

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 551 328**

51 Int. Cl.:

C02F 3/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.12.2007 E 07847985 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.08.2015 EP 2099717**

54 Título: **Tratamiento biológico del agua mediante aireación alternativa continua y secuencial**

30 Prioridad:

08.12.2006 FR 0610738

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

17.11.2015

73 Titular/es:

**VEOLIA WATER SOLUTIONS & TECHNOLOGIES
SUPPORT (100.0%)**

**1 Place Montgolfier Immeuble L'Aquarène
94410 Saint-Maurice, FR**

72 Inventor/es:

**LEMOINE, CYRILLE y
GRELIER, PATRICIA**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 551 328 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

Tratamiento biológico del agua mediante aireación alternativa continua y secuencial

La presente invención se refiere al ámbito del tratamiento del agua. Más concretamente, la invención se refiere a tratamientos de los efluentes urbanos o industriales mediante un procedimiento de eliminación de la contaminación nitrogenada y carbonosa con una biomasa en cultivo libre o fijado sobre un material sólido.

Una técnica clásica de tratamiento de las aguas utiliza un reactor biológico como un biofiltro o un lodo activado.

Según esta técnica, el reactor se airea para garantizar el tratamiento de la contaminación. Sin embargo, el nivel de dicha aireación deberá controlarse correctamente para que puedan coexistir en el mismo reactor dos reacciones antagonistas: una requiere oxígeno, la nitrificación (N), y la otra su ausencia, la desnitrificación (DN). Efectivamente, cuanto mayor sea el exceso de oxígeno disponible en el reactor, más se inhibe la desnitrificación y viceversa.

Así, el rendimiento global del procedimiento de tratamiento depende directamente del ajuste de la aireación.

En los procedimientos de la técnica anterior, para ajustar la aireación de la biomasa en función de la contaminación a tratar, se toman generalmente medidas de parámetros proporcionados en el reactor, o bien a la salida de este. Tienen por objeto determinar el estado del sistema en un momento determinado. A partir de este estado se calcula un control del caudal de gases, que se aplica a continuación. Se trata, lo más habitual, de una medición del amonio, nitratos, el potencial redox o el oxígeno disuelto. También se utilizan otros parámetros, que se pueden denominar "parámetros compuestos". Se trata de combinaciones lineales de variables medidas.

Así, en el marco de la realización del procedimiento de tratamiento de aguas residuales urbanas, el indicador de carga contaminante (masa de N-NH₄ en kilogramos por metro cúbico de reactor ventilado y por día) ya se ha validado como un dato útil del rendimiento.

Efectivamente, la solicitud de patente publicada con el número WO-01/02306 A1 define un parámetro de estimación de esta carga contaminante a partir de las medidas de conductividad y turbidez.

Sin embargo, se trata de una estimación y no de una medida directa. O bien, en el caso de una regulación que requiere un grado de precisión elevada, no es posible utilizar tales herramientas.

Una de las justificaciones del uso de dichos parámetros de estimación alude al coste de adquisición y mantenimiento de los analizadores específicos. Es comprensible, por tanto, que el bajo coste vaya acompañado de resultados muy limitados.

Actualmente, se distingue en el estado de la técnica entre diferentes tipos de estrategias de regulación.

Según una de estas estrategias de regulación, se calcula el rendimiento de la utilización del oxígeno distribuido por la biomasa "Ct" para controlar el caudal de gas. Esto se describe en la patente publicada con el número FR-2.764.817.

Esta técnica requiere el empleo de un Ct de referencia que él mismo depende de la contaminación a tratar. O bien, la dificultad reside en el hecho de que la carga contaminante varía con el tiempo, y es preciso pues cambiar este Ct de referencia periódicamente para que sea siempre coherente, lo que excluye su aplicación en el caso de efluentes muy variables.

Otras técnicas utilizan combinaciones lineales de variables de entrada del sistema (amonio, nitratos...) para calcular el control del caudal de aire a aplicar, tal como se describe especialmente en la solicitud internacional publicada con el número WO 93/07089.

Sin embargo, estas técnicas se basan en una modelización empírica o semiempírica. Las funciones de control utilizadas se basan principalmente en datos anteriores procedentes de la experiencia de funcionamiento. Si el modelo no está adaptado debido al cambio en la biomasa o en el rendimiento del filtro, la aireación no es óptima.

Se obtienen mejoras notables utilizando medidas a la entrada del sistema para estimar el valor del control a aplicar. Pero se trata siempre de aireación secuencial.

La técnica anterior también propuso sistemas de control que utilizaban un bucle de regulación denominado "Feedback/Feedforward" (lo que puede traducirse como bucle de contrarreacción/bucle de tendencia).

Según un enfoque de estos sistemas, algunos autores proponen estrategias encaminadas a controlar la concentración de oxígeno disuelto en el reactor biológico mediante el uso de una medida de amonio a la entrada.

Según otro enfoque, el concepto de carga de amonio a tratar se utiliza para predecir la variación necesaria de la consigna de oxígeno disuelto.

Según otras técnicas adicionales, la regulación del volumen aireado se basa en una compartimentación del reactor (y no en la regulación de un caudal o una velocidad del gas). Sin embargo, el carácter intrínsecamente discreto (variación discontinua del volumen aireado) de este tipo de estrategia lleva a los autores a siempre a ampliar su sistema con una regulación del oxígeno disuelto.

- 5 Existe otro modo de aireación: se trata de la aireación simultánea. Este procedimiento consiste en hacer coexistir en el mismo reactor, con unicidad de tiempo y espacio, las dos reacciones antagonistas de nitrificación y desnitrificación.

Sin embargo, el nivel de la aireación deberá controlarse correctamente para mantener el equilibrio de reacción.

- 10 Este último modo se ha descrito en el documento de patente publicado con el número WO-2006/000680 y resulta más eficaz y operativo que los modos de aireación descritos anteriormente.

Sin embargo, cuando se producen picos muy importantes de carga contaminante durante el día (carga contaminante: caudal multiplicado por la concentración de contaminante), el equilibrio metaestable obtenido se debilita y se observa una disminución del comportamiento de desnitrificación y, por tanto, una disminución de los resultados del procedimiento.

- 15 La invención tiene por objeto superar las desventajas de la técnica anterior.

Más concretamente, la invención tiene por objeto proponer una técnica de aireación en el marco de los procedimientos de tratamiento biológico del agua mediante biomasa aireada que sea eficaz en todos los casos, en particular independientemente de los picos de carga contaminante que puedan aparecer.

- 20 La invención tiene también por objeto suministrar dicha técnica que pueda ser de aplicación sencilla, incluyendo en las instalaciones ya existentes.

Estos objetivos, así como otros que aparecerán posteriormente, se consiguen por medio de la invención que tiene por objeto un procedimiento de tratamiento del agua mediante un reactor biológico para disminuir la contaminación nitrogenada contenida en dichas aguas, integrando dicho reactor una biomasa aireada por medios de aireación, comprendiendo dicho tratamiento las fases de nitrificación/desnitrificación simultáneas, y caracterizado porque dicho tratamiento aplica alternativamente dos modos de aireación:

- 25
- un modo de aireación denominado continuo;
 - un modo de aireación secuencial durante el cual se activa la detención de la aireación, cuando la concentración de amoníaco alcanza un umbral inferior predeterminado y se produce la activación de la aireación cuando la concentración de amoníaco alcanza un nivel umbral superior predeterminado,

- 30 siendo activado el paso de un modo de aireación a otro en función de la concentración de nitratos en dichas aguas, siendo activado dicho modo de aireación denominado continuo cuando dicha concentración de nitratos alcanzado un umbral bajo predeterminado, y siendo activado dicho modo de aireación denominado secuencial cuando dicha concentración de nitratos alcanzado un umbral superior predeterminado.

