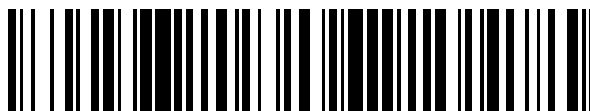


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 567 568**

51 Int. Cl.:

**C02F 3/30** (2006.01)

**C02F 3/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.10.2008 E 08864260 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.01.2016 EP 2197800**

54 Título: **Procedimiento e instalación de tratamiento de efluentes que contienen nitrógeno, en un reactor biológico secuencial**

30 Prioridad:

**09.10.2007 FR 0707080**

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

**25.04.2016**

73 Titular/es:

**DEGREMONT (100.0%)  
183, AVENUE DU 18 JUIN 1940  
92500 RUEIL-MALMAISON, FR**

72 Inventor/es:

**GONZALEZ OSPINA, ADRIANA**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 567 568 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 de efluentes que contienen nitrógeno, en un reactor biológico secuencial

5 La invención se refiere a un procedimiento de tratamiento de efluentes que contienen nitrógeno en forma de amonio, que utiliza un reactor biológico secuencial, comprendiendo el procedimiento

- una primera etapa aireada, durante la cual tiene lugar una oxidación total o parcial del amonio en nitritos,

10 - seguida de una segunda etapa no aireada durante la cual los nitritos producidos y el amonio se convierten en nitrógeno gaseoso,

procedimiento según el cual se ejerce una presión de selección bacteriana, favorable al desarrollo y a la actividad de las bacterias nitrificantes, para realizar en el mismo reactor y de manera alterna las dos etapas de tratamiento, y se realiza a golpes o picos de carga amoniacal gracias a la introducción sucesiva de las fracciones de volumen conocidas del efluente a tratar en el reactor biológico,

15

siendo vertido un volumen de efluente a tratar en un ciclo completo en el reactor por fracciones en volumen sucesivas, siendo el ciclo completo de tratamiento dividido en sub-ciclos sucesivos, comprendiendo cada sub-ciclo una fase de alimentación por una fracción de volumen, después una fase de aireación para provocar la nitrificación, y después una fase de anoxia durante la cual la aireación se detiene.

20

Un procedimiento del tipo definido anteriormente es conocido según la solicitud de patente FR 2 889 180 A1. El procedimiento de acuerdo con este documento permite transformar el amonio de manera casi exclusiva en nitritos durante una primera fase oxidativa aireada, antes del paso en nitrógeno gaseoso durante una segunda fase de desnitrificación anóxica. Sin embargo, la segunda fase corresponde a una reducción heterótrofa de los nitritos en nitrógeno gaseoso y necesita el aporte de un sustrato carbonado fácilmente biodegradable, generalmente introducido en forma de metanol o de etanol, lo que conlleva un coste de explotación que es deseable reducir.

25

La invención se refiere más particularmente al tratamiento de las aguas de origen urbano, industrial o agroalimentario, o de residuos acuosos que provienen de la deshidratación de lodos digeridos, del tratamiento de lodos por oxidación húmeda, de los condensados de secado de lodos, de los lixiviados de vertederos, estiércoles, o cualquier instalación que debe tratar con agua que contenga amonio, sea cual sea su concentración y su temperatura.

30

La ausencia de control en la calidad de los residuos de agua procedentes de la actividad humana, agrícola o industrial puede generar, a corto o largo plazo, perjuicios importantes sobre la salud y el medio ambiente. Para preservar el medio natural, se han impuesto unas reglamentaciones más severas para limitar principalmente los residuos de nitrógeno y de fósforo.

35

En las plantas de depuración, las contaminaciones carbonadas y nitrogenadas de las aguas usadas son principalmente eliminadas por medios biológicos. Esta vía convencional se basa en la capacidad de los microorganismos para eliminar la contaminación mediante la asimilación y por biodegradación, según diferentes procedimientos resumidos a continuación.

40

1/ Nitrificación convencional

En el caso del nitrógeno, se distinguen esencialmente los tratamientos por nitrificación y desnitrificación. Durante la nitrificación, el amonio se oxida en condiciones aireadas por unas bacterias autótrofas según dos etapas: en primer lugar en nitritos por unas bacterias denominadas oxidadoras del amonio AOB (Ammonium-Oxidizing Bacteria), después en nitratos por unas bacteria denominadas oxidadoras de los nitritos NOB (Nitrite-Oxidizing Bacteria). Durante la desnitrificación, los nitratos producidos son finalmente reducidos en nitrógeno gaseoso en condiciones de anoxia por una asociación de bacterias heterótrofas, que necesitan carbono fácilmente biodegradable.

50

El principal problema relacionado con el tratamiento convencional del nitrógeno por nitrificación y desnitrificación está causado en particular por:

55

\* las altas necesidades de oxígeno para la oxidación del amonio en nitratos (4,57 mgO<sub>2</sub>/mgN)

60

\* la necesidad de volúmenes de reacción importantes para mantener una edad elevada de lodos y permitir el desarrollo de los microorganismos nitrificantes de bajo índice de crecimiento,

65

\* la ausencia o la limitación de carbono biodegradable disponible para la desnitrificación, lo que impone la utilización de una fuente externa de reactivo carbonado con unas necesidades elevadas (2,86 mgC/mgN).

65

El coste adicional de este tratamiento convencional es en particular poco ventajoso cuando los efluentes a tratar están caracterizados por unas relaciones tipológicas bajas de DCO/N (DCO = demanda química de oxígeno; N = nitrógeno).

