

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 695 055**

51 Int. Cl.:

**C02F 3/30** (2006.01)

**C02F 3/26** (2006.01)

**C02F 3/12** (2006.01)

**C02F 3/20** (2006.01)

**C02F 101/16** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.12.2011 PCT/EP2011/074008**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.06.2012 WO12085288**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.12.2011 E 11807933 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.08.2018 EP 2655269**

54 Título: **Procedimiento e instalación de tratamiento del agua por nitrificación - desnitrificación, que comprende al menos una etapa aireada y una etapa de control de la aportación de oxígeno durante la etapa aireada**

30 Prioridad:

**24.12.2010 FR 1061255**

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

**28.12.2018**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**LEMAIRE, ROMAIN y  
DANIEL, OLIVIER**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 695 055 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 e instalación de tratamiento del agua por nitrificación – desnitrificación, que comprende al menos una etapa aireada y una etapa de control de la aportación de oxígeno durante la etapa aireada

- 5 1. Campo de la invención
- El campo de la invención es el del tratamiento de aguas cargadas de nitrógeno en forma de amonio. La invención encuentra, en particular, su aplicación en el tratamiento de efluentes industriales o municipales tales como los sobrenadantes de digestores anaeróbicos, los efluentes procedentes del tratamiento de lodos por oxidación por húmeda, los condensados de tratamiento de gas, los condensados de tratamiento de lodos de depuración, los lixiviados de vertederos, los efluentes de mataderos, los estiércoles de cerdos, o cualquier otro tipo de efluente cargado de nitrógeno en forma de amonio.
- 15 Más precisamente, la invención se refiere a un procedimiento de tratamiento de agua que utiliza un reactor biológico en el interior del cual se implementa, en particular, al menos una etapa aireada de tratamiento biológico.

## 2. Técnica anterior

- 20 Los procedimientos biológicos de tratamiento del agua se utilizan habitualmente a fin de reducir el contenido en contaminación nitrogenada de las aguas.

Entre estos procedimientos biológicos aparece el procedimiento de nitrificación-desnitrificación que se puede realizado de manera continua o secuenciada.

- 25 Tal procedimiento consiste en introducir un agua a tratar en un reactor biológico en el interior del cual se realizan fases aireadas y fases anóxicas.

- 30 Durante las fases aireadas, la inyección de oxígeno (en forma de aire o de oxígeno puro por ejemplo) en el reactor promueve el desarrollo de una biomasa nitrificante autotrófica que permite la transformación del nitrógeno en forma de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) en nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) constituida en realidad de una biomasa que transforma el nitrógeno en forma de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) en nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) denominada biomasa AOB («*ammonia oxidising bacteria*») y de una biomasa que transforma los nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) en nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), denominada biomasa NOB («*nitrite oxidising bacteria*»).

- 35 Durante las fases anóxicas, la detención de la aireación del reactor promueve el desarrollo de una biomasa desnitrificante que reduce los nitratos a nitrógeno gaseoso molecular (dinitrógeno)  $\text{N}_2$  pasando por la etapa de nitritos. Esta biomasa desnitrificante es de naturaleza heterotrófica, es decir que puede desarrollarse sólo en presencia de una fuente de carbono orgánico.

- 40 Este procedimiento de reducción de la contaminación nitrogenada por nitrificación-desnitrificación se representa de manera esquemática en la figura 1.

- Tal procedimiento de tratamiento biológico es particularmente eficaz debido a que su implementación conduce a reducir, de manera significativa, el contenido de contaminación nitrogenada del agua. Sin embargo, presenta algunos inconvenientes. En particular, su implementación requiere inyectar en el reactor una cantidad relativamente importante de oxígeno para asegurar la transformación del amonio en nitratos. Además, la mayoría de las aguas a tratar tienen un contenido de contaminación orgánica (DBO, Demanda Bioquímica de Oxígeno) demasiado bajo para permitir reducir de manera satisfactoria la contaminación nitrogenada por nitrificación-desnitrificación. Es así frecuentemente necesario la inyección del carbono en el reactor en forma de reactivos (por ejemplo un sustrato carbonado fácilmente biodegradable) de manera que las bacterias de tipo heterotrófico puedan asegurar la eliminación de los nitratos en cantidad satisfactoria.

- 55 Tal procedimiento de tratamiento por nitrificación-desnitrificación es así relativamente costoso de realizar debido que implica un consumo bastante elevado de oxígeno y de reactivo carbonado.

- A fin de paliar al menos en parte estos inconvenientes, se ha desarrollado un procedimiento que tiene como objetivo reducir la contaminación en forma de amonio minimizando la formación de nitratos. Este procedimiento, denominado de nitrificación-desnitrificación, también denominado "derivación de los nitratos" consiste en introducir un agua a tratar en un reactor biológico secuencial en el interior del cual se realizan fases aireadas y fases anóxicas bajo condiciones de realización que aseguran una presión selectiva para el desarrollo de las bacterias AOB en detrimento de las bacterias NOB. Estas condiciones de realización pueden ser una concentración elevada de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), una baja concentración de oxígeno disuelto durante las fases aireadas, una temperatura superior a 28°C, una escasa antigüedad de los lodos o varias condiciones de realización combinadas.

- 65 Durante las fases aireadas, la inyección de oxígeno en el reactor permite el desarrollo de bacterias de tipo AOB que actúan sobre el nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) para formar unos nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ). La utilización de un reactor biológico

secuencial, para la implementación de un procedimiento de tipo “derivación de los nitratos”, permite obtener fuertes concentraciones de amonio después de cada secuencia de alimentación del agua a tratar en el reactor. Puesto que las bacterias NOB ya no se inhiben debido a las fuertes concentraciones de amonio en las Bacterias AOB, su desarrollo es limitado. Por otro lado, el oxígeno se inyecta a fin de mantener, preferentemente, una baja concentración de oxígeno disuelto en el reactor, a fin de favorecer el desarrollo de las bacterias AOB en detrimento de las bacterias NOB debido a una mejor afinidad para el oxígeno de las bacterias AOB. La producción de nitratos a partir de nitritos por la biomasa NOB se encuentra así limitada.

Durante las fases anóxicas, la biomasa heterótrofa se atribuye esencialmente a la transformación de los nitritos en nitrógeno molecular, siendo bajo el contenido en nitratos. Esta biomasa heterótrofa se encuentra, en este caso, con la biomasa NOB para el consumo de los nitritos y contribuye a limitar el crecimiento de este último.

Este procedimiento de reducción de la contaminación nitrogenada por “derivación de los nitratos” se representa de manera esquemática en la figura 2.

La implementación de tal procedimiento de nitrificación-desnitrificación permite, en comparación con la de un procedimiento de nitrificación-desnitrificación clásico, tal como se describe en la figura 1, reducir en aproximadamente un 25% el consumo en oxígeno y en aproximadamente un 40% el consumo de reactivos carbonados. Permite así reducir de manera satisfactoria la contaminación nitrogenada de un agua de manera más económica.

Se conoce también del estado de la técnica otro procedimiento biológico denominado de “nitrificación-desamonificación”. Este permite reducir aún más el coste inherente al tratamiento de la contaminación nitrogenada de un agua.

Tal procedimiento consiste en introducir un agua a tratar en un reactor biológico secuencial en el interior del cual se realizan fases aireadas y fases anoxias minimizando la formación de nitratos por unas condiciones de realización selectivas y utilizando una biomasa específica denominada biomasa “anammox”.

Durante las fases aireadas, la implementación de las mismas condiciones de realización que las descritas anteriormente para el procedimiento “derivación de los nitratos” permite seleccionar unas bacterias AOB en detrimento de las bacterias NOB y minimizar la producción de nitratos a partir de nitritos por la biomasa NOB.

Durante las fases anoxias, se desarrollan unas bacterias de tipo anammox y actúan sobre los iones amonio y sobre los nitritos para formar dianitrógeno ( $N_2$ ) gaseoso, así como una pequeña cantidad de nitratos sin consumir carbono orgánico ya que se trata de bacterias autótrofas, a diferencia de la biomasa heterótrofa responsable de la etapa de desnitrificación en el procedimiento de “derivación de los nitratos”.

Cuando la etapa de desnitrificación, que consiste en la degradación de los nitritos en forma de dinitrógeno ( $N_2$ ) gaseoso, implica unas bacterias de tipo anammox, esta etapa denominada de desnitrificación se denomina más precisamente desamonificación.

La implementación de tal procedimiento de “nitrificación-desamonificación” permite, en comparación con la de un procedimiento de “nitrificación-desnitrificación” clásico, reducir en aproximadamente un 60% el consumo de oxígeno y en aproximadamente un 90% el consumo de reactivos carbonados. Permite así reducir de manera satisfactoria la contaminación nitrogenada de un agua de manera aún más económica.

Este procedimiento de reducción de la contaminación nitrogenada por “nitrificación-desamonificación” se representa de manera esquemática en la figura 3.

Los procedimientos de tipo “derivación de los nitratos” o “nitrificación-desamonificación” se pueden realizar de manera continua o secuenciada.