- 35 Así, la invención propone proceder a un cambio automático del modo de aireación en función de las limitaciones de explotación (tratamiento de la contaminación que llega a la planta), lo que permite optimizar el rendimiento del procedimiento de eliminación de la contaminación nitrogenada y carbonada.

La selección automática del modo de aireación más adaptado a la carga contaminante aplicado al reactor biológico se efectuará en función de criterios de calidad de agua tratada, en particular en función de la concentración de nitratos.

- 40 Además, la invención permite definir consignas de reguladores asociados a cada uno de estos modos, contribuyendo así el operador a optimizar el procedimiento de tratamiento.

La utilización de un regulador de nivel jerárquico superior que introduce el concepto de selección en el modo de regulación y las consignas a aplicar al regulador inferior muestra claramente originalidad.

- 45 Efectivamente, aunque el experto en la técnica conozca los distintos tipos de regulación posibles de la aireación, no existían hasta el momento herramientas que permitieran variar de forma continua las modalidades de aireación utilizadas, así como su consigna.

Por el contrario, estas estrategias de control (aireación continua y aireación secuencial) se excluían hasta ahora entre sí.

- 50 La presente invención propone una solución técnica para aplicar la estrategia más adecuada en el tiempo. Esta se determinará en función de la concentración de nitratos resultantes del tratamiento. También permite determinar la concentración óptima de tratamiento para el amoníaco en función de la formación de nitratos. Los expertos en la materia saben que es imposible fijar simultáneamente una consigna de tratamiento para el amoníaco y para los

nitratos formados aunque su suma represente un indicador de la contaminación total. Es habitual que los modos de aireación secuencial o continua utilicen una consigna de amoníaco (NH₄) fijada por el operador que determina el nivel de tratamiento de la contaminación nitrogenada deseada: nitrógeno total contenido en el agua tratada.

5 La presente invención determina mediante cálculo la consigna de amoníaco que minimiza la concentración de nitrógeno total definido como la suma de los nitratos y el amoníaco.

Según parámetros preferidos, dicho modo de aireación denominado continuo se activa cuando dicha concentración de nitratos alcanza, en el sentido de una disminución, un umbral de aproximadamente 4 mg/l, y dicho modo de aireación secuencial se activa cuando dicha concentración de nitratos alcanza, en el sentido de un aumento, un umbral de aproximadamente 10 mg/l.

10 Evidentemente, estos umbrales se podrán modificar en función de las necesidades.

Ventajosamente, la aireación, durante dicho modo de aireación secuencial, está limitada en el tiempo mediante una temporalización.

También ventajosamente, la detención de la aireación, durante dicho modo de aireación secuencial, está limitada en el tiempo mediante una temporalización.

15 Según una solución preferida, dicho modo de aireación continua pone en práctica un procedimiento de control predictivo de las concentraciones de nitratos y amoníaco en dichas aguas.

Dicho procedimiento, con su algoritmo correspondiente, ya se ha utilizado en el marco de un bucle en cascada NH₄/O₂/aire para una regulación del NDN simultánea, y se demostró en ese momento que sus resultados eran adecuados a este tipo de problemática.

20 Según una solución ventajosa, dicho procedimiento de control predictivo comprende fases sucesivas de regulación de la consigna de amoníaco al alcanzar en función de una consigna de nitratos a alcanzar.

Según otra característica ventajosa, dicho procedimiento de control predictivo comprende fases sucesivas de regulación de la consigna de aireación cuando dicha concentración de nitratos alcanza un nivel umbral alto predeterminado.

25 En ese caso, dichas etapas de regulación de la consigna de amoníaco y dichas etapas de regulación de dicha consigna de aireación ventajosamente están acompañadas entre sí, y preferentemente están desplazadas en el tiempo, unas con respecto a otras.

30 Otras características y ventajas de la invención aparecen más claramente tras lectura de la descripción siguiente de una realización preferente de la invención, proporcionada como ejemplo ilustrativo y no limitativo, y a los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 es una ilustración sinóptica del cambio de un modo de aireación a otro en un procedimiento de acuerdo con la invención;
- la figura 2 es una ilustración sinóptica del modo de aireación secuencial en un procedimiento de acuerdo con la invención;
- 35 - la figura 3 es una ilustración sinóptica del modo de aireación continua en un procedimiento de acuerdo con la invención;
- la figura 4 es un esquema de una planta piloto para la aplicación de un procedimiento de acuerdo con la invención;
- la figura 5 es un gráfico que ilustra la regulación por nitrificación/desnitrificación simultánea para una consigna constante de NH₄;
- 40 - la figura 6 es un gráfico que ilustra la regulación de la nitrificación/desnitrificación mediante cascada de reguladores NO₃ y NH₄;
- las figuras 7 y 8 son gráficos que ilustran la regulación de la nitrificación/desnitrificación mediante el acoplamiento entre la aireación continua y la secuencial de acuerdo con la invención;
- 45 - la figura 9 es un gráfico que ilustra la distribución del número de días con una producción de fango determinada según distintos procedimientos.

El principio de la invención se basa en el hecho de aplicar una gestión automatizada del modo de aireación en un procedimiento de tratamiento biológico de tratamiento de aguas residuales urbanas o industriales, siendo la aireación alternativamente continua o secuencial.

50 La regulación elegida se basa en mediciones en la línea de nitratos y de amoníaco en el tanque de fangos activos. Se trata, de acuerdo con la realización que se va a describir a continuación, de mediciones realizadas sobre el agua tratada ya que el recurso a una filtración por membrana permite considerar que el agua tratada es representativa del tanque. Efectivamente, el tanque se asimila a un reactor completamente agitado. La variable de control (manipulada) es el caudal de aire que se introduce en la planta piloto.

La estrategia aplicada utiliza el principio de un control jerárquico: el control principal lleva a selección del tipo de aireación, secuencial o continua. Los controles secundarios corresponden a los sistemas de regulación ad hoc para la realización del tipo de aireación deseada.

5 El principio de la gestión 1 de los modos de aireación (figura 1) es de utilizar la medida 2 de concentración de nitratos como indicador de la carga contaminante aplicada en la estación.

Desde el punto de vista donde el regulador que controla la aireación continua cumple estrictamente la consigna del amoníaco, la concentración de nitratos se convierte en un indicador de la capacidad de tratamiento y permite evaluar la capacidad del sistema para trabajar con nitrificación/desnitrificación simultánea.

10 Efectivamente, mientras que la aireación necesaria para cumplir estrictamente la consigna del amoníaco no inhiba la desnitrificación, la concentración de nitratos sigue siendo baja y el procedimiento aplica un modo de aireación continua 3.

Por el contrario, si la aireación debe ser intensa para responder a las exigencias anteriores, el aumento del oxígeno disuelto rebaja la cinética de desnitrificación y la concentración de nitratos aumenta rápidamente.

15 Así, cuando se observa una acumulación de nitratos, suele coincidir muy frecuentemente con un pico de carga contaminante y es preferible pasar al modo secuencial, porque el tanque biológico ya no está en las condiciones adecuadas para realizar simultáneamente la nitrificación y la desnitrificación.

Evidentemente, si el modo en curso es la aireación secuencial, una medida de la concentración de nitratos superior al umbral correspondiente a un pico implica el mantenimiento 5 del modo en curso.

20 En la práctica, la estrategia consiste en aplicar un sistema de gestión de los modos de aireación gracias a los niveles alto y bajo de nitratos (histéresis) y de las temporalizaciones (tiempos mínimo y máximo) de cada modo. A modo de ejemplo, los umbrales validados en la planta piloto son:

- umbral inferior = 4 mg N-NO₃/l;
- umbral superior = 10 mg N-NO₃/l.

A continuación se va a describir con más detalle cada uno de los modos de aireación.

