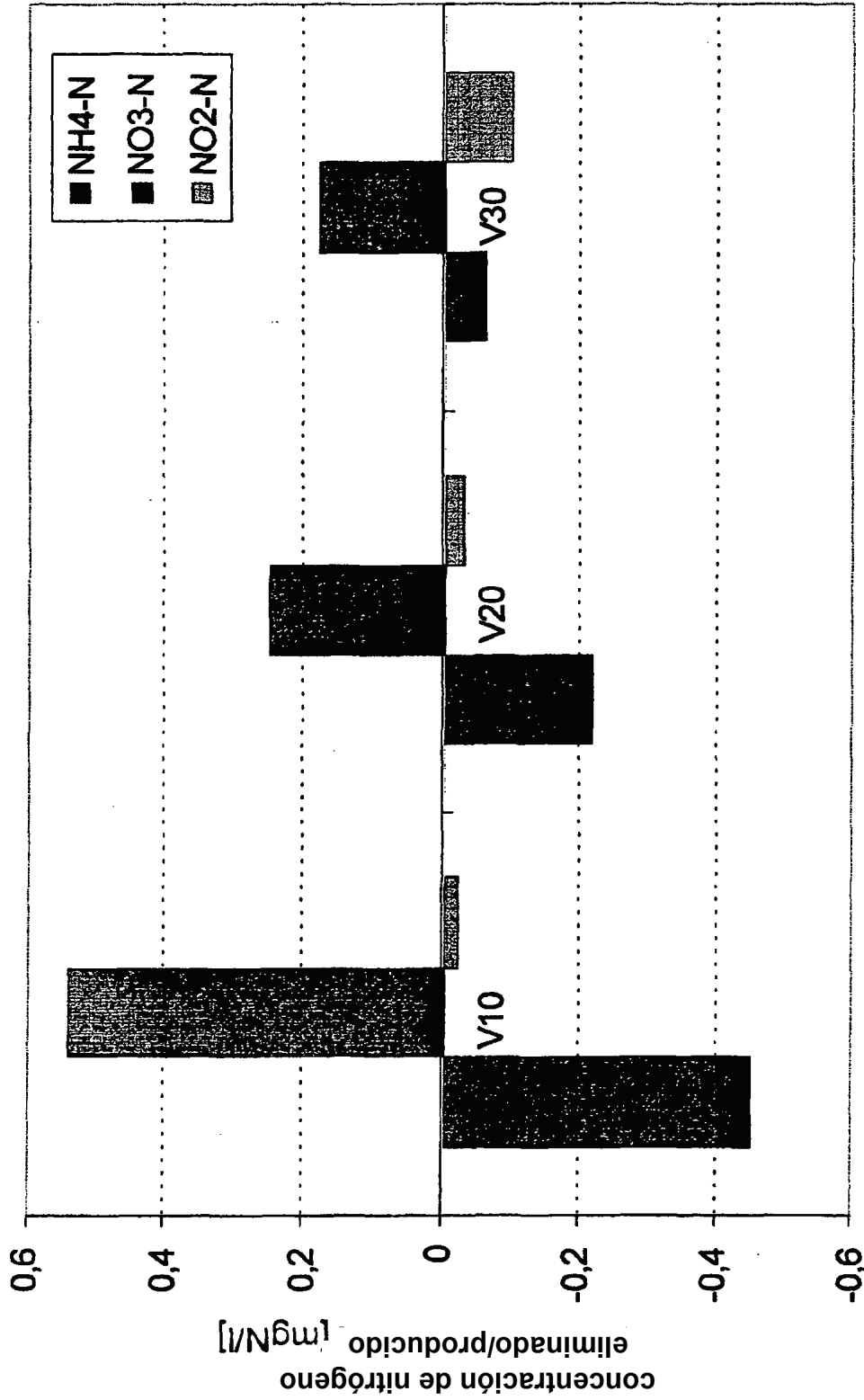


Fig. 11



biorreactor