Durante la implementación de los procedimientos de tipo “nitrificación-desnitrificación”, “derivación de los nitratos” o “nitrificación-desamonificación”, las etapas de nitrificación y de desnitrificación o las etapas de nitrificación y de desnitrificación-desamonificación se pueden realizar de manera simultánea con o sin soporte de biomasa. En este caso, la aireación del reactor puede ser continua.

La presente invención se refiere a los procedimientos de tratamiento biológico por nitrificación-desnitrificación que comprende al menos una etapa aireada, y muy particularmente, estos dos últimos procedimientos de tratamiento de agua por nitrificación-desnitrificación de tipo “derivación de los nitratos” y “nitrificación-desamonificación”, que tienen como ventaja permitir reducir el amonio contenido en un agua limitando al mismo tiempo el consumo de oxígeno y de sustrato carbonado en comparación con los procedimientos de tratamiento de agua por nitrificación-desnitrificación clásicos.

En la práctica, se demostró que era bastante difícil prevenir la formación de nitratos durante la implementación de

procedimientos de estos tipos, mientras que ésta tiene como objetivo precisamente evitar su formación. En efecto, en condiciones clásicas de implementación, los nitritos producidos por las bacterias AOB a partir del amonio se oxidan directamente por las bacterias NOB para formar unos nitratos.

5 Por lo tanto, se han desarrollado técnicas de regulación a fin de controlar mejor el desarrollo de las diferentes reacciones implicadas durante la implementación de los procedimientos de este tipo, y en particular evitar la formación de los nitratos.

10 Así, para favorecer la actividad de las bacterias AOB en detrimento de las bacterias NOB y limitar así la formación de nitratos, se conoce actuar sobre diferentes parámetros:

- la temperatura dentro del reactor: más allá de una temperatura de aproximadamente de 25 a 28°C, la velocidad de proliferación de las bacterias AOB es superior a la de las bacterias NOB;

15 - la concentración de amonio en el reactor: más allá de una cierta concentración de amonio, se inhibe la actividad de las bacterias NOB;

20 - la concentración de oxígeno disuelto: una baja concentración de oxígeno disuelto limita la actividad de las bacterias NOB en beneficio de las bacterias AOB;

- el tiempo de estancia de los lodos en el reactor.

25 La consideración de al menos uno de estos parámetros puede permitir reducir de manera eficaz el contenido de contaminación nitrogenada del agua limitando al mismo tiempo la formación de nitratos y mejorando el control del consumo de oxígeno y, llegado el caso, de reactivos carbonados.

30 El documento WO2010/074008A enseña a regular la aireación de un procedimiento de tipo anammox midiendo las concentraciones de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> y NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en el interior del reactor y comparando estas concentraciones con valores umbrales predeterminados.

### 3. Inconvenientes de la técnica anterior

35 Aunque consideración de al menos uno de estos parámetros permite mejorar la implementación de los procedimientos de tratamiento biológico, que comprende al menos una etapa aireada, como los procedimientos de tipo nitrificación-desnitrificación, "derivación de los nitratos", y "nitritación-desamonificación", no permite optimizar la aireación del reactor.

40 En efecto, durante la implementación de los procedimientos de este tipo, la aireación consiste en inyectar en el reactor el oxígeno de manera permanente o intermitente según una consigna de caudal o de concentración fija. La cantidad de oxígeno inyectada en el reactor durante un periodo dado es por lo tanto fija.

Sin embargo, la concentración de amonio del agua a tratar, así como la actividad biológica en el interior del reactor, varían a lo largo del tiempo. Por lo tanto, las necesidades de oxígeno disuelto en el reactor fluctúan en el tiempo.

45 Existen entonces unos periodos durante los cuales la cantidad de oxígeno disuelto en el reactor es demasiado elevada (sobre-aireación) de manera que se forman a veces unos nitratos en gran cantidad. Se reducen entonces las ganancias en términos de reducción del consumo de oxígeno y de prevención de la formación de los nitratos esperada por la implementación de procedimientos de este tipo. Existen también unos periodos durante los cuales la cantidad de oxígeno disuelto en el reactor es insuficiente (sub-aireación). Se limita entonces la eficacia del procedimiento en términos de reducción de la concentración de amonio.

50 Las técnicas de regulación según la técnica anterior no permiten por lo tanto optimizar de manera dinámica la aportación de oxígeno en un reactor biológico dentro del cual se realiza un procedimiento de tratamiento de agua por nitritación-desnitrificación que comprende al menos una etapa de aireación a fin de adaptar la aireación del reactor a las necesidades y limitar, en consecuencia, el consumo en oxígeno y la formación de nitratos.

### 4. Objetivos de la invención

60 La invención tiene en particular por objetivo paliar estos inconvenientes de la técnica anterior.

Más precisamente, un objetivo de la invención es mejorar, en al menos un modo de realización, los rendimientos de los procedimientos de tratamiento de agua de tipo biológica, que comprende al menos una etapa aireada de nitritación.

65 En particular, un objetivo de la invención es implementar, en al menos un modo de realización, tal técnica que permite reducir la cantidad de nitratos formados durante su implementación.

La invención tiene también como objetivo procurar, en al menos un modo de realización, tal técnica que permite controlar mejor la aireación del reactor dentro del cual se implementa.

5 En particular, la invención tiene como objetivo proporcionar, en al menos un modo de realización, una técnica de este tipo que permita adaptar de manera dinámica la aireación del reactor a fin de adaptarla a las necesidades. La invención tiene también como objetivo proporcionar, en al menos un modo de realización, una técnica de este tipo que sea más económica de realizar que las técnicas de la técnica anterior.

10 5. Descripción de la invención

Estos objetivos, así como otros que aparecerán a continuación, se alcanzan con la ayuda de un procedimiento de tratamiento de un agua cargada de nitrógeno en forma de amonio dentro de un reactor biológico por nitrificación-desnitrificación, comprendiendo dicho procedimiento al menos:

- 15
- una etapa (i) de alimentación con dicha agua de dicho reactor biológico;
  - una etapa (ii) aireada durante la cual se inyecta oxígeno en el reactor;
  - 20 - una etapa (iii) de extracción de un agua tratada de dicho reactor.

Según la invención, tal procedimiento comprende además:

- 25
- una etapa de determinación de una información representativa de la cantidad de nitratos formados en dicho reactor;
  - una etapa de determinación de una información representativa de la cantidad de amonio reducida en dicho reactor;
  - 30 - una etapa de cálculo de la relación entre dicha información representativa de la cantidad de nitratos formados en dicho reactor y dicha información representativa de la cantidad de amonio reducida en dicho reactor;
  - una etapa que consiste en determinar el porcentaje de amonio reducido en dicho reactor;

35 realizándose dichas etapas de determinación de manera continua o intermitente según una frecuencia predeterminada,

determinándose la aportación de oxígeno en dicho reactor durante dicha etapa (ii) en función de dicha aportación de dicha información representativa de la cantidad de nitratos formados en dicho reactor y dicha información representativa de la cantidad de amonio reducida en dicho reactor y en función de dicho porcentaje de amonio reducido en dicho reactor.

40 Así, la invención se basa en un enfoque muy original que consiste en regular la aportación de oxígeno dentro de un reactor biológico en el que se realiza un procedimiento de tratamiento de agua de tipo biológico por nitrificación-desnitrificación que comprende al menos una etapa aireada en función del porcentaje de amonio reducido en el reactor, por un lado, y en función de la relación entre la cantidad de nitratos formados en el reactor y la cantidad de amonio reducida en el reactor, por otro lado.

50 En efecto, los inventores han observado que cuando la relación entre la cantidad de nitratos formados en el reactor y la cantidad de amonio reducida en el reactor aumenta, lo que significa que la producción de nitratos aumenta y/o que la reducción del amonio disminuye, las condiciones en el reactor son tales que favorecen el desarrollo de bacterias NOB en detrimento de las bacterias AOB. Es entonces posible actuar sobre la cantidad de oxígeno inyectada en el reactor a fin de promover el desarrollo de las bacterias AOB en detrimento de las bacterias NOB con el objetivo de favorecer la reducción del amonio y limitar la producción de nitratos.

55 Los inventores han observado, no obstante, que podía haber situaciones durante las cuales la reducción del amonio se vuelve demasiado baja de manera que la eficacia del procedimiento en términos de reducción del amonio se degrada.

60 La consideración combinada y del porcentaje de amonio reducido en el reactor, por un lado, y de la relación entre la cantidad de nitratos formados en el reactor y la cantidad de amonio reducida en el reactor, por otro lado, permite, según la invención, adaptar de manera dinámica la aportación de oxígeno en el reactor a fin de limitar la producción de nitratos manteniendo al mismo tiempo una reducción suficiente del amonio garantizando la eficacia del procedimiento.

65 La implementación de la técnica según la invención permite, por lo tanto, mejorar los rendimientos de un tratamiento de agua de tipo biológico que comprende al menos una etapa aireada tanto en términos de reducción del amonio

como en términos de consumo de oxígeno.

La técnica según la invención, que consiste en un procedimiento que tiene como objetivo reducir el contenido de amonio de un agua, conduce por lo tanto a mejorar la eficacia de un tratamiento de agua de tipo biológico que comprende al menos una etapa aireada limitando al mismo tiempo el coste de su implementación.