5 2/ Nitrificación parcial o nitrificación = Derivación de los nitratos

Para minimizar el impacto del tratamiento por vía biológica convencional, la nitrificación parcial y la desnitrificación heterótrofa a partir de nitritos se ha propuesto y descrito en los documentos EP 0 826 639 A1 y FR 2 889 180 A1, ya citados. Este tratamiento denominado también Derivación de los nitratos, permite transformar el amonio en nitritos durante una primera fase oxidativa aireada, después pasar directamente en nitrógeno gaseoso durante una segunda fase de desnitrificación anóxica. La acumulación de los nitritos se obtiene gracias al mantenimiento de las condiciones de realización tales como las bajas concentraciones de oxígeno disuelto, el pH, una temperatura elevada y altas concentraciones de amonio. Es por ello que inicialmente este tipo de tratamiento fue propuesto para unos efluentes concentrados de tipo centrados de digestión.

Con respecto al tratamiento biológico convencional descrito anteriormente, aproximadamente el 25% de la energía de aireación, el 40% de las necesidades de carbono biodegradable y el 25% de la producción de lodos se pueden ahorrar con este tipo de tratamiento.

Los mecanismos descritos en el documento EP 0 826 639 A1 conllevan una lixiviación específica de la biomasa responsable de la oxidación de los nitritos en nitratos (NOB) mediante la utilización de un reactor quimioestático sin retención de biomasa (el caudal de salida es igual al caudal de entrada) en el que la edad de los lodos es fijada por el tiempo de residencia hidráulica. El lixiviado es en parte físico, mediante evacuación de la biomasa, y en parte debido a una inactivación de las bacterias debida a los parámetros de funcionamiento.

En contraste con este sistema, el documento FR 2 889 180 A1 ha mostrado la ventaja de utilizar los reactores biológicos secuenciales para la nitrificación parcial introduciendo unas secuencias de tratamiento específicas con una duración limitada, que permiten ejercer de manera estable, por unos picos o a golpes de carga amoniacal, una presión de selección favorable al desarrollo de la biomasa responsable de la oxidación del amonio en nitritos (AOB) y para tratar unas cargas más importantes gracias a la retención de biomasa en el reactor biológico secuencial.

En los dos casos, la reducción heterótrofa de los nitritos en nitrógeno gaseoso necesita, para tener lugar, el aporte de un sustrato carbonado fácilmente biodegradable.

35 3/ Nitritación y reacción Anammox = desamonificación

Para limitar sustancialmente la utilización de sustratos carbonados exógenos, incluso reducirlos completamente, también es posible el tratamiento del nitrógeno, gracias a una reacción totalmente autótrofa, en la que la oxidación del amonio tiene lugar utilizando los nitritos como receptores de electrones en condiciones de anoxia estricta.

En esta solución, también denominada "desamonificación", es necesario oxidar en primer lugar una parte del amonio en nitritos (por nitritación) y después provocar la reacción de desamonificación a partir del amonio restante y de los nitritos producidos para formar el nitrógeno gaseoso (N<sub>2</sub>). El punto sensible de esta reacción es el mantenimiento de una relación estabilizada nitritos/amonio durante la primera etapa de tratamiento. Las ganancias con respecto al tratamiento biológico convencional del nitrógeno están asociadas con los ahorros sobre las necesidades de energía de aireación, que se reducen un 60%, y con el hecho de que ya no es necesario carbono fácilmente biodegradable para la desnitrificación.

Se han propuesto varias realizaciones para esta aplicación utilizando uno o dos reactores (WO 00 5176 y EP 931 023 B1). Cuando se utilizan dos reactores para efectuar el tratamiento, la etapa de nitritación se realiza habitualmente en un reactor de tipo quimioestático sin retención de biomasa con, como límite principal, la estabilidad de la producción de los nitritos, que no se puede garantizar fácilmente ya que depende en gran medida, en este sistema de la concentración, de bicarbonatos del efluente. Además, las cargas máximas admisibles por este procedimiento están limitadas por un tiempo de estancia hidráulica de 1 a 2 días.

Teniendo en cuenta los bajos porcentajes de crecimiento de bacterias Anammox, la reacción de desamonificación se realiza en unos reactores fluidizados con biopelícula o en unos reactores biológicos secuenciales en los que se favorece la retención de biomasa.

El documento WO2007/033393 A1 describe un método de regulación basado en el pH con el que es posible tratar el nitrógeno en paralelo, o de manera simultánea, por nitración y desamonificación en un reactor biológico secuencial. Los ciclos de tratamiento se caracterizan por una alimentación continua durante las fases de reacción y por una aireación intermitente controlada por el pH. El funcionamiento de la aireación por intermitencia se regula en función de los valores teóricos de pH para los cuales las variaciones mínimas y máximas son de 0,02 y 0,05 unidades.

El inconveniente de este sistema reside en la estrategia adoptada para la alimentación de efluentes, que no resulta

compatible con la estabilidad de la relación nitritos/amonio ( $N-NO_2:N-NH_4$ ) requerida para la desamonificación y las velocidades de reacción típicas de las bacterias AOB. Con una alimentación continua, es difícil garantizar un funcionamiento estabilizado. En efecto, la adición continua de amonio parece incompatible con una conversión a un nivel del 50% del amonio durante la fase de aireación, y el mantenimiento durante toda la fase de no aireación de una relación estable  $N-NO_2:N-NH_4$ . Esto se refuerza por el hecho de que el estrecho intervalo de pH fijado para regular la duración de la introducción o de la detención del aire conducirá sustancialmente hacia etapas irregulares de aireación y de anoxia, que potencialmente podrán conducir a disfunciones importantes durante el tratamiento.

Exposición de la invención

Para paliar a estos inconvenientes, y a fin de mejorar la solución descrita en el documento FR 2 889 180 A1, la presente invención propone tratar los efluentes que contienen amonio por nitratación y desamonificación en un reactor biológico secuencial de ciclos fraccionados en el que las fases de reacción en medio aireado y no aireado tienen una duración limitada y están reguladas en función al menos de la conductividad medida en el reactor biológico, y preferentemente también de la concentración en oxígeno disuelto medida en el reactor.