25 El tratamiento con aireación secuencial 4 funciona de la manera siguiente (figura 2): se trata también de una gestión sobre umbral alto 42 y bajo 43, pero con la medida de amoníaco 41 para activar 44 y detener 45 la aireación (histéresis), añadiendo las temporalizaciones mínima y máxima en el caso de incumplimiento.

30 Este modo de funcionamiento se puede aplicar a depuradoras equipadas solamente con equipo de aireación sin variación para realizar la NDN clásica. La medición directa de la contaminación a través de la medida de amoníaco permite un comportamiento más reactivo y más simple del procedimiento.

La estrategia de regulación con aireación continua para alcanzar una nitrificación/desnitrificación simultánea (NDN) consiste en utilizar una cascada de reguladores denominados PFC (Predictive Functional Control). El detalle del regulador se describe a continuación.

La figura 3 ilustra el funcionamiento de bucle de control.

35 Un primer regulador calcula cuál debe ser la consigna de amoníaco al alcanzar en un intervalo comprendido entre 1 y 4 mg-N-NH₄/l en función de la consigna de nitratos 31 a respetar, siendo esta selecciona entre 3 y 6 mg-N-NO₃/l. Se trata de mantener indirectamente un equilibrio entre las reacciones de nitrificación y desnitrificación en función de la carga contaminante aplicada, ya que, en ese caso, la medida de las concentraciones de amoníaco 32 y nitratos 33 varía de manera similar.

40 En ese caso, se supone que, cuando aumenta la carga, los nitratos aumentan, lo que equivale a una disminución del rendimiento de la desnitrificación (DN) y un aumento del rendimiento de nitrificación (N), lo que lleva al rendimiento total (NDNs) a disminuir.

45 La estrategia es entonces ser menos exigente sobre el amonio del agua tratada y autorizar un nivel residual más alto. En efecto, se trata de restablecer el equilibrio de los rendimientos de N y de DN, entonces, el controlador modifica el punto de funcionamiento 35 del procedimiento (disminución de la aire) para que se alcance un nuevo óptimo.

50 Por el contrario, cuando la carga disminuye, se puede permitir tener una calidad de agua tratada mejor sin por ello disminuir el rendimiento de desnitrificación. Hay que señalar que los dos reguladores no funcionan a la misma velocidad, para evitar la inestabilidad del sistema. El regulador de NO₃ cambia la consigna de amoníaco cada cuarto de hora, el del NH₄, cada minuto.

Este algoritmo, descrito por J. Richalet (J. Richalet (1993) "Pratique de la commande prédictive", edición HERMES) se ha aplicado en el marco de un sistema de primer orden con ganancia constante, aunque se puede utilizar una ganancia variable según los casos. Una de las particularidades de este control es la noción de trayectoria de referencia. Esta especifica la forma en la que se desea que el procedimiento vuelva a la consigna en el horizonte de predicción. Esto se traduce en fijar varios puntos de coincidencia simultáneamente. La mayoría del tiempo se selecciona una dinámica de primer orden para volver a la consigna.

En el caso de la invención, se espera que la diferencia siga una disminución exponencial con una constante de tiempo fijada por el operador.

Otra característica importante es la evolución libre del modelo: es independiente de la evolución del procedimiento, lo que permite aprovechar el carácter recursivo de las funciones de transferencia y limitar los cálculos. La expresión del control se describe a continuación.

Ecuación 1: control PFC

$$S_m(n) = S_m(n-1) \cdot e^{-\frac{T_s}{\tau}} + G_s \cdot \left(1 - e^{-\frac{T_s}{\tau}}\right) \cdot u(n-1)$$

$$u(n) = \frac{1}{G_s} (k_0 (S_p(n) - C(n)) + S_m(n))$$

La implantación de este regulador es fácil ya que, salvo la identificación del modelo, solamente existe un parámetro de ajuste k_0 definido como el cociente entre el TRBO (**tiempo de respuesta en bucle abierto, es decir, sin regulación**) y el TRBF (**tiempo de respuesta en bucle cerrado, es decir, con la regulación activada**). El k_0 óptimo es en general 3.

Se aplica otra expresión de control si el sistema a dirigir tuviera un retraso puro $\theta = r \cdot T_e$.

Ecuación 2: control PFC con retraso puro

$$u(n) = \frac{1}{G_s} (k_0 (S_p(n) - C(n) + S_m(n-r) - S_m(n)) + S_m(n-r))$$

El algoritmo PFC es más sencillo en su aplicación que el PID (**regulador proporcional integral derivado**) pero mucho más eficaz. Este algoritmo ya se ha utilizado en el marco de un bucle en cascada de NH₄/O₂/aire para una regulación simultánea de la NDN (documento de patente publicado con el número WO-2006/000680), y que demostró en dicha ocasión que sus resultados eran adecuados para este tipo de problemática.

El principio general de la invención puede resumirse de la manera siguiente.

La degradación de la contaminación nitrogenada utiliza dos reacciones: la nitrificación y desnitrificación. La nitrificación es una reacción aerobia que lleva a transformar el NH₄ en NO₃. La desnitrificación es una reacción anóxica que lleva a degradar el NO₃ en N₂ gaseoso.

La invención consiste en mejorar el tratamiento de la contaminación nitrogenada alternando un modo de aireación continuo durante el cual estas dos reacciones se producen simultáneamente (durante el mismo período y en el mismo espacio), y un modo de aireación secuencial alternando las fases de no aireación y fases de aireación y durante el cual estas reacciones se producen alternativamente. El paso al modo secuencial se realiza cuando la concentración de NO₃ del efluente tratado alcanzado un nivel alto predeterminado. En modo secuencial, la aireación se detiene cuando la concentración de NH₄ del efluente tratado alcanza un umbral bajo predeterminado y la aireación se activa cuando la concentración de NH₄ del efluente tratado alcanzado un nivel alto predeterminado.

Mientras que la aireación necesaria para la nitrificación, es decir la degradación del NH₄ a NO₃, no inhiba la desnitrificación, la concentración de NO₃ no supera el umbral superior predeterminado. El sistema es adecuado para funcionar en NDNs (nitrificación-desnitrificación simultánea). En ese caso, se mantiene el modo de aireación continuo.

Una subida del NO₃ refleja una disminución del rendimiento de desnitrificación en beneficio de un aumento en el rendimiento de nitrificación. Cuando la concentración de NO₃ excede este umbral superior predeterminado, el sistema deja de ser adecuado para que coexistan simultáneamente las dos reacciones, es decir para funcionar en modo NDNs. Para restablecer el equilibrio entre ambas reacciones, se debe activar el modo secuencial para alternar las fases de desnitrificación y nitrificación. El sistema funciona entonces en NDNC (nitrificación-desnitrificación clásica).