En el sentido de la invención, la aportación de oxígeno determinada durante la implementación de tal procedimiento podrá, por ejemplo, expresarse en el flujo de oxígeno inyectado en el reactor o corresponder a una consigna de concentración de oxígeno disuelto en el reactor suministrada con medios de aireación en sí mismos conocidos por el experto en la materia.

Un procedimiento según la invención se puede realizar de manera continua. En este caso, el agua a tratar se introduce de manera continua en el reactor y el agua tratada se extrae de él de manera continua.

Un procedimiento según la invención puede también implementarse de manera secuenciada. En este caso, se introduce agua a tratar en el reactor. Una vez terminada la alimentación del reactor, el agua que contiene se trata biológicamente. Una vez terminado el tratamiento biológico, el agua tratada se extrae del reactor. En una variante, el agua a tratar podrá introducirse en el reactor por fracciones sucesivas, implementándose una nueva alimentación del reactor después de que se haya tratado la porción anteriormente introducida en el reactor. En este caso, el agua tratada se extraerá del reactor después de que se haya alcanzado el nivel alto de éste y se haya tratado el conjunto del volumen de agua que contiene.

La técnica según la invención se podrá implementar de manera combinada con otros métodos de presión selectiva que tienen como objetivo promover la actividad de las bacterias nitrificantes (AOB) como la temperatura dentro del reactor, la edad de los lodos, la concentración de  $\text{NH}_3$  disuelto en el reactor o cualquier combinación de estos factores.

La etapa aireada es una fase durante la cual se forman unos nitritos. En otras palabras, se trata de una etapa de nitrificación durante la cual se tiende a limitar, incluso eliminar, la formación de nitratos por la gestión de la aireación según la invención. Un procedimiento según la invención puede por lo tanto generalmente comprender al menos una etapa anoxia de desnitrificación. En el sentido de la invención, la desnitrificación es una etapa durante la cual los nitritos se degradan en dinitrógeno gaseoso. Esta degradación puede implicar bacterias de tipo heterotrófico y/o de tipo anammox. Cuando la etapa de desnitrificación implica bacterias de tipo anammox, ésta se denomina más precisamente "desamonificación".

Las etapas de nitrificación y de desnitrificación se podrán implementar alternativamente. Existen entonces fases de aireación y fases de no aireación del reactor. Las etapas de nitrificación y de desnitrificación podrán también llevarse a cabo simultáneamente. En este caso, la aireación del reactor puede ser continua. En el caso de una desamonificación, unos soportes dispuestos en un reactor de tipo MBBR (por "Moving-Bed Biofilm Reactor" en inglés) podrán servir para el desarrollo de la biomasa en forma de biopelícula que permite la aireación continua del reactor. Se podrán utilizar otras técnicas para permitir a la biomasa desarrollarse en forma de una biopelícula, de tal manera que el reactor pueda airearse de manera continua. Entre estas técnicas aparecen en particular las técnicas de auto-agregación de la biomasa en forma de gránulos que no necesitan la implementación de soporte de biomasa.

Las etapas de determinación de una información representativa de la cantidad de nitratos formados y de la cantidad de amonio reducida se llevan a cabo a lo largo del procedimiento, de manera continua o intermitente, según una frecuencia predeterminada, tanto en el ámbito de un funcionamiento en modo continuo como en modo secuenciado.

Según una característica ventajosa, un procedimiento según la invención comprende una etapa de determinación de una variación de consigna de aportación de oxígeno en función de dicha relación entre dicha información representativa de la cantidad de nitratos formados en dicho reactor y dicha información representativa de la cantidad de amonio reducida en dicho reactor y en función de dicho porcentaje de amonio reducido en dicho reactor, y una etapa de determinación de una nueva consigna de aportación de oxígeno que corresponde a la suma de una consigna corriente de aportación de oxígeno en dicho reactor y de dicha variación de consigna de aportación de oxígeno.

Esta implementación permite tener en cuenta la inercia de los procesos biológicos implicados durante la realización del procedimiento y lisar la consigna de aireación a partir de la consigna corriente para evitar cambios demasiados bruscos de aireación.

En este caso, un procedimiento según la invención comprende una etapa de determinación de una primera contribución a dicha variación de consigna de aportación de oxígeno de dicha relación entre dicha información representativa de la cantidad de nitratos formados en dicho reactor y dicha información representativa de la cantidad de amonio reducida en dicho reactor, y una etapa de determinación de una segunda contribución a dicha variación de consigna de aportación de oxígeno de dicho porcentaje de amonio reducido en dicho reactor, estando dicha variación de consigna de aportación de oxígeno en función de dichas primera y segunda contribuciones.

Esta implementación permite proporcionar una consigna de aireación precisa que permite limitar el consumo de oxígeno y la producción de nitritos y garantizar al mismo tiempo un buen nivel de eliminación del amonio.

- 5 Un procedimiento según la invención comprende de manera preferida una etapa de seguimiento de la evolución en el tiempo del valor de dicha relación entre dicha información representativa de la cantidad de nitratos formados en dicho reactor y dicha información representativa de la cantidad de amonio reducida en dicho reactor, reduciéndose la cantidad de oxígeno inyectado en dicho reactor durante dicha etapa (ii) aireada cuando el valor de dicha relación aumenta.
- 10 El hecho de reducir la cantidad de oxígeno inyectada en el reactor cuando la relación entre la cantidad de nitratos formados en el reactor y la cantidad de amonio reducida en el reactor aumenta permite promover el desarrollo de las bacterias AOB en detrimento de las bacterias NOB y por lo tanto limitar la producción de nitratos.
- 15 En este caso, un procedimiento según la invención comprende preferiblemente una etapa de comparación del valor de dicho porcentaje de amonio reducido en dicho reactor con un valor umbral, aumentándose la cantidad de oxígeno inyectado en dicho reactor durante dicha etapa (ii) aireada cuando el valor de dicho porcentaje es inferior a dicho valor umbral.
- 20 El hecho de inyectar más oxígeno en el reactor cuando el porcentaje de amonio que se reduce alcanza un umbral mínimo predeterminado permite promover el desarrollo de las bacterias AOB a fin de garantizar una reducción conveniente del amonio.
- 25 Según una característica ventajosa de la invención, dicha etapa de determinación de una información representativa de la cantidad de nitratos formados en dicho reactor comprende una etapa de medición de la concentración de nitratos de dicha agua y de dicha agua tratada en dicho reactor, o una etapa de medición de la concentración de nitratos de dicha agua aguas arriba de dicho reactor y una etapa de medición de la concentración de nitratos del agua tratada en o aguas abajo de dicho reactor.
- 30 Es así posible determinar de manera simple y precisa la cantidad de nitratos formados en el reactor en cada momento a partir de los datos así medidos.
- 35 Según otra característica ventajosa de la invención, dicha etapa de determinación de una información representativa de la cantidad de amonio reducida en dicho reactor comprende una etapa de medición de la concentración de amonio de dicha agua y de dicha agua tratada en dicho reactor, o una etapa de medición de la concentración de amonio de dicha agua aguas arriba de dicho reactor y una etapa de medición de la concentración de amonio de dicha agua tratada en o aguas abajo de dicho reactor.
- 40 Es así posible determinar de manera simple y precisa la cantidad de amonio reducida en el reactor en cada momento a partir de los datos así medidos.
- 45 Según unas características preferidas de la invención, dichas etapas de medición de concentración de nitratos y/o en amonio se realizan en línea y de manera continua.
- 50 La cantidad de oxígeno inyectada en el reactor puede, por lo tanto, modificarse de manera dinámica, es decir en tiempo real, en función de las necesidades.
- Según otra característica preferida de la invención, la aportación de oxígeno en dicho reactor se determina según un intervalo de tiempo predeterminado.
- 55 El tiempo que separa el suministro de dos consignas de aireación sucesivas podrá seleccionarse así de manera tal que no sea:
- ni demasiado corto, en cuyo caso podrá proporcionarse una nueva consigna de aireación mientras que los procesos biológicos implicados durante la implementación del procedimiento no se equilibran;
  - ni demasiado largo, en cuyo caso podría proporcionarse una nueva consigna de aireación mientras que las condiciones que han llevado a su determinación hayan evolucionado.
- 60 La presente invención se refiere también a una instalación de tratamiento de agua que comprende:
- un reactor biológico que presenta una entrada de agua a tratar y una salida de agua tratada;
  - medios de medición de una información representativa de la concentración de amonio dispuestos en dicho reactor, o aguas arriba de dicha entrada y aguas abajo de dicha salida o en dicho reactor;
- 65

- medios de medición de una información representativa de la concentración de nitratos dispuestos en dicho reactor, o aguas arriba de dicha entrada y aguas abajo de dicha salida o en dicho reactor;
- 5 - medios de cálculo de una reducción de amonio de un agua que circula en dicho reactor a partir de al menos algunas de dichas informaciones;
- medios de cálculo de una cantidad de nitratos formada en dicha agua que circula en dicho reactor a partir de al menos algunas de dichas informaciones;
- 10 - medios de cálculo de la relación entre dicha cantidad de nitratos formados y dicha cantidad de amonio reducida;
- medios de cálculo de un porcentaje de reducción de amonio en el agua que circula en dicho reactor a partir de al menos algunas de dichas informaciones;
- 15 - medios de inyección de oxígeno en dicho reactor;
- medios de determinación de la cantidad de oxígeno inyectada en dicho reactor a través de dichos medios de inyección a partir de dicha relación y de dicho porcentaje de reducción.
- 20 Cuando el reactor biológico está destinado a utilizarse en modo secuenciado, los modos de medición de una información representativa de la concentración de nitratos y de la concentración de amonio estarán ventajosamente dispuestos en el reactor. Cuando el reactor biológico está destinado a utilizarse en modo continuo, los medios de medición de una información representativa de la concentración de nitratos estarán ventajosamente dispuestos
- 25 aguas arriba de la entrada del reactor y aguas abajo de la salida del reactor o en dicho reactor, y los medios de medición de una información representativa de la concentración de amonio estarán ventajosamente dispuestos aguas arriba de la entrada del reactor y aguas abajo de la salida del reactor o en dicho reactor.