Según la invención, el procedimiento de tratamiento de efluentes que contienen nitrógeno en forma de amonio, utilizando un reactor biológico secuencial, procedimiento en el que:

- un volumen de efluente a tratar en un ciclo completo se introduce por fracciones de volumen sucesivas en el reactor biológico, siendo cada fracción de volumen tratada durante un sub-ciclo, permitiendo la introducción sucesiva de las fracciones de volumen ejercer una presión de selección bacteriana favorable al desarrollo y a la actividad de las bacterias nitrificantes a golpes de carga amoniacal,

- cada sub-ciclo comprende una fase de alimentación por una fracción de volumen y, de manera alterna, dos etapas de tratamiento, a saber:

- una primera etapa aireada, durante la cual tiene lugar una oxidación total o parcial del amonio en nitritos,

- seguida de una segunda etapa no aireada, en anoxia, durante la cual los nitritos producidos y el amonio se convierten en nitrógeno gaseoso,

está caracterizado por que:

- durante la primera etapa aireada la concentración de oxígeno disuelto en el reactor biológico se mantiene entre 0,1  $mgO_2/L$  y 0,6  $mgO_2/L$ ,

- la relación  $N-NO_2:N-NH_4$  se ajusta para estar comprendida entre 0,9 y 1,5 al principio de la segunda etapa no aireada,

- y la etapa no aireada se realiza por desamonificación, sin aporte de sustrato carbonado.

Preferentemente, la primera etapa aireada se ajusta en función de al menos la conductividad (X) medida en el reactor biológico. Ventajosamente, la primera etapa aireada se ajusta en función también de la concentración de oxígeno disuelto medida en el reactor biológico.

Durante la primera etapa aireada, la concentración de oxígeno disuelto se puede mantener entre dos valores umbral por detención o puesta en marcha del suministro de aire en el reactor biológico.

La duración de la primera etapa aireada se controla ventajosamente por la medición de la conductividad (X) en el reactor biológico, y el suministro en aire se detiene si se alcanza un valor umbral (límite superior) de conductividad antes de una duración fijada.

Según un primer modo de realización, en la primera etapa aireada, sólo una parte del flujo de amonio aportado por un volumen de efluente a tratar es transformada en nitritos, siendo la parte restante del flujo de amonio suficiente para que, en la segunda etapa no aireada, los nitritos producidos y el amonio no oxidado durante la primera etapa se conviertan en nitrógeno gaseoso.

La parte del flujo de amonio transformada en nitritos al final de la primera etapa aireada está comprendida entre el 40 y el 60% del flujo aportado.

Según un segundo modo de realización, durante la primera etapa aireada, el flujo de amonio aportado por un volumen de efluente a tratar está completamente oxidado de nitritos, y al principio de la segunda etapa no aireada, se realiza un aporte suplementario de efluente a tratar que contiene amonio en proporción del flujo de nitritos producidos en la primera etapa aireada para que la relación  $N-NO_2:N-NH_4$  esté comprendida entre 0,9 y 1,5.

El aporte suplementario de efluente amoniacal se puede realizar en proporción sustancialmente igual al flujo de los nitritos producidos, de manera que la relación  $N-NO_2:N-NH_4$  sea sustancialmente igual a 1.

5 El aporte suplementario de efluente amoniacal a introducir al principio de la segunda etapa no aireada está ventajosamente determinado teniendo en cuenta un rendimiento de oxidación del amonio comprendido entre el 75% y el 98% y una relación  $N-NO_2:N-NH_4$  a mantener para la desamonificación entre 0,9 y 1,5.

10 El aporte suplementario de efluente a introducir al principio de la segunda etapa no aireada puede representar entre el 50% y el 110% del volumen de efluente inicial.

El tiempo de alimentación con efluente a tratar representa generalmente del 7 al 10% de la duración total del ciclo de tratamiento.

15 El número y la duración de los sub-ciclos y de las fases de los sub-ciclos pueden ser ajustados gracias a una serie de mediciones en tiempo real del caudal, del oxígeno disuelto, de la conductividad y del pH en el efluente a tratar, en el reactor biológico y en el residuo.

El número de sub-ciclos está generalmente comprendido entre 2 y 8 por ciclo.

20 La duración de un ciclo de tratamiento puede estar comprendida entre 4 y 8 horas.

La concentración de oxígeno se mide en línea en el reactor biológico secuencial con la ayuda de una sonda, y se mantiene entre dos valores umbral fijados, y se gestiona por un ordenador o controlador que, en tiempo real, integra las mediciones y permite detener o iniciar el suministro de aire en el reactor.

25 Ventajosamente, se toman en consideración unas mediciones en línea de la concentración amoniacal y de la conductividad como indicadores de conversión del amonio.

30 La concentración de  $N-NH_4$  en el reactor puede ser medida indirectamente por la conductividad y directamente por una sonda amoniacal específica, y el flujo amoniacal en el efluente a tratar por la conductividad y el caudal.

Preferentemente, el procedimiento utiliza las informaciones de diferentes sensores situados:

35 - en el efluente a tratar (caudal Q, conductividad X, temperatura T, pH) para determinar la carga de nitrógeno a tratar y el número de secuencias de tratamiento a efectuar,

40 - en el reactor biológico secuencial (oxígeno disuelto  $O_2$ , conductividad X, temperatura T, pH y concentración amoniacal) para controlar el desarrollo del proceso biológico durante las fases de aireación y no aireación y determinar su duración,

- en el agua residual (conductividad X, caudal Q) para determinar el rendimiento del tratamiento y ajustar de manera retroactiva el procedimiento,

45 estando estos sensores conectados a un ordenador o controlador que integra las mediciones en tiempo real y permite así el desarrollo de los ciclos de tratamiento en modo automático.

Descripción breve de los dibujos

50 En estos dibujos:

La figura 1 es una sección vertical esquemática de una instalación conforme a la invención con un reactor secuencial biológico.

55 La figura 2 es un diagrama que ilustra las variaciones de las concentraciones de  $N-NO_2$ ,  $N-NH_4$ ,  $N_2$  en el reactor biológico en función del tiempo, según un primer modo de realización.