- 5 Cuando se activa el modo secuencial, la aireación se interrumpe, de manera que se favorece la eliminación del exceso de NO_3 mediante desnitrificación. Esto lleva gradualmente a observar un aumento del NH_4 porque la nitrificación queda inhibida. Cuando la concentración de NH_4 alcanza el umbral superior preestablecido, la aireación es activa de manera que se favorece la degradación mediante nitrificación. Cuando la concentración de NH_4 es baja, lo que refleja que la concentración de NO_3 ha aumentado, la aireación se interrumpe de nuevo para estimular la desnitrificación.
- 10 El modo secuencial que alterna etapas de desnitrificación y nitrificación se mantiene hasta que la concentración de NO_3 alcance el umbral inferior predeterminado. Al finalizar una fase de nitrificación, cuando se alcanza el umbral inferior de NH_4 , si la concentración de NO_3 medida es inferior al umbral inferior predeterminado, esto refleja el hecho de que vuelve a ser posible que el sistema funcione en modo NDNs. En ese caso, se activa el modo continuo.
- El sistema pasa así de un modo de aireación a otro en cuanto se cumplen las condiciones requeridas a tal fin.
- La invención permite además de optimizar la NDNs mediante la aplicación de un procedimiento predictivo cuyo principio se resumen a continuación.
- 15 La carga de agua bruta, es decir su concentración de contaminantes, varía con el tiempo. Por ejemplo, se ha observado que la carga de agua residual urbana crece durante la mañana y luego disminuye por la tarde hasta alcanzar un nivel muy estable a partir del anochecer.
- La transición entre el aumento y la disminución de la carga contaminante se traduce en la aparición de un pico de contaminación que suele coincidir con la acumulación de NO_3 .
- 20 En el modo aireación continua, un aumento en la concentración de NO_3 revela la incapacidad del sistema para funcionar en NDNs. Sin embargo, mientras que la concentración de NO_3 siga siendo inferior al umbral superior por encima del cual se activa el modo de aireación secuencial, el sistema sigue funcionando en NDNs. Sin embargo, la concentración relativamente elevada de NO_3 indica que el rendimiento de la nitrificación es superior al rendimiento de la desnitrificación. En otras palabras, el equilibrio entre las dos reacciones no es óptimo.
- 25 Para resolver este problema, es conveniente, durante los picos de contaminación, reequilibrar ambas reacciones, favoreciendo la desnitrificación pero manteniendo la nitrificación, pero a un menor rendimiento.
- La invención propone en este sentido una solución que contribuya a optimizar la NDNs. Esta solución consiste en la aplicación de un procedimiento predictivo.
- Este procedimiento predictivo consiste en proporcionar al operador responsable de aplicar el procedimiento de tratamiento la capacidad de hacer evolucionar el valor las consignas de las concentraciones de NO_3 y NH_4 a alcanzar durante el día.
- 30 Así, según las horas del día, es decir en función de la carga contaminante estimada de agua a tratar, el operador puede seleccionar la consigna de NO_3 a respetar en una gama de concentración. Un primer regulador PFC calcula, en función de la consigna del operador, una consigna de NH_4 a alcanzar. Un segundo regulador PFC determina una consigna de aireación en función de la consigna de concentración de NH_4 calculada.
- 35 Así, cuando la carga contaminante aumenta en hora punta, y la concentración de NO_3 aumenta, el operador puede seleccionar una consigna de concentración de NO_3 mayor que en un período valle. Consecutivamente, se calcula una consigna de concentración de NH_4 a alcanzar. El valor de esta consigna es mayor en los períodos punta. En otras palabras, se tolera, en los períodos punta, que la concentración de NH_4 sea momentáneamente más alta. El hecho de autorizar una concentración más importante de NH_4 conduce a reducir el rendimiento de la nitrificación, y a limitar la formación de NO_3 procedente de la degradación del NH_4 . Este resultado se alcanza reduciendo la aireación. El hecho de reducir la aireación conduce asimismo a aumentar el rendimiento de la desnitrificación, y por tanto, a estimular la degradación de NO_3 .
- 40 En ese caso, se mantiene un equilibrio es mantenido entre ambas reacciones, que tienen lugar simultáneamente, de forma que se reduzca la concentración de NO_3 después de un pico de contaminación. El agua así producida tiene una calidad óptima teniendo en cuenta las circunstancias. Efectivamente, la suma de las concentraciones de NO_3 y NH_4 que representa la contaminación nitrogenada a eliminar es más bajo.
- 45 Cuando la carga contaminante disminuye, la concentración de NH_4 del agua bruta disminuye y la concentración de NO_3 es muy baja. Entonces, es posible intentar conseguir concentraciones de NO_3 y NH_4 más bajas. El operador puede elegir entonces disminuir la consigna de concentración de NO_3 . La consigna de NH_4 calculada en consecuencia disminuye, y la consigna de aireación aumenta. El rendimiento de la nitrificación aumenta en consecuencia. Sin embargo, puesto que la concentración de NO_3 es baja (período valle), el rendimiento de la desnitrificación ya no se reduce. El agua producida fuera de los picos de contaminación tiene así una mejor calidad.
- 50 La aplicación de este procedimiento predictivo permite aprovechar al máximo el beneficio de la capacidad del procedimiento para funcionar en NDNs según las circunstancias de su aplicación, y en particular según las

variaciones de la carga contaminante de agua a tratar. Por supuesto, si la carga contaminante aumenta en proporciones tales que se alcance el umbral superior predeterminado de NO_3 , el sistema no puede funcionar en NDNs y se activa el modo secuencial de forma que el sistema funcione en NDNC.

5 Se describe a continuación la unidad piloto sido utilizada para ensayos del procedimiento de acuerdo con la invención.

Los biorreactores de membrana combinan las técnicas de separación con membrana y los reactores biológicos. La modificación principal con respecto a un tratamiento clásico de fangos activos es la sustitución del clarificador por la unidad de filtración por membrana 6 que garantiza la separación de licor mezcla y el agua tratada.

10 El biorreactor de membrana se basa en una tecnología híbrido: el módulo de filtración está sumergido en un compartimento situado en un bucle de recirculación en el exterior del reactor biológico.

La planta piloto recibe directamente la alimentación de un efluente urbano. En primer lugar se desbasta a 1 mm en un tamiz giratorio y a continuación se bombea hacia el biorreactor. La alimentación de agua bruta se secuencia en función del nivel en la columna.

15 El volumen del reactor biológico 7 es de aproximadamente $1,7 \text{ m}^3$, está provisto de un agitador 71 para homogeneizar los fangos activados. La aireación del tanque se lleva a cabo mediante un difusor de aire 72 de tipo burbuja fina. La regulación del aire es el objeto de la presente invención.

Para vigilar la concentración de oxígeno disuelto en el reactor biológico, se sumerge una sonda de oxígeno 73 en el tanque de fangos activados.

20 Las purgas de fango se realizan automáticamente mediante apertura de la válvula de purga 74 situada en el bucle de recirculación 741 a la entrada del compartimento de membrana 6.

25 La edad del fango varía a lo largo de la duración de los ensayos. Fue de aproximadamente 16 días durante todo el período de referencia. Para la fase de NDN simultánea, se pasó de 16 a 22 y luego a 30 días durante el período. El motivo principal de esta modificación es el mantenimiento de un nivel adecuado de materia en suspensión (MES) en el tanque, vinculada a una disminución de la producción de fango, como se va a indicar en el apartado de resultados.

Se aplica directamente al reactor una Inyección de cloruro férrico 75 durante la desfosfatación físico-química. El caudal de la bomba de inyección 76 está supeditado al caudal de salida 77 para de obtener una tasa de tratamiento constante.

30 El módulo de membrana 6, sumergido en un compartimento de membranas, está compuesto por un conjunto de fibras huecas de microfiltración fabricado por Memcor (Australia, marca registrada). La filtración 61 del licor mezcla se realiza mediante aspiración por la parte superior del módulo, a un caudal de salida regulado por el autómat. El permeato se almacena en una cubeta y se utiliza en los retrolavados antes de su evacuación mediante desagüe. Los ciclos de filtración y retrolavado (inyección de filtrado contracorriente) son respectivamente de 12 minutos y 30 segundos. Un sistema de aireación 62 de burbuja gruesa permite agitar las fibras de las membranas y limitar la formación de una torta en su superficie.

35 Cada semana se lleva a cabo una limpieza de mantenimiento con cloro inyectando una solución de 300 ppm contracorriente.

Cuando la permeabilidad de la membrana alcanzado un nivel inferior de aproximadamente $80 \text{ l.h}^{-1}.\text{m}^{-2}.\text{bar}^{-1}$, se realizan una limpieza química con ácido cítrico.