## 6. Lista de las figuras

- 30 Otras características y ventajas de la invención aparecerán más claramente a partir de la lectura de la descripción siguiente de modos de realización preferidos, dados a título de simples ejemplos ilustrativos y no limitativos, y de los dibujos anexos, entre los cuales:
- 35 - la figura 1 es un esquema relativo a un procedimiento de reducción de la contaminación nitrogenada por nitrificación-desnitrificación según la técnica anterior;
- la figura 2 es un esquema relativo a un procedimiento de reducción de la contaminación nitrogenada por nitrificación-desnitrificación "derivación de los nitratos" según la técnica anterior;
- 40 - la figura 3 es un esquema relativo a un procedimiento de reducción de la contaminación nitrogenada por nitrificación-desamonificación según la técnica anterior;
- la figura 4 ilustra el esquema de un ejemplo de instalación de tratamiento de agua según la invención;
- 45 - la figura 5 ilustra una vista en sección de la cuarta parte de un soporte de biomasa que puede utilizarse durante la implementación de un procedimiento según la invención que funciona en "nitrificación-desamonificación" en modo continuo;
- 50 - la figura 6 ilustra la evolución de la consigna de aportación de oxígeno disuelto determinada durante ensayos por la implementación de la técnica según la invención.

## 7. Descripción de modos de realización de la invención

### 7.1. Recuerdo del principio de la invención

- 55 El principio general de la invención se basa en el hecho de regular la aportación de oxígeno dentro de un reactor biológico en el que se utiliza un procedimiento de tratamiento de agua que comprende al menos una etapa aireada en función del porcentaje de amonio reducido en el reactor, por un lado, y en función de la relación entre la cantidad de nitratos formados en el reactor y la cantidad de amonio reducida en el reactor, por otro lado.
- 60 La consideración combinada de la relación entre la cantidad de nitratos formados en el reactor y la cantidad de amonio reducida en el reactor y del porcentaje de amonio reducido en el reactor permite, según la invención, adaptar a las necesidades de manera dinámica la cantidad de oxígeno inyectada en el reactor a fin de limitar la producción de nitratos, manteniendo al mismo tiempo una reducción suficiente del amonio y garantizando al mismo tiempo la
- 65 eficacia del procedimiento.

7.2 Ejemplo de modos de realización de instalaciones de tratamiento de agua según la invención

7.2.1. Instalación destinada a funcionar en modo "nitrificación-desamonificación" de manera continua

5 Se presenta, en relación con la figura 4, un modo de realización de una instalación de tratamiento de agua según la invención.

10 Así como se representa en esta figura 4, tal instalación comprende un reactor biológico 10. Este reactor biológico 10 comprende una entrada de agua a tratar 101 y una salida de agua tratada 102. En este modo de realización, el reactor contiene unos soportes 50 sobre los cuales puede desarrollarse una biomasa. El reactor 10 es, por lo tanto, de tipo MBBR.

15 Estos soportes se realizan preferiblemente de plástico.

En unas variantes, ningún soporte podrá colocarse en el reactor 10. En algunos casos, la biomasa podrá entonces, por ejemplo, autoagregarse en forma de copos, incluso de gránulos. Podrá también presentarse en forma de lodo activado clásico.

20 Una canalización de agua a tratar 11 desemboca en la entrada 101 del reactor biológico 10.

Una canalización de agua tratada 12 está unida a la salida 102 de dicho reactor biológico 10.

25 Unos medios de medición de una información representativa de la concentración de amonio del agua a tratar 13 se colocan sobre la canalización 11. Unos medios de medición de una información representativa de la concentración de amonio del agua a tratar 14 se colocan en el reactor 10. En este modo de realización, estos medios de medición 13, 14 comprenden unos sensores de medición de concentración. En unas variantes, podrán utilizarse otros medios equivalentes podrán.

30 Unos medios de medición de una información representativa de la concentración de nitratos del agua a tratar 15 se colocan sobre la canalización 11. Unos medios de medición de una información representativa de la concentración de nitratos del agua tratada 16 se colocan en el reactor 10. En este modo de realización, estos medios de medición 15, 16 comprenden unos sensores de medición de concentración. En unas variantes, se podrán utilizar otros medios equivalentes.

35 La instalación comprende además unos medios de medición de la concentración de oxígeno disuelto en el reactor 10, que en este modo de realización comprenden un sensor de oxígeno disuelto 21.

40 Los medios de mediciones 13, 14, 15, 16 y 21 están unidos a una caja de regulación 17.

La caja de regulación 17 comprende unos medios de cálculo:

45 - de una reducción en amonio por sustracción de la información proporcionada por el sensor de amonio dispuesto aguas arriba del reactor 10 representativa de la concentración del agua a tratar en amonio y de la información proporcionada por el sensor de amonio colocado en el reactor 10 representativa de la concentración de amonio del agua tratada;

50 - de una cantidad de nitratos formada por sustracción de la información proporcionada por el sensor de nitratos dispuesto en el reactor 10 representativa de la concentración del agua tratada en nitratos y de la información proporcionada por el sensor de nitratos colocado aguas arriba del reactor 10 representativa de la concentración del agua a tratar en nitratos;

- de la relación entre dicha cantidad de nitratos formada y la reducción de amonio;

55 - de un porcentaje de reducción de amonio por sustracción de la información proporcionada por el sensor de amonio colocado aguas arriba del reactor 10 y de la información proporcionada por el sensor de amonio colocado en el reactor 10, y división del resultado obtenido por la información proporcionada por el sensor de amonio colocado aguas arriba del reactor 10.

60 A partir de la relación y de la reducción de amonio, la caja de regulación 17 determina una consigna de cantidad de oxígeno a inyectar en el reactor 10. Esta consigna podrá ser una consigna del caudal de inyección de oxígeno o de la concentración de oxígeno disuelto en el reactor 10. Tal como se explicará más en detalle a continuación, en este modo de realización, la caja de regulación 17 funciona según una tecnología de regulación de tipo lineal. En unas variantes, podrá funcionar según una tecnología de tipo lógica-difusa o según cualquier otra tecnología de regulación capaz de tener en cuenta la evolución de dos parámetros.

65

La caja de regulación 17 está unida a unos medios de inyección de oxígeno que comprenden, en este modo de realización, un intensificador de presión 18.

5 El intensificador de presión 18 está unido mediante una canalización 19 a medios de difusión de aire que, en este modo de realización, comprenden una rampa de difusión 20 de finas burbujas.

#### 7.2.2 Instalación destinada a funcionar en modo secuencial

10 Una instalación de tratamiento de agua destinada a funcionar en modo secuencial es idéntica a la destinada a funcionar en modo continuo, con la diferencia que:

15 - los medios de mediciones 13 y 15 colocados aguas arriba de la entrada 101 del reactor 10 y los medios de medición 14 y 16 colocados en el reactor 10 son sustituidos por unos medios de medición de la concentración de amonio y unos medios de medición de la concentración de nitratos dispuestos en el reactor 10;

- el reactor biológico 10 es de tipo SBR (por "Sequencing Batch Reactor" en inglés) y no contiene soporte para la biomasa.

#### 20 7.3 Ejemplo de modos de realización de procedimientos de tratamiento de agua según la invención

##### 7.3.1 Funcionamiento en modo continuo

###### A/ Principio general

25 Se describirá ahora un procedimiento de tratamiento de agua por nitrificación-desnitrificación según la invención de tipo "nitrificación-desamonificación" que funciona en modo continuo.

Tal procedimiento comprende:

30 - una etapa (i) de alimentación con agua del reactor biológico 10;

- una etapa (ii) aireada de nitrificación;

35 - una etapa (ii') anoxia de desnitrificación;

- una etapa (iii) de extracción de agua tratada de dicho reactor.

40 La etapa (i) de alimentación consiste en introducir de manera continua agua a tratar que circula en la canalización 11 en el reactor 10 por la entrada 101.

Se inyecta de manera continua oxígeno, pero de manera variable, en el reactor 10 a través del intensificador de presión 18, la canalización 19 y la rampa 20.

45 Tal como aparece en la figura 5, se desarrolla una biomasa sobre los soportes 50 y forma una biopelícula 51 en su superficie. Esta biomasa comprende unas bacterias aerobias 510 (AOB y NOB), y unas bacterias anaerobias anammox 511.