Fig. 12

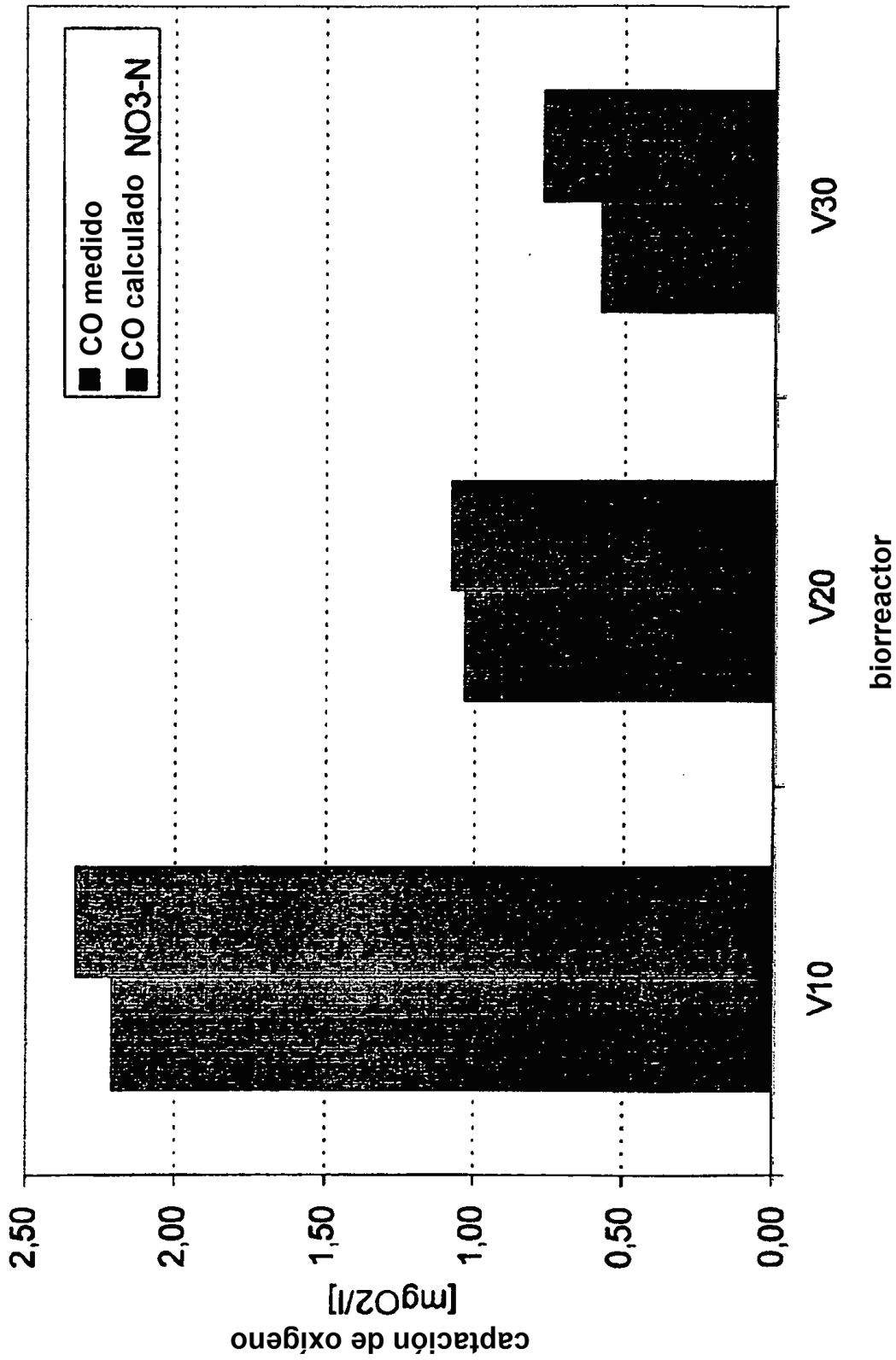


Fig. 13