40 Las membranas se presentan en forma de fibras huecas en forma de piel (filtración desde el exterior hacia el interior) montadas en un módulo que representa una superficie de filtración de 10 m^2 . Su umbral de corte es de aproximadamente $0,1 \mu\text{m}$.

Resultados

Regulación de la nitrificación/desnitrificación simultánea en solitario para una consigna constante en NH_4 .

45 Los ensayos realizados para regular la concentración de amoníaco mediante un controlador PFC (Figura 5) han demostrado que la capacidad de control del caudal de aire era satisfactoria y que por consiguiente, era posible obtener un seguimiento de la consigna aceptable mediante el control de la cantidad de aire inyectado.

50 Además, se observó que un sistema retroalimentación en solitario puede ser adecuado para este procedimiento para anticipar las variaciones del efluente. Efectivamente, en el ejemplo de los inventores, el caudal no varía durante el día.

Cabe señalar un efecto de bombeo durante la punta que podría resultar molesto si el caudal de alimentación fuera muy variable, este punto se resolvería mediante el uso del control descrito en el documento de patente publicado con el número WO-2006/000680.

5 Se observa asimismo que la concentración de oxígeno disuelto es casi nula durante el tratamiento, con un máximo de 0,3 mg-O₂/l. La falta de oxígeno residual, a pesar de algunos picos puntuales es un buen indicador de la eficiencia del procedimiento de control de la NDN simultánea.

Sin embargo, las concentraciones de nitratos siguen siendo altas durante las puntas de carga contaminante. Es pues necesario adaptar las consignas de amoníaco para que no se inhiba la cinética de desnitrificación debido a un exceso de oxigenación, aunque sea débil.

10 Adaptación de la consigna de amoníaco con el tiempo (bucle en cascada NO₃/NH₄).

La regulación en cascada permite adaptar constantemente los objetivos de tratamiento del amoníaco. La figura 6 presenta los efectos de la regulación de cascada de las concentraciones de NO₃ y NH₄. Se observó una disminución de los valores punta de nitratos en comparación con la figura 5, en condiciones similares de tratamiento.

En este ensayo, el umbral máximo fijado para el contenido de nitratos en el agua depurada fue de 6 mg-N-NO₃/l.

15 Los efectos del control se evaluaron por las variaciones de las concentraciones de amoníaco con vistas a la adaptación de las instrucciones a las condiciones de tratamiento.

Efectivamente, las consignas en NH₄ (limitadas entre 2 y 6 mg-N-NH₄/l) evolucionan a lo largo de la jornada para adaptarse a las posibilidades de desnitrificación. Así, durante el período de punta (mañana), la concentración de NH₄ del agua depurada alcanzó 6 mg-N-NH₄/l.

20 Por el contrario, en las horas valle, se acercó a 2 mg-N-NH₄/l, con el mantenimiento de una concentración de nitratos inferior a 6 mg-N-NO₃/l. Este ejemplo muestra la complementariedad de las dos mediciones de nitratos y amoníaco para optimizar la NDN simultánea.

Aportaciones del cambio automático de modo de aireación

25 Pese a las adaptaciones de las consignas de tratamiento continuo mediante la regulación en cascada (NO₃, NH₄), estas mejoras pueden ser insuficientes para determinadas condiciones de tratamiento: en particular para fuertes cargas puntuales tanto másicas como volumétricas.

Las figuras 7 y 8 ilustran los efectos de un acoplamiento entre la aireación secuencial y la continua. El control objeto de la invención posibilita el cambio de uno a otro modo en función de umbrales superior e inferior de nitratos.

30 Se logran así períodos de no aireación que favorecen la desnitrificación cuando las cargas aplicadas no permiten realizar una NDN simultánea de manera adecuada.

Los resultados muestran que esto puede suceder de dos a tres horas por día. La ventaja procede de la disminución sustancial de la concentración media de nitratos en el agua depurada. La observación de la figura 8 confirma una reducción de la amplitud de los picos de nitrato durante el período punta sin perjudicar al valor del amoníaco.

35 Este sistema aporta pues una solidez adicional al comportamiento de los tanques de fangos activados y otros procedimientos de tratamiento biológico, ya que permite un repliegue automático hacia una aireación tradicional mediante un indicador pertinente.

40 Por otra parte, un efecto adicional importante del cambio en el modo de regulación objeto de la invención fue la reducción de la producción de fango. La figura 9 muestra la distribución de la producción de fango (Nf semanal/cantidad de fango producida) para cada configuración. Se observó que el paso a la NDN simultánea desplaza el baricentro de la distribución de 0,40 kg MES/kg DQO a 0,35 kg MES/kg DQO.

45 Los valores obtenidos corresponden a una disminución del 13% de la cantidad de fango producida. Además, si se considera invariante la fracción mineral relacionada con el tratamiento físico-químico del fósforo que es de aproximadamente 0,1 kg MES/kg DQO, se obtiene una reducción de la producción de fango biológica de un 17%. Es esta constatación lo que ha permitido aumentar la edad de los fangos en el tanque sin verse limitado por los resultados de la filtración por membranas. La disminución de la producción es una importante ventaja derivada de la aplicación de dicha norma de regulación.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de tratamiento del agua mediante un reactor biológico para disminuir la contaminación nitrogenada contenida en dichas aguas, integrando dicho reactor una biomasa aireada por medios de aireación, comprendiendo dicho tratamiento las fases de nitrificación/desnitrificación simultáneas,
- 5 **caracterizado porque** dicho tratamiento aplica alternativamente dos modos de aireación:
- un modo de aireación denominado continuo;
 - un modo de aireación secuencial durante el cual se activa la detención de la aireación, cuando la concentración de amoníaco alcanza un umbral inferior predeterminado y se produce la activación de la aireación cuando la concentración de amoníaco alcanza un nivel umbral superior predeterminado,
- 10 siendo activado el paso de un modo de aireación a otro en función de la concentración de nitratos en dichas aguas, siendo activado dicho modo de aireación denominado continuo cuando dicha concentración de nitratos alcanza un umbral bajo predeterminado, y siendo activado dicho modo de aireación denominado secuencial cuando dicha concentración de nitratos alcanza un umbral superior predeterminado.
- 15 2. Procedimiento de tratamiento del agua según la reivindicación 1, **caracterizado porque** dicho modo de aireación denominado continuo se activa cuando dicha concentración de nitratos alcanza, en el sentido de una disminución, un umbral de aproximadamente 4 mg/l.
3. Procedimiento de tratamiento del agua según una de las reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado porque** dicho modo de aireación secuencial se activa cuando dicha concentración de nitratos alcanza un umbral, en el sentido de un aumento, de aproximadamente 10 mg/l.
- 20 4. Procedimiento de tratamiento del agua según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** la aireación, durante dicho modo de aireación secuencial, está limitada en el tiempo mediante una temporalización.
5. Procedimiento de tratamiento del agua según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** la detención de la aireación, durante dicho modo de aireación secuencial, está limitada en el tiempo mediante una temporalización.
- 25 6. Procedimiento de tratamiento del agua según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** dicho modo de aireación continua pone en práctica un procedimiento de control predictivo de las concentraciones de nitratos y amoníaco en dichas aguas.
7. Procedimiento de tratamiento del agua según la reivindicación 6, **caracterizado porque** dicho procedimiento de control predictivo comprende fases sucesivas de regulación de la consigna de amoníaco al alcanzar en función de una consigna de nitratos a alcanzar.
- 30 8. Procedimiento de tratamiento del agua según una cualquiera de las reivindicaciones 6 y 7, **caracterizado porque** dicho procedimiento de control predictivo comprende fases sucesivas de regulación de la consigna de aireación cuando dicha concentración de nitratos alcanza un nivel umbral alto predeterminado.
9. Procedimiento de tratamiento del agua según las reivindicaciones 7 y 8, **caracterizado porque** dichas etapas de regulación de la consigna de amoníaco y dichas etapas de regulación de dicha consigna de aireación están acompañadas.
- 35 10. Procedimiento de tratamiento del agua según la reivindicación 9, **caracterizado porque** dichas etapas de regulación de la consigna de amoníaco y dichas etapas de regulación de dicha consigna de aireación están acompañadas y desplazadas en el tiempo, unas con respecto a otras.