50 Teniendo en cuenta el gradiente de oxígeno en el interior de la biopelícula 51, se observa entonces una actividad de las bacterias AOB en las capas superiores de este: se lleva a cabo así una etapa (ii) aireada de nitrificación.

Durante la etapa (ii) aireada de nitrificación, las bacterias AOB actúan sobre los iones amonio presentes en el agua contenida en el reactor biológico 10 para formar unos nitritos consumiendo oxígeno.

55 Se puede observar también una actividad muy baja de las bacterias NOB en las capas superiores de la biopelícula 51. Estas pueden actuar sobre los nitritos formados por las bacterias AOB para formar unos nitratos consumiendo oxígeno.

60 En este modo de realización, el procedimiento comprende una etapa (ii') anoxia de desnitrificación. Esta etapa de desnitrificación tiene lugar simultáneamente a la etapa de nitrificación.

La etapa (ii') anoxia de desnitrificación utiliza unas bacterias anammox para degradar los nitritos en dinitrógeno gaseoso durante fases anoxia de desnitrificación.

65 Cuando el procedimiento es de tipo "nitrificación-desamonificación", las bacterias anammox que se han desarrollado en las capas inferiores de la biopelícula 51 actúan, durante la etapa (ii') anoxia de desnitrificación, sobre el amonio y sobre los nitritos presentes en el agua para formar dinitrógeno gaseoso.

El agua tratada se extrae de manera continua del reactor 10 a través de la salida 102 y la canalización 12.

Durante la implementación del procedimiento, las concentraciones de amonio del agua aguas arriba y en el reactor, así como las concentraciones de nitratos del agua aguas arriba y en el reactor se miden en línea y de manera continua mediante unos sensores 13, 14, 15 y 16 y de la caja de regulación 17. Se conocerá entonces el valor de las mediciones en cada momento a lo largo del procedimiento. En una variante, estas concentraciones podrán medirse de manera intermitente según una frecuencia predeterminada. Se conocerá entonces el valor de las mediciones a una frecuencia de tiempo seleccionada a lo largo del procedimiento. Podrán también no medirse en línea, si no después de la extracción de muestras. En este caso, se extraerán unas muestras mediante un sistema de extracción automático de muestras (extractor automático), de manera continua o en discontinuo a una frecuencia de muestreo adaptada. Las muestras extraídas se analizarán en el sitio de producción de manera continua o de manera intermitente a una frecuencia de análisis predeterminada adaptada. Se conocerá entonces el valor de las mediciones a una frecuencia de tiempo seleccionada a lo largo del procedimiento.

La caja de regulación 17 calcula entonces en tiempo real:

- la cantidad de nitratos formados en el reactor ( $Q_{NO_3 \text{ Formados}}$ ) sustrayendo a la concentración de nitratos del agua tratada en el reactor ( $Q_{NO_3 \text{ In}}$ ) la del agua tratada aguas arriba del reactor ( $Q_{NO_3 \text{ Entrada}}$ );

- la cantidad de amonio reducida en el reactor ( $Q_{NH_4 \text{ Reducido}}$ ) sustrayendo a la concentración de amonio del agua a tratar aguas arriba del reactor ( $Q_{NH_4 \text{ Entrada}}$ ) la del agua tratada en el reactor ( $Q_{NH_4 \text{ In}}$ );

- la relación entre la cantidad de nitratos formados ( $Q_{NO_3 \text{ Formados}}$ ) y la cantidad de amonio reducida ( $Q_{NH_4 \text{ Reducido}}$ ) según la fórmula:

$$\text{Relación} = (Q_{NO_3 \text{ formados}})/(Q_{NH_4 \text{ reducido}})$$

El porcentaje de amonio reducido en dicho reactor según la fórmula:

$$\%NH_4 \text{ reducido} = (Q_{NH_4 \text{ reducido}})/(Q_{NH_4 \text{ entrada}})$$

El regulador 17 determina después:

- la contribución a la variación de consigna de aportación de oxígeno de la relación, es decir cuál debería ser la variación de consigna de aportación de oxígeno teniendo en cuenta el valor de la relación;

- la contribución a la variación de consigna de aportación de oxígeno del  $\%NH_4 \text{ reducido}$ , es decir cuál debería ser la variación de consigna de aportación de oxígeno teniendo en cuenta el valor de  $\%NH_4 \text{ reducido}$ .

Una variación de consigna de aportación de oxígeno  $\Delta O_2$  se determina después efectuando la suma de estas dos contribuciones. Esta variación puede ser positiva o negativa.

Se calcula una nueva consigna de aportación de oxígeno añadiendo la variación de consigna de aportación de oxígeno  $\Delta O_2$  a la consigna corriente de aportación de oxígeno en el reactor.

El cálculo de la consigna de aportación de oxígeno se realiza en tiempo real. En unas variantes, se podrá realizar según un intervalo de tiempo predeterminado.

B/ Ejemplo detallado

Un procedimiento según la invención de tipo "nitritación-desamonificación" se ha implementado de manera continua dentro de una instalación que comprende un reactor 10 de tipo MBBR.

El volumen de este reactor 10 era igual a dos metros cúbicos. Contenía un volumen de un metro cúbico de soportes en materia plástica que permite a la biomasa desarrollarse en forma de biopelícula.

El reactor 10 se alimentaba de manera continua con un efluente cargado en amonio (700 a 900 mgN-NH<sub>4</sub>/l) que procedía del sobrenadante de digestores anaeróbicos de lodos de depuración.

Durante la implementación de tal procedimiento, el operario encargado del tratamiento del agua ha fijado previamente, en función de las obligaciones de explotación:

- el porcentaje mínimo admisible de reducción de amonio;

- el porcentaje diana de reducción de amonio;

- el valor diana de la relación;

- el valor máximo admisible sobre el valor de la relación;

5

- el intervalo de variación de la consigna de O<sub>2</sub> disuelto;

- el coeficiente de escala de la variación de consigna de O<sub>2</sub> disuelto;

10

- el periodo de cálculo, es decir la duración que separa cada nuevo cálculo de consigna de aireación.

En este ejemplo, se han determinado los valores siguientes:

- el porcentaje mínimo admisible de reducción de amonio: 60%

15

- el porcentaje diana de reducción de amonio: 90%

- el valor diana de la relación: 8%

20

- el valor máximo admisible sobre el valor de la relación: 15%

- el intervalo de variación de la consigna de O<sub>2</sub> disuelto: entre 1,0 y 3,5 mgO<sub>2</sub>disuelto/l

- el coeficiente de escala de la variación de consigna de O<sub>2</sub> disuelto: 0,2

25

- el periodo de cálculo: 5 minutos

El operario ha fijado después cual deberían ser las contribuciones máximas de la relación y del %NH<sub>4 reducido</sub> sobre la variación de consigna de oxígeno disuelto:

30

- para una relación superior o igual a la relación máxima que, en este ejemplo, es igual al 15%, la contribución de este parámetro sobre la variación de consigna estaba fijada a -1 mientras que para una relación inferior o igual a la relación diana que, en este ejemplo era igual al 8%, la contribución de este parámetro sobre la variación de consigna estaba fijada a 0. Para una relación comprendida entre el 15% y el 8%, la contribución sobre la variación de consigna estaba comprendida entre -1 y 0 de manera lineal.

35

- para un %NH<sub>4 reducido</sub> inferior o igual al %NH<sub>4 reducido</sub> mínimo que, en este ejemplo es igual al 60%, la contribución de este parámetro sobre la variación de consigna estaba fijada a +1 mientras que para un %NH<sub>4 reducido</sub> superior o igual al %NH<sub>4 reducido</sub> diana que, en este ejemplo, es igual al 90%, la contribución de este parámetro sobre la variación de consigna estaba fijada a 0. Para un %NH<sub>4 reducido</sub> comprendido entre el 60% y el 90%, la contribución sobre la variación de consigna estaba comprendida entre +1 y 0 de manera lineal.

40

La implementación de los medios de medición 13, 14, 15, 16 y 21 ha llevado a determinar en un momento dado los valores siguientes:

45

- Q<sub>NH4 Entrada</sub> = 600 mgN/l

- Q<sub>NH4 Salida</sub> = 120 mgN/l

50

- Q<sub>NO3 Entrada</sub> = 0 mgN/l

- Q<sub>NO3 Salida</sub> = 45 mgN/l

- Q<sub>O2</sub> = 2,5 mgO<sub>2</sub>/l

55

A partir de estos valores, el regulador 17 ha determinado los valores siguientes:

- relación = 9,4%

60

- %NH<sub>4 reducido</sub> = 80%

El regulador 17 ha determinado después a partir de los valores de relación y de %NH<sub>4 reducido</sub> las contribuciones respectivas de estos tamaños sobre la variación de consigna de oxígeno disuelto.

65

Un %NH<sub>4 reducido</sub> del 80% corresponde a una contribución sobre la variación de consigna de oxígeno disuelto de +0,33 y una relación del 9,4% corresponde a una contribución sobre la variación de consigna de -0,2.

La variación de consigna de oxígeno disuelto es igual a la suma de la contribución de cada uno de los factores tenidos en cuenta (es decir aquí +0,13) multiplicado por un coeficiente de escala (aquí 0,2), es decir, en este ejemplo +0,026 mgO<sub>2</sub>/l.