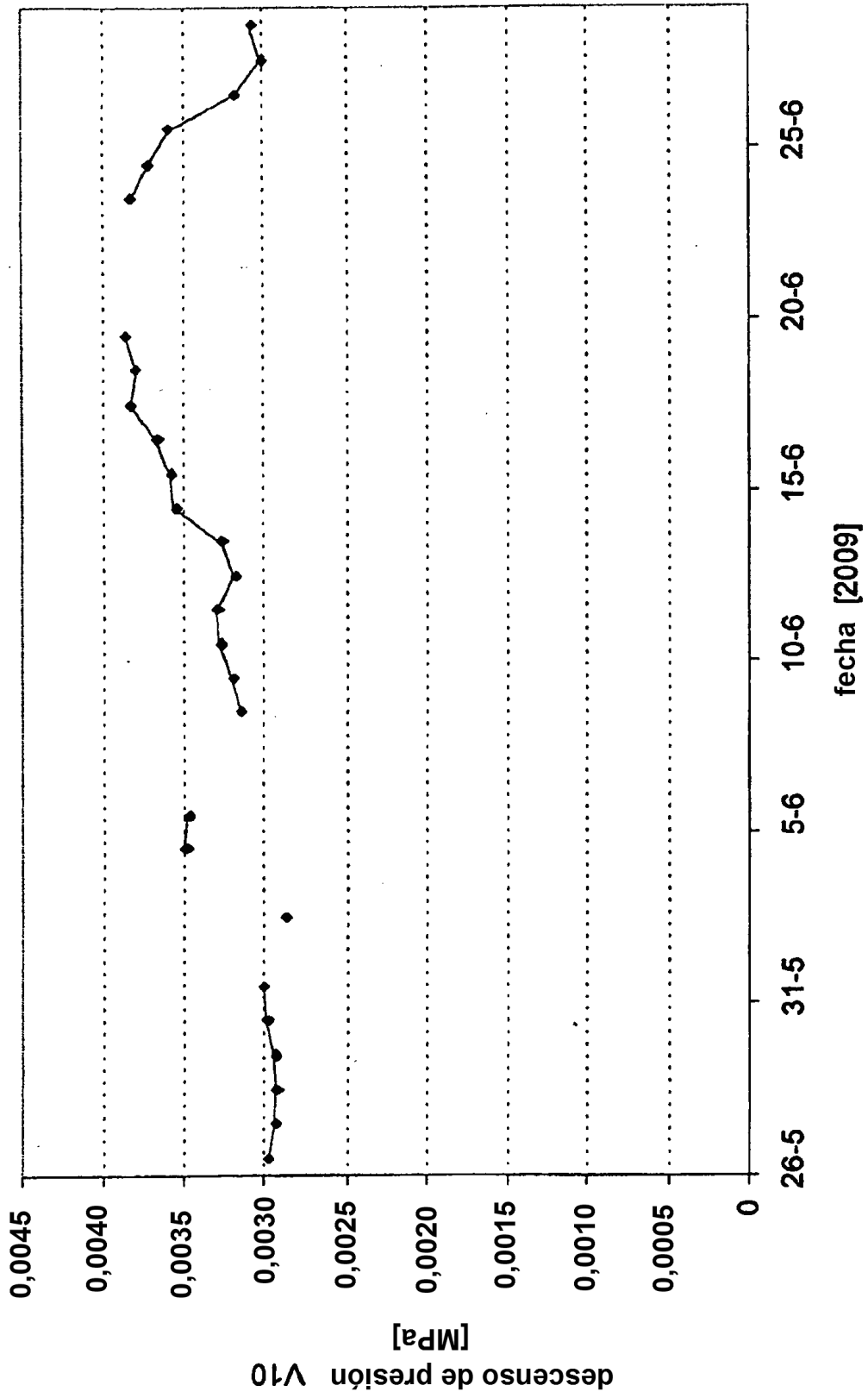
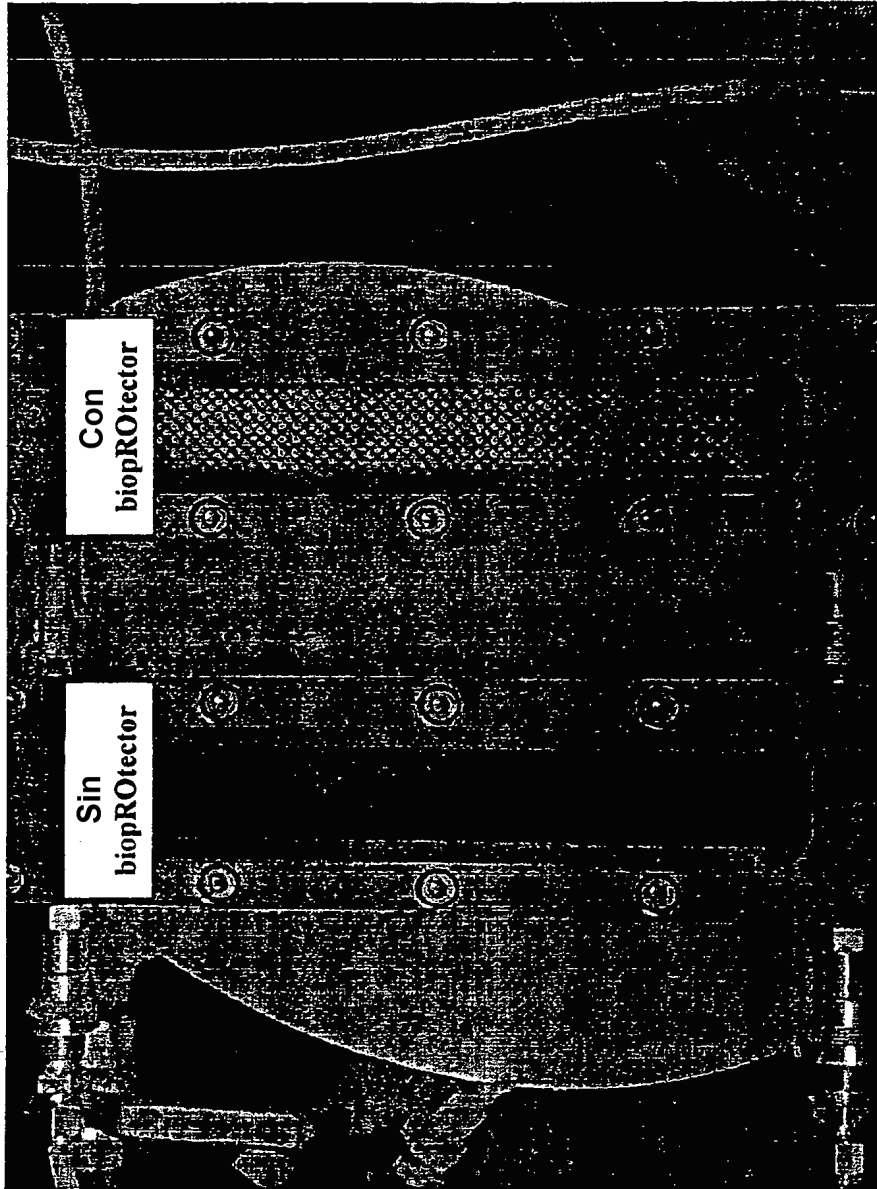