40

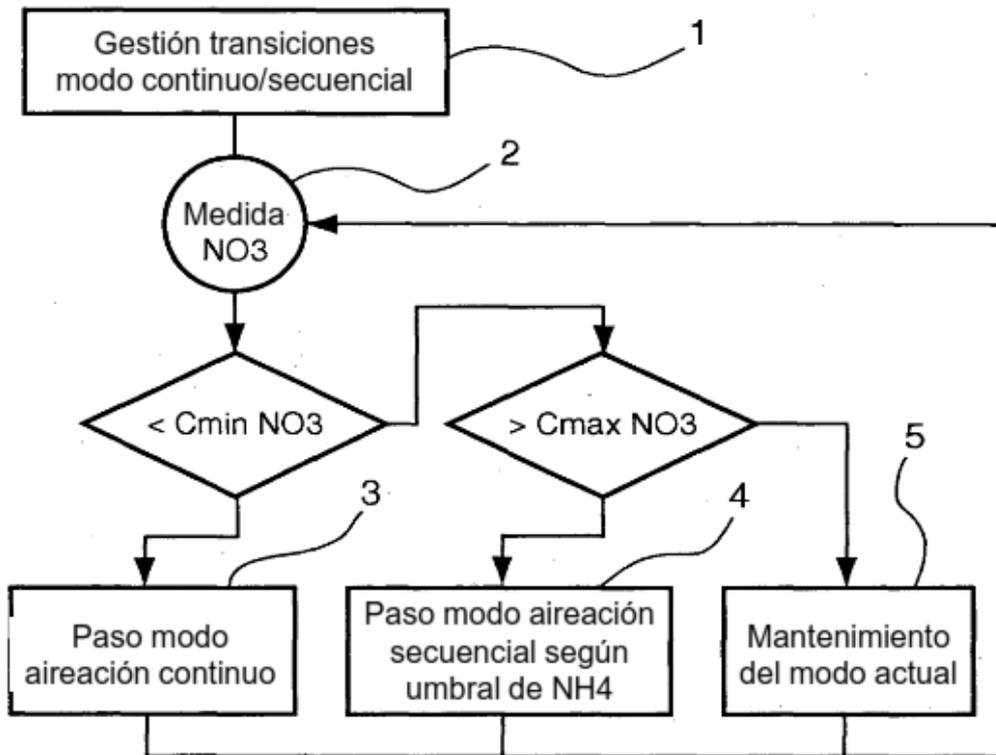


Fig. 1

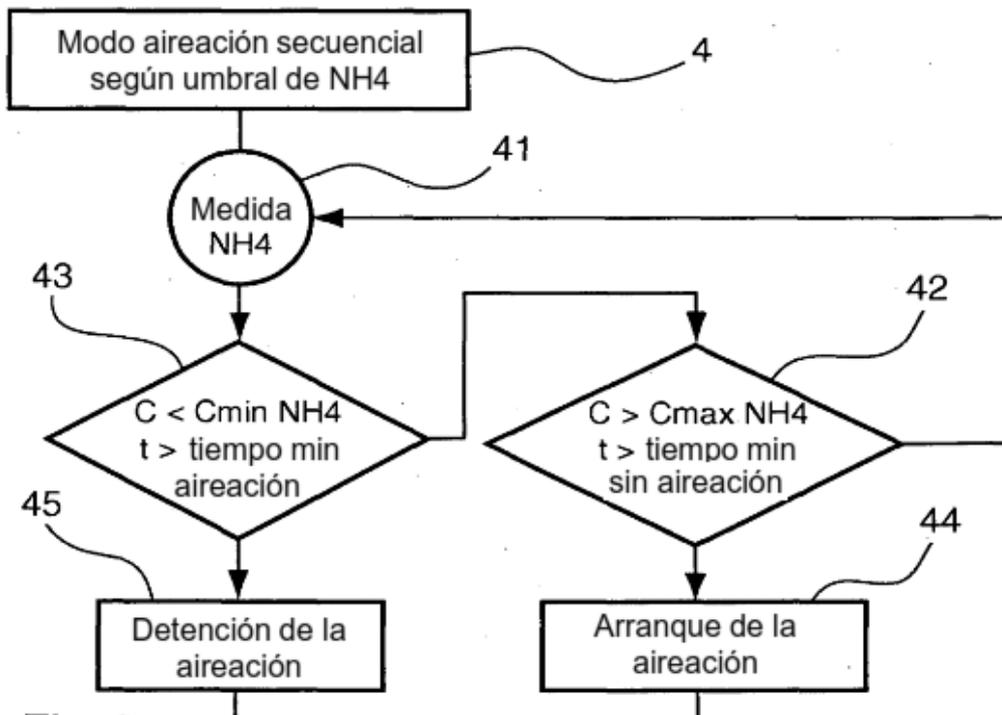


Fig. 2