5 La nueva consigna de oxígeno disuelto, que es igual a la suma de la consigna corriente (aquí 2,5 mgO<sub>2</sub>/l) y de la variación de consigna (aquí calculada a +0,026 mgO<sub>2</sub>/l) se calcula entonces por el regulador y es igual a 2,526 mgO<sub>2</sub>/l.

10 C/ Ensayos

La figura 6 presenta los resultados obtenidos durante la implementación de la invención descrita en el ejemplo detallada anteriormente durante 48h. Cabe recordar que el valor diana de la relación era del 8% y la del %NH<sub>4</sub> reducido era del 90%. El valor máximo admisible de la relación era del 15% y el valor mínimo del %NH<sub>4</sub> reducido era del 60%. La consigna O<sub>2</sub> disuelto calculado por el regulador podía variar entre 1,0 y 3,5 mgO<sub>2</sub>/l.

15 En una primer etapa (de t=0 a t=9h), la contribución del %NH<sub>4</sub> reducido sobre la variación de la consigna es superior a la contribución de la relación. En consecuencia, la variación de consigna de O<sub>2</sub> disuelto es positiva, lo que implica que la consigna de O<sub>2</sub> disuelto calculada por el regulador aumenta, hasta alcanzar el valor máximo fijado por el operario, aquí 3,5 mgO<sub>2</sub>/l.

20 En una segunda etapa (de t=9h a t=18h), la contribución de la relación sobre la variación de consigna es superior a la contribución del %NH<sub>4</sub> reducido. En consecuencia, la variación de consigna de O<sub>2</sub> disuelto es negativa, lo que implica que la consigna de O<sub>2</sub> disuelto calculada por el regulador disminuye.

25 En una tercera etapa (de t=18h a t=6h, segundo día), la contribución de la relación se vuelve menos importante que la contribución del %NH<sub>4</sub> reducido, lo que implica que la variación de consigna de O<sub>2</sub> disuelto se anula y después vuelve positiva. En consecuencia, la consigna de O<sub>2</sub> disuelto calculada por el regulador se estabiliza hasta aproximadamente 2,7 mgO<sub>2</sub>/l y después aumenta de nuevo.

30 Finalmente, en una cuarta etapa (a partir de t=9h el segundo día), la contribución del %NH<sub>4</sub> reducido se vuelve nula en la medida en la que el porcentaje ha superado el valor diana fijado por el operario, en este caso un 90%. En consecuencia, la variación de consigna de O<sub>2</sub> disuelto depende únicamente de la contribución de la relación. La relación es ligeramente superior al valor diana, aquí un 8%, por lo tanto la variación de consigna de O<sub>2</sub> disuelto es negativa, lo que implica que la consigna de O<sub>2</sub> disuelto calculada por el regulador disminuye progresivamente.

35 7.3.2 Funcionamiento en modo secuencial

Se describirá ahora un procedimiento de tratamiento de agua por nitrificación-desnitrificación según la invención que funciona en modo secuencial.

Tal procedimiento comprende:

- 45 - una etapa (i) de alimentación con agua del reactor biológico 10;
- una etapa (ii) aireada de nitrificación;
- una etapa (ii') anoxia de desnitrificación;
- 50 - una etapa (iii) de extracción de un agua tratada de dicho reactor.

La etapa (i) de alimentación consiste en introducir agua a tratar que circula en la canalización 11 en el reactor 10 por la entrada 101 hasta llenar el reactor 10.

55 Se inyecta oxígeno en el reactor 10 a través del intensificador de presión 18, la canalización 19 y la rampa 20.

Se observa entonces una actividad de las bacterias AOB en el interior del reactor biológico secuencial 10 durante la etapa (ii) aireada de nitrificación.

60 Durante la etapa (ii) aireada de nitrificación, las bacterias AOB actúan sobre los iones amonio presentes en el agua contenida en el reactor biológico secuencial 10 para formar unos nitritos consumiendo oxígeno.

La etapa (ii) aireada de nitrificación va seguida de una etapa (ii') anoxia de desnitrificación.

65 La etapa (ii') anoxia de desnitrificación puede indiferentemente utilizar bacterias heterótrofas o bien bacterias anammox para degradar los nitritos en dinitrógeno gaseoso durante fases anoxia de desnitrificación. En el primer

caso, se tratará de un procedimiento de tipo “derivación de los nitratos”. En el segundo, se tratará de un procedimiento de tipo “nitrificación-desamonificación”.

5 Cuando el procedimiento es del tipo “derivación de los nitratos”, las bacterias heterótrofas actúan, durante la etapa (ii’) anoxia de desnitrificación, sobre los nitritos presentes en el agua contenida en el reactor biológico secuencial 10 para formar dinitrógeno gaseoso consumiendo el sustrato carbonado presente en el reactor biológico secuencial 10. La etapa (ii’) anoxia de desnitrificación puede comprender una etapa de aportación de carbono en el reactor biológico secuencial 10.

10 Cuando el procedimiento es de tipo “nitrificación-desamonificación”, las bacterias anammox actúan, durante la etapa (ii’) anoxia de desnitrificación, sobre el amonio y sobre los nitritos presentes en el agua para formar dinitrógeno gaseoso.

15 Una vez que se trata el conjunto del volumen de agua contenido en el reactor 10, la agitación dentro del reactor 10 se detiene de manera que el agua que contiene sufra una decantación.

El agua tratada, separada de los lodos activados, se extrae después del reactor a través de la salida 102 y la canalización 12.

20 En este modo de realización, el reactor se llena integralmente durante la etapa (i) de alimentación y el conjunto de su volumen total se trata durante la implementación del procedimiento. En una variante, el volumen total de agua a tratar podrá tratarse por porciones sucesivas. En este caso, se introducirá una porción de volumen de agua a tratar en el reactor durante una primera etapa de alimentación. Esta porción de agua sufrirá entonces una nitrificación y después una desnitrificación. Se llevarán a cabo nuevas etapas de alimentación, de nitrificación aireada y después  
25 desnitrificación anoxia se realizarán a fin de tratar progresivamente el volumen total de agua a tratar susceptible de estar contenido en el reactor. El agua tratada sufrirá después una decantación antes de extraerse del reactor.

30 Durante la implementación del procedimiento, las concentraciones de amonio y de nitratos del agua presente en el reactor se miden en línea y de manera continua mediante sensores previstos para ello, y de la caja de regulación 17. Se conocerá entonces el valor de las mediciones en cada momento a lo largo del procedimiento. En una variante, estas concentraciones podrán medirse de manera intermitente según una frecuencia predeterminada. Se conocerá entonces el valor de las mediciones a una frecuencia de tiempo seleccionada a lo largo del procedimiento. Podrán también no medirse en línea, si no después de la extracción de muestras. En este caso, se extraerán unas muestras mediante un sistema de extracción automático de muestras (extractor automático), de manera continua o en  
35 discontinuo a una frecuencia de muestreo adaptada. Las muestras extraídas se analizarán en el sitio de producción de manera continua o de manera intermitente a una frecuencia de análisis predeterminada adaptada. Se conocerá entonces el valor de las mediciones a una frecuencia de tiempo seleccionada a lo largo del procedimiento.

40 Las concentraciones medidas al final de cada etapa de alimentación permiten obtener una imagen de la composición del agua a tratar en el reactor. Las concentraciones medidas posteriormente durante el tratamiento biológico permiten obtener una imagen de la composición del agua tratada, más precisamente del agua en curso de tratamiento en dicho reactor.

45 La caja de regulación calcula entonces en tiempo real:

- la cantidad de nitratos formados en el reactor ( $Q_{NO_3 \text{ Formados}}$ ) durante la etapa (ii) de nitrificación aireada sustrayendo la concentración de nitratos del agua tratada medida durante la etapa aireada ( $Q_{NO_3 \text{ Agua tratada}}$ ) a la del agua a tratar medida al final de la etapa (i) de alimentación ( $Q_{NO_3 \text{ agua a tratar}}$ );

50 - la cantidad de amonio reducida en el reactor ( $Q_{NH_4 \text{ reducido}}$ ) durante la etapa (ii) de nitrificación aireada sustrayendo la concentración de amonio del agua a tratar medida al final de la etapa (i) de alimentación ( $Q_{NH_4 \text{ agua a tratar}}$ ) a la del agua tratada medida durante la etapa aireada ( $Q_{NH_4 \text{ agua tratada}}$ );

55 - la relación entre la cantidad de nitratos formados ( $Q_{NO_3 \text{ formados}}$ ) y la cantidad de amonio reducida ( $Q_{NH_4 \text{ reducido}}$ ) según la fórmula:

$$\text{Relación} = (Q_{NO_3 \text{ formados}})/(Q_{NH_4 \text{ reducido}})$$

60 - el porcentaje de amonio reducido en dicho reactor según la fórmula:

$$\%NH_4 \text{ reducido} = (NH_4 \text{ reducido})/(NH_4 \text{ agua a tratar})$$

El regulador 17 determina después:

65 - la contribución a la variación de consigna de aportación de oxígeno de la relación, es decir cuál debería ser la variación de consigna de aportación de oxígeno teniendo en cuenta el valor de la relación;

## ES 2 695 055 T3

- la contribución a la variación de consigna de aportación de oxígeno del %NH<sub>4</sub> reducido, es decir cuál debería ser la variación de consigna de aportación de oxígeno teniendo en cuenta el valor del %NH<sub>4</sub> reducido.