Fig. 14





**Fig. 15**

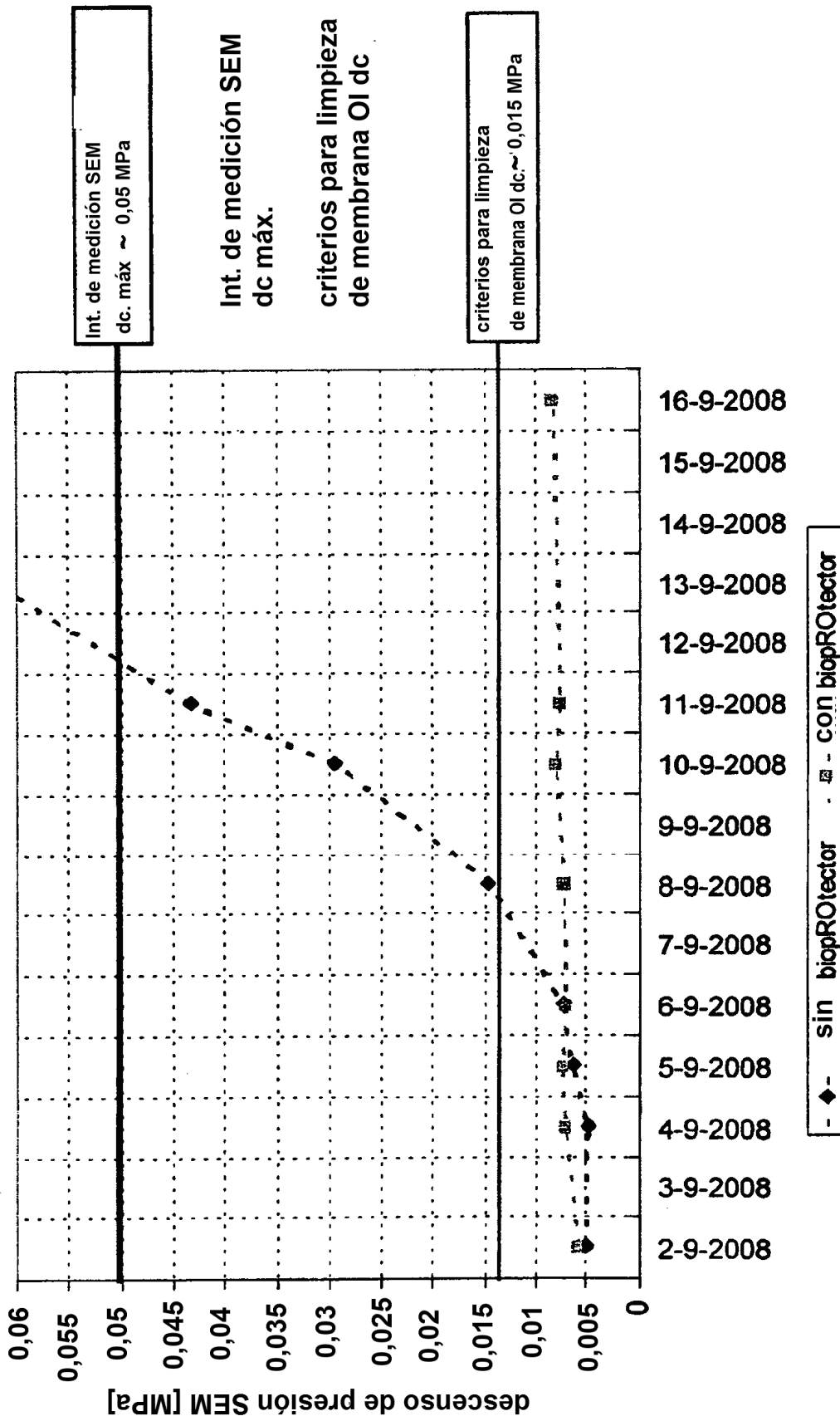


Fig. 16