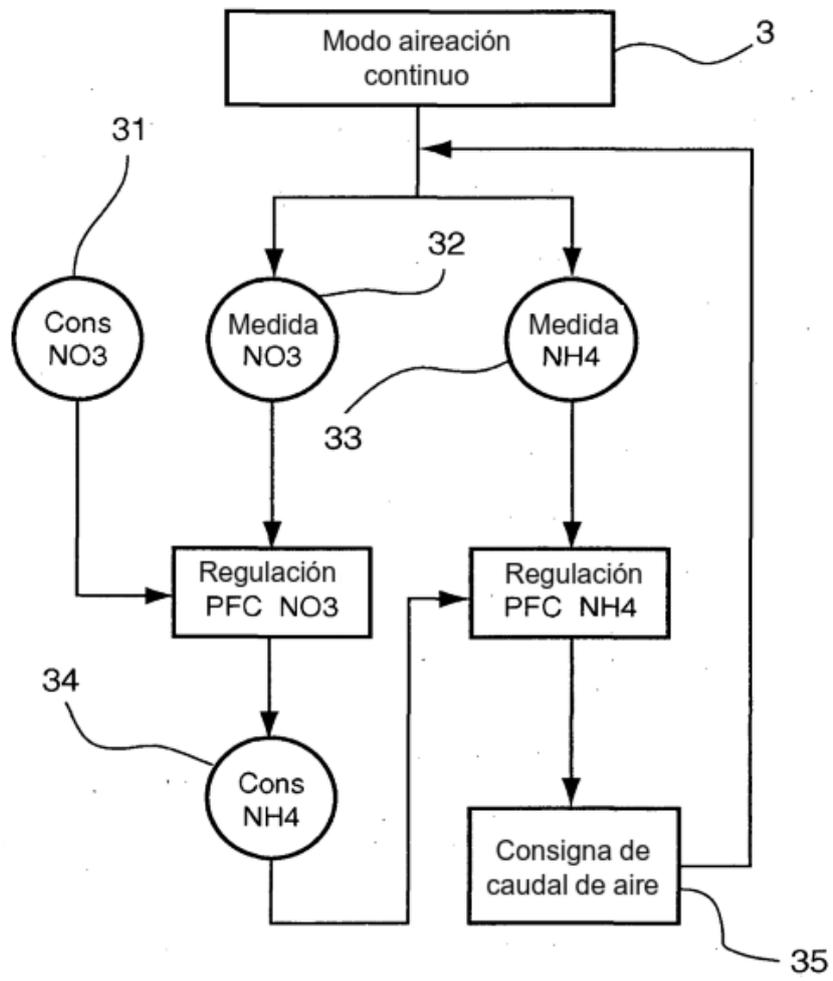


Fig. 3

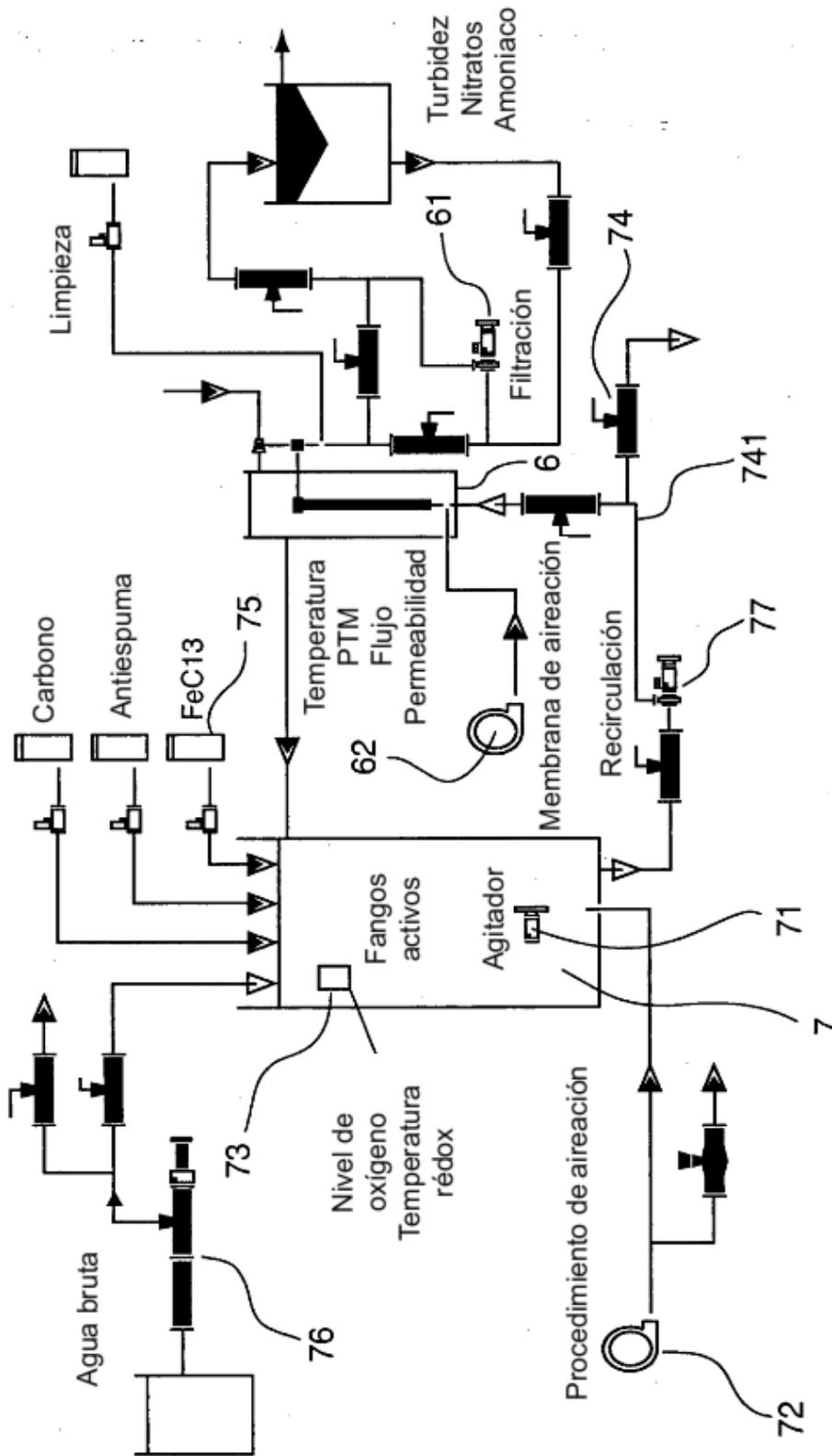


Fig. 4

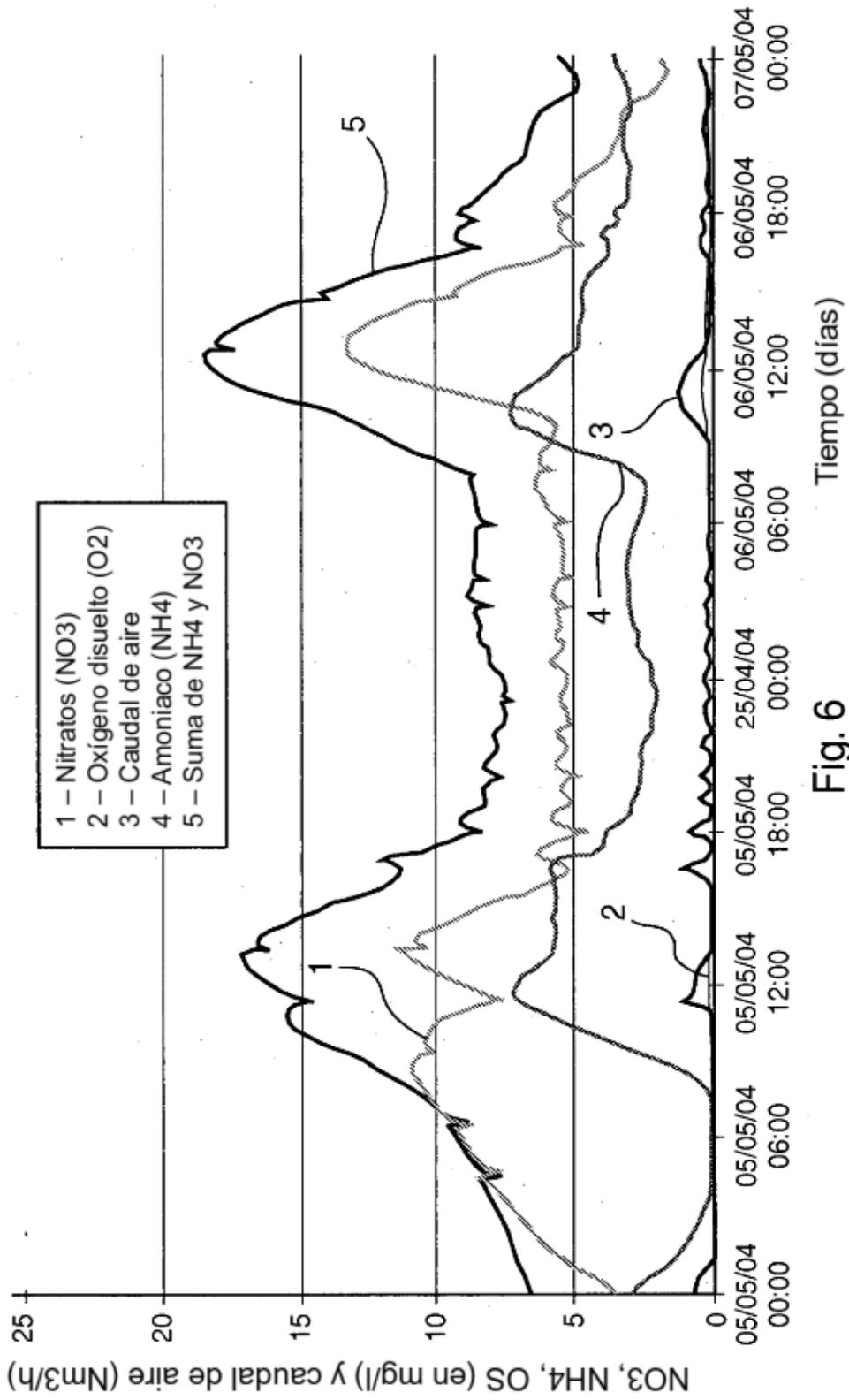