5 Se determina después una variación de consigna de aportación de oxígeno  $\Delta O_2$  efectuando la suma de estas dos contribuciones. Esta variación puede ser positiva o negativa.

Se calcula una nueva consigna de aportación de oxígeno añadiendo la variación de consigna de aportación de oxígeno  $\Delta O_2$  a la consigna corriente de aportación de oxígeno en el reactor.

10 El cálculo de la consigna de aportación de oxígeno se realiza en tiempo real. En unas variantes, podrá realizarse según un intervalo de tiempo predeterminado.

15 No se detalla aquí el modo de determinación de la consigna de aportación de oxígeno. Puede ser similar al descrito en el ámbito de un procedimiento de tratamiento que funciona de manera continua.

Sea cual sea el modo de realización implementado, la consigna de aireación proporcionada por el regulador podrá delimitarse a fin de evitar que su valor sea aberrante. Esta consigna podrá tener un umbral máximo y/o un umbral mínimo.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de tratamiento de un agua cargada de nitrógeno en forma de amonio dentro de un reactor biológico (10) por nitrificación-desnitrificación, comprendiendo dicho procedimiento al menos:
- 5 - una etapa (i) de alimentación con dicha agua de dicho reactor biológico (10);
  - una etapa (ii) aireada durante la cual se inyecta oxígeno en el reactor (10);
  - 10 - una etapa (iii) de extracción de un agua tratada de dicho reactor;
- caracterizado por que comprende:
- 15 - una etapa de determinación de una información representativa de la cantidad de nitratos formados en dicho reactor;
  - una etapa de determinación de una información representativa de la cantidad de amonio reducida en dicho reactor;
  - una etapa de cálculo de la relación entre dicha información representativa de la cantidad de nitratos formados en dicho reactor y dicha información representativa de la cantidad de amonio reducida en dicho reactor;
  - 20 - una etapa que consiste en determinar el porcentaje de amonio reducido en dicho reactor;
- llevándose a cabo dichas etapas de determinación de manera continua o intermitente según una frecuencia predeterminada,
- 25 determinándose la aportación de oxígeno en dicho reactor durante dicha etapa (ii) aireada en función de dicha relación entre dicha información representativa de la cantidad de nitratos formados en dicho reactor y dicha información representativa de la cantidad de amonio reducida en dicho reactor y en función de dicho porcentaje de amonio reducido en dicho reactor.
- 30
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que comprende una etapa de determinación de una variación de consigna de aportación de oxígeno en función de dicha relación entre dicha información representativa de la cantidad de nitratos formados en dicho reactor y dicha información representativa de la cantidad de amonio reducida en dicho reactor y en función de dicho porcentaje de amonio reducido en dicho reactor, y una etapa de determinación de una nueva consigna de aportación de oxígeno que corresponde a la suma de una consigna corriente de aportación de oxígeno en dicho reactor y de dicha variación de consigna de aportación de oxígeno.
- 35
3. Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado por que comprende una etapa de determinación de una primera contribución a dicha variación de consigna de aportación de oxígeno de dicha relación entre dicha información representativa de la cantidad de nitratos formados en dicho reactor y dicha información representativa de la cantidad de amonio reducida en dicho reactor, y una etapa de determinación de una segunda contribución a dicha variación de consigna de aportación de oxígeno de dicho porcentaje de amonio reducido en dicho reactor, siendo dicha variación de consigna de aportación de oxígeno función de dichas primera y segunda contribuciones.
- 40
- 45
4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que comprende una etapa de seguimiento de la evolución en el tiempo del valor de dicha relación entre dicha información representativa de la cantidad de nitratos formados en dicho reactor y dicha información representativa de la cantidad de amonio reducida en dicho reactor, inyectándose la cantidad de oxígeno en dicho reactor durante dicha etapa (ii) aireada reducida cuando el valor de dicha relación aumenta.
- 50
5. Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado por que comprende una etapa de comparación del valor de dicho porcentaje de amonio reducido en dicho reactor con un valor umbral, aumentándose la cantidad de oxígeno inyectado en dicho reactor durante dicha etapa (ii) aireada cuando el valor de dicho porcentaje es inferior a dicho valor umbral.
- 55
6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que dicha etapa de determinación de una información representativa de la cantidad de nitratos formados en dicho reactor comprende una etapa de medición de la concentración de nitratos de dicha agua y de dicha agua tratada en dicho reactor, o una etapa de medición de la concentración de nitratos de dicha agua aguas arriba de dicho reactor y una etapa de medición de la concentración de nitratos del agua tratada en o aguas abajo de dicho reactor.
- 60
7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que dicha etapa de determinación de una información representativa de la cantidad de amonio reducida en dicho reactor comprende una etapa de medición de la concentración de amonio de dicha agua y de dicha agua tratada en dicho reactor, o una
- 65

etapa de medición de la concentración de amonio de dicha agua aguas arriba de dicho reactor y una etapa de medición de la concentración de amonio de dicha agua tratada en o aguas abajo de dicho reactor.

- 5 8. Procedimiento de tratamiento según una cualquiera de las reivindicaciones 6 o 7, caracterizado por que dichas etapas de medición de concentración de nitratos y/o de amonio se llevan a cabo en línea y de manera continua.
9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por que la aportación de oxígeno en dicho reactor se determina según un intervalo de tiempo predeterminado.
- 10 10. Instalación de tratamiento de agua mediante la implementación de un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizada por que comprende:
- un reactor biológico (10) que presenta una entrada de agua a tratar (101) y una salida de agua tratada (102);
  - 15 - medios de medición de una información representativa de la concentración de amonio colocados en dicho reactor (10), o aguas arriba (13) de dicha entrada (101) y en aguas abajo (14) de dicha salida (102) o en dicho reactor (10);
  - medios de medición de una información representativa de la concentración de nitratos colocados en dicho reactor (10), o aguas arriba (15) de dicha entrada (101) y aguas abajo (16) de dicha salida (102) o en dicho reactor (10);
  - 20 - medios de cálculo (17) de una reducción de amonio de un agua que circula en dicho reactor a partir de al menos algunas de dichas informaciones;
  - medios de cálculo (17) de una cantidad de nitratos formada en dicha agua que circula en dicho reactor a partir de al menos algunas de dichas informaciones;
  - 25 - medios de cálculo (17) de la relación entre dicha cantidad de nitratos formados y dicha cantidad de amonio reducida;
  - 30 - medios de cálculo (17) de un porcentaje de reducción de amonio del agua que circula en dicho reactor a partir de al menos algunas de dichas informaciones;
  - medios de inyección de oxígeno (18, 19, 20) en dicho reactor (10);
  - 35 - medios de determinación (17) de la aportación de oxígeno en dicho reactor (10) a través de dichos medios de inyección (18, 19, 20) a partir de dicha relación y de dicho porcentaje de reducción.