La figura 3 es un diagrama que ilustra las variaciones de la concentración de oxígeno disuelto y de la conductividad en función del tiempo detallado en las abscisas.

60 La figura 4 es un diagrama que ilustra las variaciones de las concentraciones en  $N-NO_2$ ,  $N-NH_4$ ,  $N-NO_3$  y de la concentración de oxígeno disuelto, en el reactor biológico en función del tiempo detallado en las abscisas.

65 La figura 5 es un diagrama, parecido al de la figura 4, que ilustra las variaciones de las concentraciones de  $N-NO_2$ ,  $N-NH_4$ ,  $N-NO_3$  en función del tiempo, y de la relación nitrito/amonio en el reactor biológico en función del tiempo.

La figura 6 es un diagrama, parecido al de la figura 2, que ilustra las variaciones de las concentraciones de  $N-NO_2$ ,

N-NH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub> en el reactor biológico en función del tiempo, según un segundo modo de realización.

La figura 7 es un diagrama que ilustra las variaciones de las concentraciones de N-NO<sub>2</sub>, N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>, así como las variaciones de la conductividad en el reactor biológico en función del tiempo, según el segundo modo de realización.

5 La figura 8 es un diagrama que ilustra, para un ejemplo de realización, las variaciones de las concentraciones de nitrógeno en mg/l (N-NH<sub>4</sub> entrada, N-NO<sub>2</sub> salida, N-NH<sub>4</sub> salida y N-NO<sub>3</sub> salida) detalladas en las ordenadas, en función del tiempo expresado en días, detallado en las abscisas, y

10 La figura 9 es un diagrama que ilustra, para el mismo ejemplo que la figura 8, la variación de la concentración de nitrógeno (en mg/l) detallada en el eje de las ordenadas situado a la izquierda, y del rendimiento de eliminación del nitrógeno (en %) detallado en el eje de las ordenadas situado a la derecha, en función del tiempo expresado en días, detallado en las abscisas.

15 Descripción detallada de la invención

Refiriéndose a la figura 1 de los dibujos, se puede observar que la instalación de tratamiento del amonio por nitrificación y desamonificación comprende un reactor biológico secuencial 1, en forma de una cubeta con, corriente arriba, una cubeta tampón 2 en la que se almacena, si es necesario, el efluente a tratar.

20 La instalación comprende también un conjunto de equipamientos, asociado al reactor 1 y a la cubeta 2, descrito a continuación:

25 - un dispositivo de alimentación 3 del reactor biológico de efluente, en particular en forma de una bomba cuya aspiración está unida a la parte inferior de la cubeta 2 y cuya expulsión fluye por un conducto que desemboca en el reactor 1;

30 - unos medios de aireación 4, en particular formados por unos tubos, colocados en el fondo del reactor 1 y unidos a una fuente de aire bajo presión 5 por medio de una electroválvula 6,

- al menos un medio de agitación mecánica 7, en el reactor 1;

35 - un sistema de evacuación de agua tratada, a partir del reactor 1, constituido en particular de una bomba 8 y de un conducto 9 que forma un tubo sumergible hasta un nivel 10 en el reactor 1;

- y un sistema de extracción de lodos en exceso, si es necesario, con la ayuda de una bomba 11 cuya aspiración está unida a la parte inferior del reactor 1 y cuya expulsión fluye por un conducto de residuos.

40 En el reactor 1 las fracciones de efluente a tratar se suministran de manera sucesiva con la ayuda del dispositivo 3. Se añaden al volumen biológico del reactor definido por el nivel mínimo 10 hasta alcanzar un nivel máximo 12. El volumen hidráulico admitido durante un ciclo de tratamiento determina la capacidad máxima del reactor; este volumen está comprendido entre el nivel mínimo 10 y el nivel máximo 12.

45 Después de la realización de diferentes secuencias (sub-ciclos) de tratamiento y de una etapa de decantación, se realiza el vaciado del agua tratada, gracias al sistema de evacuación dedicado a ello, del nivel 12 hasta el nivel 10. Los lodos producidos en exceso son evacuados, si es necesario, al final del ciclo de tratamiento con la ayuda del sistema dedicado 8 y 9.

50 El procedimiento utiliza las informaciones de diferentes sensores situados:

- en el efluente a tratar: sensor 13 para el caudal Q; sensor 14 para la conductividad X; sensor 15 para la temperatura T, sensor 16 para el pH, a fin de determinar la carga de nitrógeno a tratar y el número de secuencias de tratamiento a efectuar,

55 - en el reactor biológico secuencial: sensor 17 para la conductividad X; sensor 18 para el oxígeno disuelto O<sub>2</sub>; sensor 19 para la temperatura T; sensor 20 para el pH y sensor 21 para la concentración amoniacal, a fin de controlar el desarrollo del proceso biológico durante las fases de aireación y no aireación y determinar su duración,

60 - en el agua de desecho: sensor 22 para la conductividad X; sensor 23 para el caudal Q,

para determinar el rendimiento del tratamiento y ajustar de manera retroactiva el procedimiento.

Estos sensores están conectados a un ordenador o controlador C que integra las mediciones en tiempo real y permite así el desarrollo de los ciclos de tratamiento en modo automático.

65 Como se ha expuesto anteriormente, la reacción de desamonificación utiliza unas bacterias específicas de bajo

índice de crecimiento y necesita unas condiciones particulares para tener lugar. Así, la etapa preliminar de nitrificación es importante para el mantenimiento del tratamiento por desamonificación ya que determina la proporción de dos sustratos de la reacción, el amonio y los nitritos.

5 La invención propone un sistema que combina un reactor biológico 1 capaz de mantener la biomasa para limitar al máximo las pérdidas de actividad por lixiviación de los lodos, y un sistema de gestión fuerte para fiabilizar el tratamiento.