Fig. 6

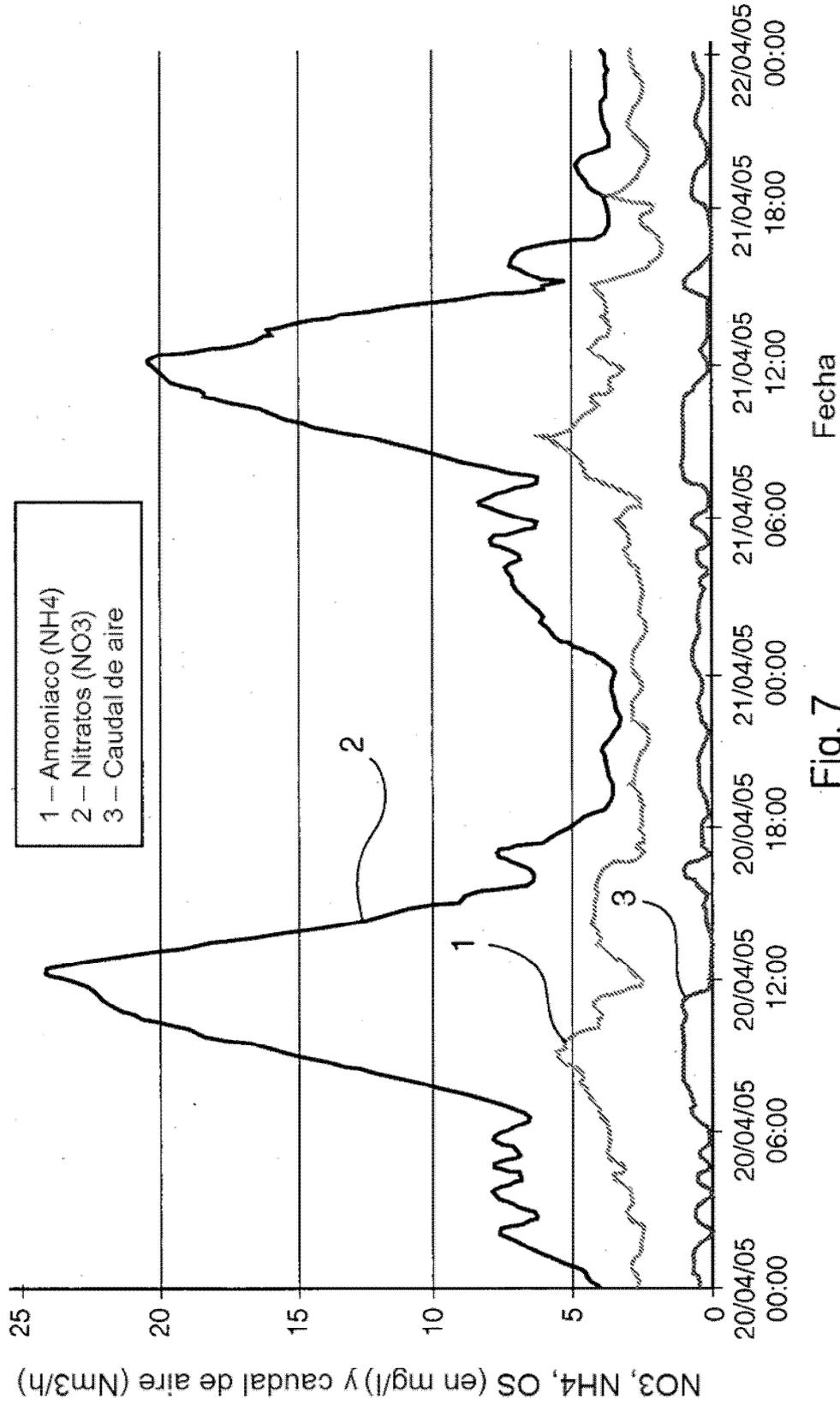


Fig. 7

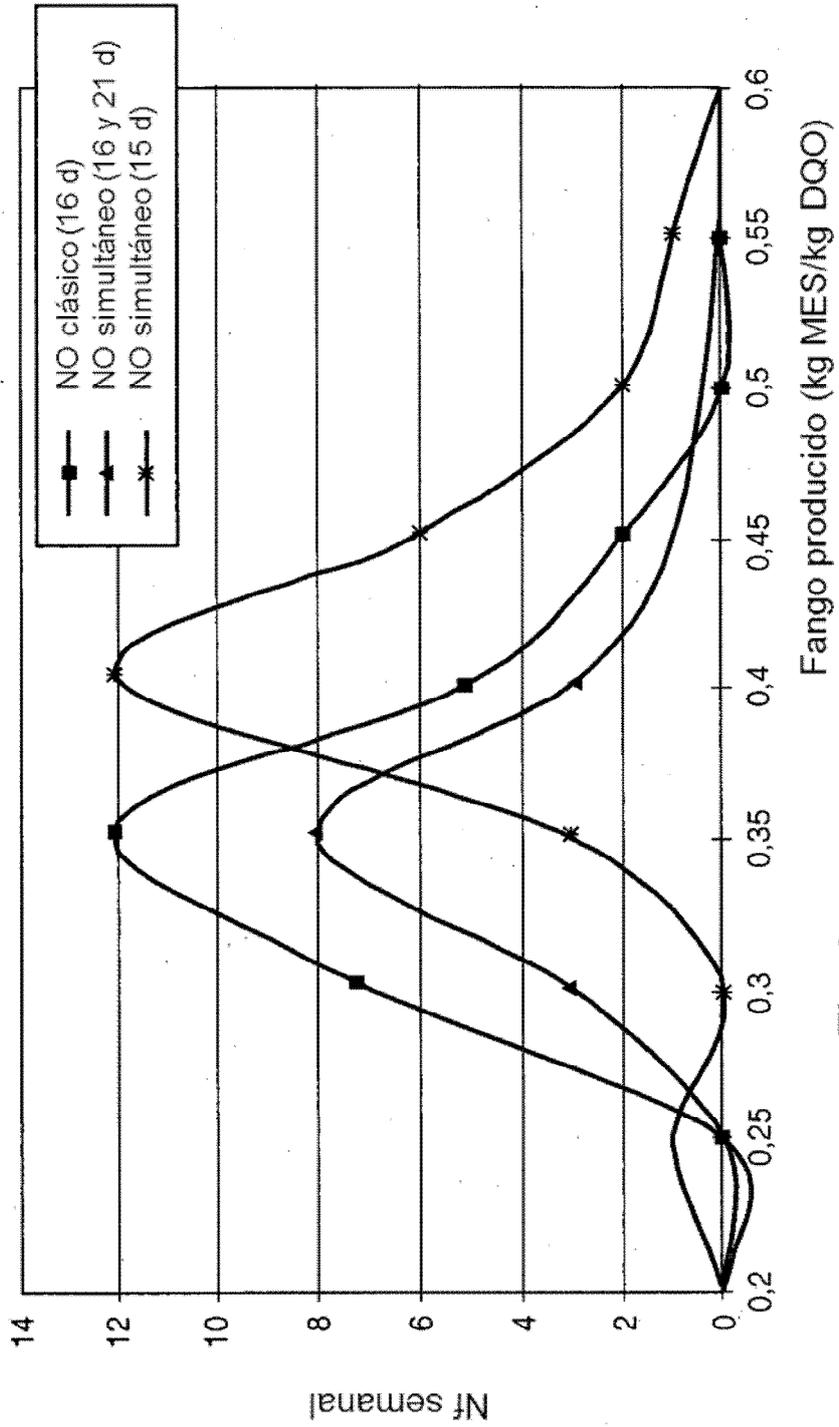


Fig. 9