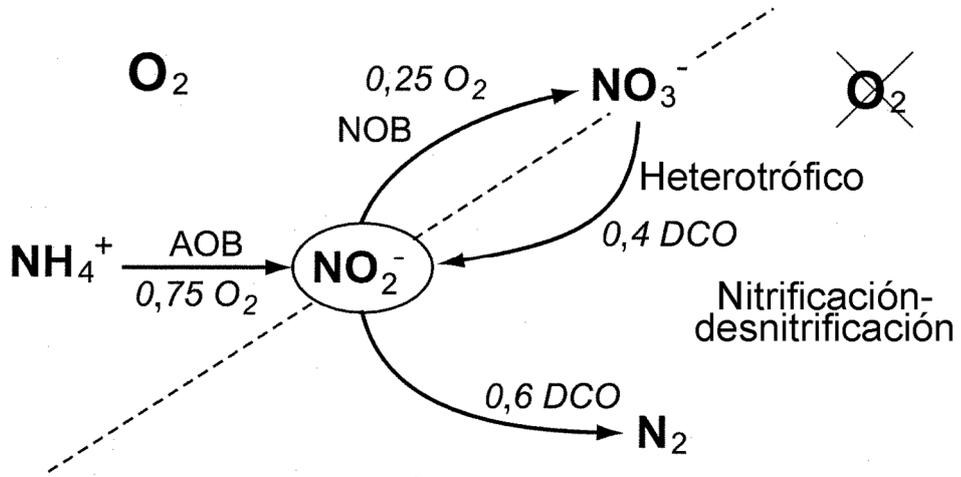


Fig. 1

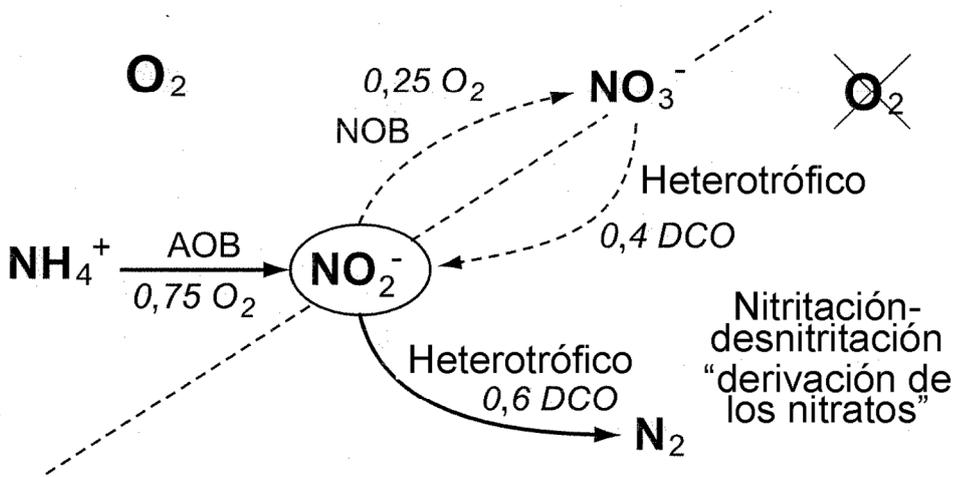


Fig. 2

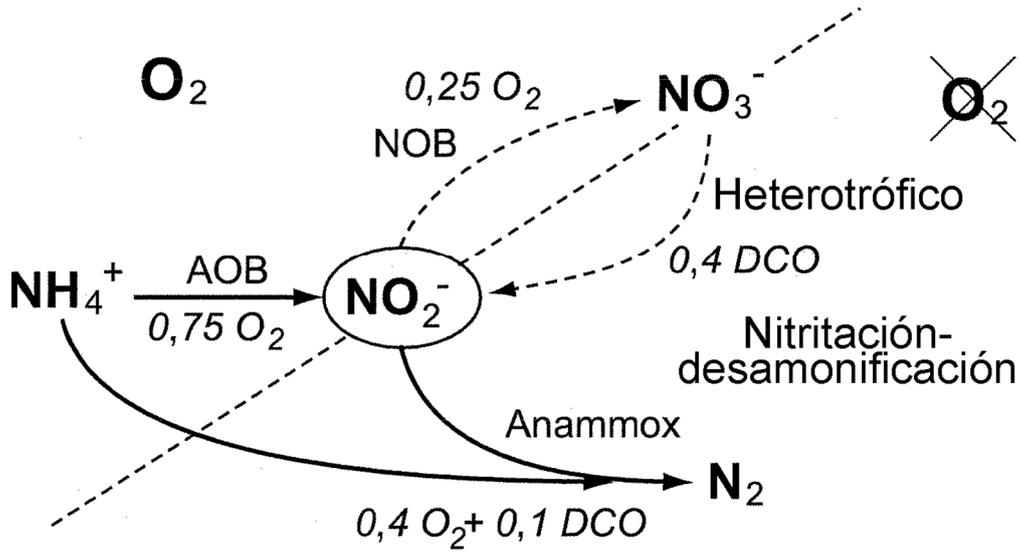


Fig. 3

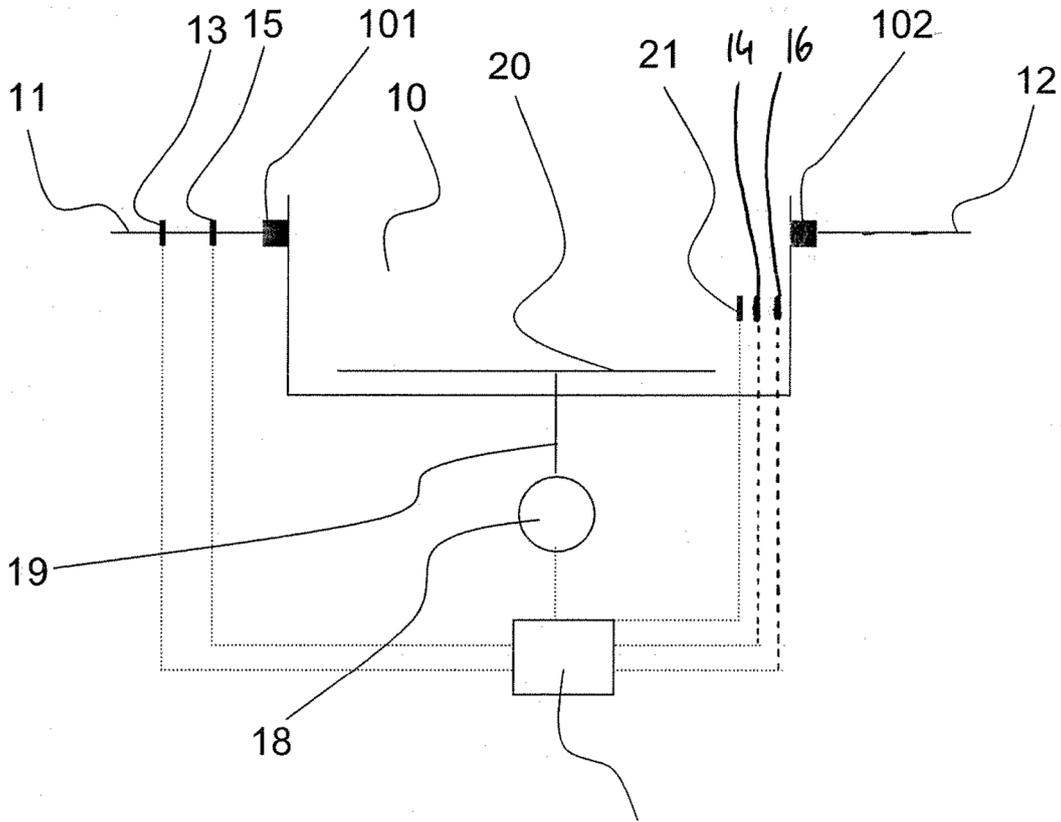


Fig. 4

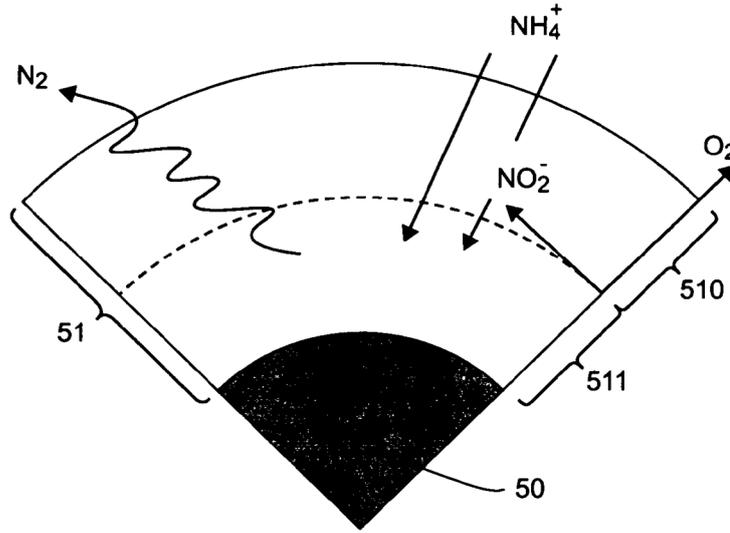


Fig. 5

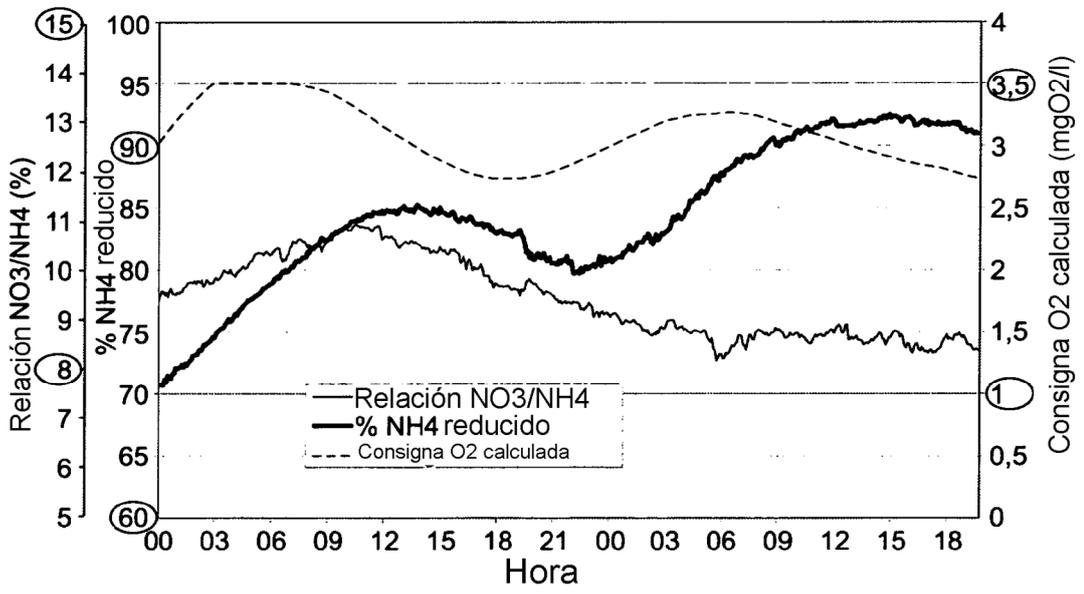


Fig. 6