10 Según la invención, el tratamiento del amonio realizado en el reactor biológico secuencial 1 se efectúa según un ciclo de tratamiento (figuras 2 y 6) fraccionado en varios sub-ciclos de alimentación/aireación/anoxia. En las figuras 2 y 6 de los dibujos, las fases de cada sub-ciclo están indicadas por unas indicaciones completas o unas siglas: ALIM (para alimentación), AER (para aireación), ANOX (para anoxia). El número y la duración de los sub-ciclos se ajustan gracias a una serie de mediciones en tiempo real (conductividad, oxígeno disuelto, caudal, pH) en el efluente a tratar, en el reactor y en el residuo. El número de sub-ciclos varía habitualmente entre 2 y 8 por ciclo.

15 Cada ciclo se termina por una fase de decantación, seguida de una fase de vaciado.

20 Esta gestión permite, en particular, evitar unos fenómenos de inhibición de las bacterias Anammox que se deberían a una fuerte concentración de nitritos, permitiendo al mismo tiempo establecer unas condiciones de mantenimiento estable de la relación (N-NO<sub>2</sub>:N-NH<sub>4</sub>).

25 El volumen del efluente a tratar en un ciclo de tratamiento, cuya duración está comprendida entre 4 y 8 horas, se vierte en el reactor que contiene la biomasa depuradora por fracciones de volumen sucesivas con el fin de ejercer una presión de selección favorable para el desarrollo y para la actividad de las bacterias nitrificantes. El volumen del efluente introducido se determina según la carga a tratar, calculada en función del caudal Q y de la conductividad X del efluente. El tiempo de alimentación del efluente a tratar representa sólo del 7 al 10% de la duración total del ciclo de tratamiento.

30 Primer modo de realización

Según un primer modo de realización, el tratamiento se desarrolla de la siguiente manera.

35 Durante la primera etapa aireada de un sub-ciclo, durante la cual tiene lugar la oxidación en nitritos, sólo se oxida en nitritos una parte del flujo de amonio aportado por un volumen de efluente a tratar.

La gestión propuesta permite alcanzar y mantener estable durante esta etapa aireada la relación nitritos/amonio necesaria para la desamonificación. Esta gestión se ilustra en la figura 2, en la que el eje de las ordenadas está graduado en porcentaje de N.

40 Las curvas 24 en línea continua representan la variación de la concentración de N-NH<sub>4</sub>, mientras que las curvas en línea discontinua 25 representan la variación de la concentración de N-NO<sub>2</sub>. Durante el aporte de una fracción de volumen en el reactor, la concentración de nitrógeno N se debe al 100% al amonio, de manera que la curva 24 comienza en la graduación 100 al final de la fase de alimentación (ALIM) que se efectúa con aireación. La curva 24 es decreciente.

45 La curva 25, que corresponde a la proporción de N debido a los nitritos NO<sub>2</sub>, comienza poco tiempo después del inicio de la aireación, y es creciente. Las dos curvas 24 y 25 se cruzan, al final de la fase de aireación, en un punto A cuya ordenada corresponde a una relación N-NO<sub>2</sub>:N-NH<sub>4</sub> comprendida entre 0,9 y 1,5. Según el esquema de la figura 2, el punto A se sitúa aproximadamente al 50%, es decir a una relación N-NO<sub>2</sub>:N-NH<sub>4</sub> próxima a 1.

50 La aireación se detiene entonces y comienza la segunda etapa no aireada, en anoxia, durante la cual el amonio se oxida utilizando los nitritos como aceptores de electrones, para dar nitrógeno gaseoso. La curva 26, sustancialmente rectilínea, ilustra la disminución de la concentración en nitrógeno en el reactor 1 durante la fase de anoxia, anulándose la concentración, o siendo cerca del valor nulo, al final de la fase de anoxia.

55 Se termina entonces el primer sub-ciclo y puede comenzar un segundo sub-ciclo por una alimentación con una nueva fracción de volumen.

60 El número de sub-ciclos puede variar entre dos y ocho por ciclo. En el ejemplo de la figura 2, se prevén tres sub-ciclos.

65 La figura 3 es un diagrama que ilustra, en función del tiempo anotado en las abscisas, las variaciones de la concentración de oxígeno disuelto según una curva 30, y las variaciones de la conductividad según una curva β. La conductividad es proporcional a la suma de las formas nitrogenadas iónicas (amonio, nitritos y nitratos), aumenta con el estado de oxidación de los compuestos de nitrógeno. La conductividad varía en el sentido inverso de la concentración de oxígeno disuelto, y constituye un parámetro que permite seguir y gestionar bien el tratamiento.

5 La figura 4 es un diagrama que ilustra la oxidación parcial del amonio en nitritos durante la primera etapa aireada o la etapa de nitrificación, por control del oxígeno disuelto. El ejemplo ilustrado corresponde a una concentración media del efluente de 660 mg N-NH<sub>4</sub>/l. El tiempo se detalla en las abscisas. En las ordenadas, en la escala de la izquierda, se detalla el contenido de nitrógeno expresado en mg/l mientras que en la escala de la derecha se detalla el contenido de oxígeno disuelto O<sub>2</sub> (expresado en mg/l). La curva 27 ilustra la evolución de la concentración N-NO<sub>2</sub>, que permanece a aproximadamente 300 mg/l. La curva 28 representa la evolución del contenido en N-NH<sub>4</sub> que permanece comprendido entre 250 y 300 mg/l. La curva 29 ilustra la evolución de N-NO<sub>3</sub> cuya concentración permanece baja, inferior a 50 mg/l, lo que muestra que la oxidación de nitratos es prácticamente inexistente.

10 La curva 30 ilustra las variaciones de la concentración de oxígeno disuelto. Las partes crecientes de esta curva corresponden a las fases de aireación y las partes descendientes a las fases de anoxia.

15 La figura 5 es un diagrama parecido al de la figura 4 con, en las abscisas, el tiempo, y en el eje de las ordenadas, situado a la izquierda, el contenido de nitrógeno expresado en mg/l. Se vuelven a encontrar las curvas 27, 28 y 29 de la figura 4. En el eje de las ordenadas situado en la derecha, se detallan los valores de la relación N-nitritos(N-amonio (N-NO<sub>2</sub>:N-NH<sub>4</sub>)). Los puntos de medición de la relación N-nitritos/N-amonio están designados por la referencia 31 y está comprendidos entre 1 y 1,3.

20 Durante cada sub-ciclo, la oxidación del flujo amoniacal aportado por el volumen de agua vertido en el reactor está controlada por bajas concentraciones de oxígeno disuelto (entre 0,1 mgO<sub>2</sub>/l y 0,6 mgO<sub>2</sub>/l) lo que permite oxidar en nitritos sólo entre el 40 y el 60% del amonio aportado (figura 2).

25 La concentración de oxígeno, medida en línea en el reactor biológico secuencial 1 con la ayuda de la sonda 18, se mantiene entre dos valores límites fijados, y se gestiona por el ordenador o el controlador C que, en tiempo real, integra las mediciones y permite detener o iniciar el suministro en aire en el reactor, por cierre o apertura de la válvula 6. Las mediciones en línea de la concentración amoniacal y de la conductividad se toman en cuenta como indicadores de conversión del amonio.

30 La conversión del amonio y de los nitritos producidos en nitrógeno gaseoso se realiza en condiciones de anoxia estricta en la segunda etapa de tratamiento. La duración de la etapa de anoxia se controla por la medición en línea de la conductividad X (que disminuye progresivamente) en el reactor biológico secuencial 1, con la ayuda de la sonda específica 17. La detención de la etapa de anoxia se produce antes de la duración prevista inicialmente, en función de la carga nitrogenada y del rendimiento de eliminación del nitrógeno, si se alcanza el valor umbral inferior de conductividad controlado por el ordenador C. La concentración de lodos en el reactor biológico secuencial estará comprendida entre 2 g/l y 12 g/l y la edad de los lodos entre 4 y 35 días.

#### Segundo modo de realización

40 Se considera ahora un segundo modo de realización posible.

Durante la primera etapa aireada de nitrificación, el flujo de amonio aportado por el volumen de efluente se oxida completamente de nitritos.

45 Al final de la primera etapa aireada, y al principio de la segunda etapa no aireada, se realiza un aporte suplementario de efluente amoniacal en proporción igual al flujo de los nitritos producidos en la primera etapa aireada. Con una relación nitritos:amonio (N-NO<sub>2</sub>:N-NH<sub>4</sub>) estabilizada, el amonio y los nitritos se convierten en nitrógeno gaseoso en condiciones de anoxia estricta durante la segunda etapa no aireada.

50 La concentración de oxígeno disuelto en el reactor biológico se mantiene entre 0,1 mgO<sub>2</sub>/l y 0,6 mgO<sub>2</sub>/l durante la etapa de aireación. La duración de esta etapa se controla mediante la medición en línea de la conductividad X gracias a la sonda específica 17 que permite integrar la medición y detener el suministro en aire si se alcanza un valor límite superior de conductividad (reflejando un estado de oxidación elevado de los compuestos de nitrógeno) antes de la duración fijada.

55 Las fracciones de volumen de efluente a introducir en medio no aireado se calculan teniendo en cuenta un rendimiento de oxidación del amonio comprendido entre el 75% y el 98% y de una relación N-NO<sub>2</sub>:N-NH<sub>4</sub> a mantener para la desamonificación entre 0,9 y 1,5. Representan entre el 50% y el 110% del volumen de efluente inicial.

60 La concentración en N-NH<sub>4</sub> en el reactor se mide indirectamente por la conductividad X, gracias a la sonda 17, y directamente por la sonda amoniacal específica 21. El flujo amoniacal en el efluente a tratar se determina por la conductividad X, gracias a la sonda 14, y por el caudal Q gracias al sensor 13.

65 La figura 6 ilustra, de manera parecida a la figura 2, un ciclo de tratamiento para la eliminación del nitrógeno por nitrificación y desamonificación, según el segundo modo de realización. El flujo de amonio aportado se oxida



completamente de nitritos durante la primera etapa aireada.

Un sub-ciclo comprende una primera fase (alimentación + aireación), representada por una zona B, durante la cual una fracción de volumen del flujo a tratar se introduce en el reactor. La curva ascendiente en línea continua 32 refleja este aporte de  $\text{NH}_4$  hasta un porcentaje del 100% antes de que comience la oxidación en nitritos ilustrada por la curva en línea discontinua 33.

El flujo de amonio está totalmente oxidado de nitritos durante la fase de aireación de manera que el contenido de  $\text{N-NNH}_4$  decrece según la curva 34 en línea continua hasta un valor nulo o sustancialmente nulo al final de la fase de aireación. Durante el mismo tiempo, la curva 33 que representa la proporción de  $\text{N-NO}_2$  alcanza sustancialmente el valor del 100% al final de la fase de aireación.

Al final de esta fase de aireación, y al principio de la segunda fase no aireada en anoxia, se realiza un aporte suplementario de efluente amoniacal en la zona B1 del diagrama en una proporción igual al flujo de los nitritos producidos. Este aporte se ilustra mediante la curva en línea continua 35 que llega al vértice de la curva 33 en el punto A1. El aporte suplementario de efluente amoniacal en la zona B1 está comprendido entre el 50 y el 110% del volumen inicial de la fracción de volumen B según la relación ( $\text{N-NO}_2:\text{N-NH}_4$ ) deseada (preferentemente comprendido entre 0,5 y 1,9).

El aporte de flujo amoniacal ilustrado por la curva 35 se determina a partir de las diversas medidas efectuadas en la instalación para que, al final de este aporte suplementario, la relación nitritos:amonio ( $\text{N-NO}_2:\text{N-NH}_4$ ) sea igual a 1 o aproximadamente 1.

Durante la fase siguiente de anoxia, la concentración en nitrógeno, debida a la oxidación del amonio a partir de los nitritos, disminuye hasta anularse, como se ilustra por la curva 36 en línea discontinua.

El sub-ciclo se termina cuando la curva 36 llega al eje de las abscisas. Un segundo sub-ciclo se activa por la introducción de una nueva fracción de volumen y la puesta en marcha de la aireación.

El ciclo completo de tratamiento de efluente comprende al menos dos sub-ciclos y preferentemente menos de ocho sub-ciclos. Según el ejemplo de la figura 6, se prevén al menos tres sub-ciclos.

La figura 7 es un diagrama que ilustra la gestión de las fases de aireación por medición de conductividad durante el tratamiento del nitrógeno por nitrificación y desamonificación en un reactor biológico secuencial 1. El tiempo, expresado en horas y minutos, se detalla en las abscisas mientras que en las ordenadas, en el eje situado a la izquierda, se detallan las concentraciones en nitrógeno expresadas en mg/L y sobre el eje situado a la derecha se refleja la conductividad expresada en microsiemens/cm ( $\mu\text{S/cm}$ ). El diagrama de la figura 7 corresponde a un efluente a tratar que contiene 746 mg de  $\text{N-NH}_4/\text{l}$  y que presenta una conductividad de 5340  $\mu\text{S/cm}$ .

La curva 37 ilustra las variaciones de la concentración en  $\text{N-NH}_4$ . La sucesión de curvas 38 ilustra las variaciones de la concentración de  $\text{N-NO}_2$ . La curva 39 ilustra las variaciones de la concentración en  $\text{N-NO}_3$  y hace parecer que la presencia de nitratos es insignificante. La curva 40 ilustra las variaciones de la conductividad medida en diferentes momentos, para los cuales se miden también  $\text{N-NH}_4$  y  $\text{N-NO}_2$ ; los resultados de medición aparecen en forma de puntos situados en una misma vertical.

Cada curva 38 comprende una parte izquierda ascendente, que corresponde a la fase de aireación y a la curva 33 de la figura 6, que ilustra la oxidación del amonio en nitritos. La concentración en  $\text{N-NH}_4$  disminuye, lo que corresponde a la parte decreciente de la curva 37. La curva de conductividad 40 pasa por un máximo relativo que corresponde al máximo de la curva 38. De manera general, la conductividad refleja el estado de oxidación del amonio, aumentando o disminuyendo la conductividad según el aumento o la disminución del estado de oxidación.

La parte derecha descendente de cada curva 38 corresponde a la fase anoxia y a la curva 36, con liberación de nitrógeno gaseoso. Los segmentos 41 del eje de las abscisas que separan dos curvas 38 corresponden a la introducción de la fracción de volumen suplementaria ilustrada por la curva 35 en la figura 6. Las partes extremas de las curvas 37 y 40 situadas a la derecha del diagrama de la figura 7 corresponden a las fases de decantación y de vaciado de la figura 6.

Se da a continuación un ejemplo de los resultados obtenidos aplicando las disposiciones de esta solicitud de patente.

Las condiciones de funcionamiento del reactor se describen a continuación.

Volumen útil del reactor	4,1 m3
Fase de alimentación centralizada	7,5% del ciclo

Fase de aireación	32% del ciclo
Fase de desamonificación	45% del ciclo
Concentración media de oxígeno durante la aireación	0,55 mg/l
Concentración media de amonio en el efluente a tratar	410 mg/l
Conductividad media del efluente a tratar	3850 $\mu$ S/cm

Los resultados de la aplicación del procedimiento se presentan en forma de gráficos (diagramas) en las figuras 8 y 9.

5 Las concentraciones de amonio en la entrada y en la salida del procedimiento, así como las de nitritos y de nitratos se presentan en función del tiempo.

Al final del primer mes de funcionamiento, se observa la desaparición total de los nitratos y la acumulación de los nitritos en el efluente de salida del reactor. La relación NO<sub>2</sub>/NH<sub>4</sub> es del orden de 1,2 al final de fase aireada.

10 Después de dos meses y medio de tratamiento, aparece la actividad de desamonificación y permite eliminar una parte de los nitritos producidos. En tres meses, la actividad de desamonificación permite tratar la totalidad del flujo de nitritos producidos en la fase aireada. La fortaleza del producto ha permitido por otro lado, durante este periodo de instalación de la actividad de desamonificación, aumentar la concentración de amonio a tratar de 350 mg/l a 750 mg/l en menos de un mes (figura 8).

15 El rendimiento de eliminación del nitrógeno por nitrificación/desamonificación alcanza el 95% en un mes y medio. Los nitratos, productos finales de la reacción de desamonificación, representan el 90% del nitrógeno contenido en el efluente tratado (figura 9).

20 Las condiciones descritas en la solicitud de patente permiten obtener en un corto periodo de tiempo (tres meses) un rendimiento de desamonificación del 95% sin aporte de biomasa externa, mientras que las informaciones disponibles sobre el estado de la técnica [*Startup of reactors for anoxie ammonium oxidation : experiences from the first full-scale anammox reactor in Rotterdam. W.R.L. van der Star, W.R. Abma, D. Blommers, J-W Mulder, T. Tokutomi, M. Strous, C. Piciorenu, M.C.M. van Loosdrecht. Water Research 41 (2007) 4149-4163.*] et [(*Treatment of sludge return liquors : experiences from the operation of full-scale plants. N. Jardin, D. Thöle, B. Wett.*) *Weftec (2006)*] indican un inicio de al menos seis meses con aporte importante de biomasa que procede de otro reactor de desamonificación (aportae acumulada de hasta el 24%).

25

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de tratamiento de efluentes que contienen nitrógeno en forma de amonio, que utiliza un reactor biológico secuencial (1) según el cual:
- 5
- un volumen de efluente a tratar en un ciclo completo se introduce por fracciones de volumen sucesivas en el reactor biológico, siendo cada fracción de volumen tratada durante un sub-ciclo, permitiendo la introducción sucesiva de las fracciones de volumen ejercer una presión de selección bacteriana favorable al desarrollo y a la actividad de las bacterias nitrificantes por golpes de carga amoniacal,
- 10
- cada sub-ciclo comprende una fase de alimentación por una fracción de volumen y, de manera alterna, dos etapas de tratamiento, a saber:
- 15
- una primera etapa aireada, durante la cual tiene lugar una oxidación total o parcial del amonio en nitritos,
  - seguida de una segunda etapa no aireada, en anoxia, durante la cual los nitritos producidos y el amonio se convierten en nitrógeno gaseoso,
- 20
- caracterizado por que:
- durante la primera etapa aireada la concentración de oxígeno disuelto en el reactor biológico se mantiene entre 0,1 mgO<sub>2</sub>/l y 0,6 mgO<sub>2</sub>/l,
  - la relación N-NO<sub>2</sub>:N-NH<sub>4</sub> se ajusta para estar comprendida entre 0,9 y 1,5 al principio de la etapa no aireada,
- 25
- y la etapa no aireada se realiza por desamonificación, sin aporte de sustrato carbonado.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que la primera etapa aireada se ajusta en función al menos de la conductividad (X) medida en el reactor biológico.
- 30
3. Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado por que la primera etapa aireada está ajustada en función también de la concentración de oxígeno disuelto medida en el reactor biológico.
- 35
4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que durante la primera etapa aireada, la concentración de oxígeno disuelto se mantiene entre dos valores umbrales por detención o puesta en marcha del suministro de aire en el reactor biológico.
- 40
5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la duración de la primera etapa aireada está controlada por la medición de la conductividad (X) en el reactor biológico, y el suministro en aire se detiene si se alcanza un valor umbral (límite superior) de conductividad antes de un tiempo fijado.
- 45
6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que en la primera etapa, sólo una parte del flujo de amonio aportado por un volumen del efluente a tratar se transforma en nitritos, siendo la parte restante del flujo de amonio suficiente para que, en la segunda etapa no aireada, los nitritos producidos y el amonio no oxidado durante la primera etapa se conviertan en nitrógeno gaseoso.
- 50
7. Procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado por que la parte del flujo de amonio transformada en nitritos al final de la primera etapa aireada está comprendida entre el 40 y el 60% del flujo aportado.
- 55
8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que durante la primera etapa aireada, el flujo de amonio aportado por un volumen del efluente a tratar está completamente oxidado de nitritos, y por que al principio de la segunda etapa no aireada, un aporte suplementario del efluente a tratar que contiene amonio se realiza en proporción del flujo de nitritos producidos en la primera etapa aireada para que la relación N-NO<sub>2</sub>:N-NH<sub>4</sub> esté comprendida entre 0,9 y 1,5.
- 60
9. Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado por que el aporte suplementario de efluente amoniacal se realiza en proporción sustancialmente igual al flujo de los nitritos producidos, de manera que la relación N-NH<sub>2</sub>:N-NH<sub>4</sub> sea sustancialmente igual a 1.
- 65
10. Procedimiento según la reivindicación 8 o 9, caracterizado por que el aporte suplementario en efluente amoniacal a introducir al principio de la segunda etapa no aireada se determina teniendo en cuenta un rendimiento de oxidación del amonio comprendido entre el 75% y el 98% y una relación N-NO<sub>2</sub>:N-NH<sub>4</sub> a mantener para la desamonificación entre 0,9 y 1,5.
11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, caracterizado por que el aporte suplementario de efluente a introducir al principio de la segunda etapa no aireada representa entre el 50% y el 110% del volumen del

efluente inicial.

- 5 12. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el tiempo de alimentación del efluente a tratar representa del 7 al 10% de la duración total del ciclo de tratamiento.
- 10 13. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el número y la duración de los sub-ciclos y de las fases de los sub-ciclos se ajustan gracias a una serie de mediciones en tiempo real del caudal, del oxígeno disuelto, de la conductividad y del pH en el efluente a tratar, en el reactor biológico y en los residuos.
- 15 14. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el número de sub-ciclos está comprendido entre 2 y 8 por ciclo.
- 20 15. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la duración de un ciclo de tratamiento está comprendido entre 4 y 8 horas.
- 25 16. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que la concentración de oxígeno se mide en línea en el reactor biológico secuencial (1) con la ayuda de una sonda (18), y se mantiene entre dos valores umbrales fijados, y está gestionada por un ordenador o controlador (C) que, en tiempo real, integra las mediciones y permite detener o iniciar el suministro en aire en el reactor.
- 30 17. Procedimiento según la reivindicación 16, caracterizado por que se toman en consideración unas mediciones en línea de la concentración amoniacal y de la conductividad como indicadores de conversión del amonio.
- 35 18. Procedimiento según la reivindicación 17, caracterizado por que la concentración de N-NH<sub>4</sub> en el reactor (1) se mide indirectamente por la conductividad (X) y directamente por una sonda amoniacal específica y el flujo amoniacal en el efluente a tratar por la conductividad (X) y el caudal (Q).
- 40 19. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que utilizan las informaciones de diferentes sensores situados:
- en el efluente a tratar (caudal Q, conductividad X, temperatura T, pH) para determinar la carga de nitrógeno a tratar y el número de secuencias del tratamiento a efectuar,
  - en el reactor biológico secuencial (oxígeno disuelto O<sub>2</sub>, conductividad X, temperatura T, pH y concentración amoniacal) para controlar el desarrollo del proceso biológico durante las fases de aireación y no aireación y determinar su duración,
  - en el agua residual (conductividad X, caudal Q) para determinar el rendimiento del tratamiento y ajustar de manera retroactiva el procedimiento,
- estando estos sensores conectados a un ordenador o controlador (C) que integra las mediciones en tiempo real y permite así el desarrollo de los ciclos de tratamiento en modo automático.

45

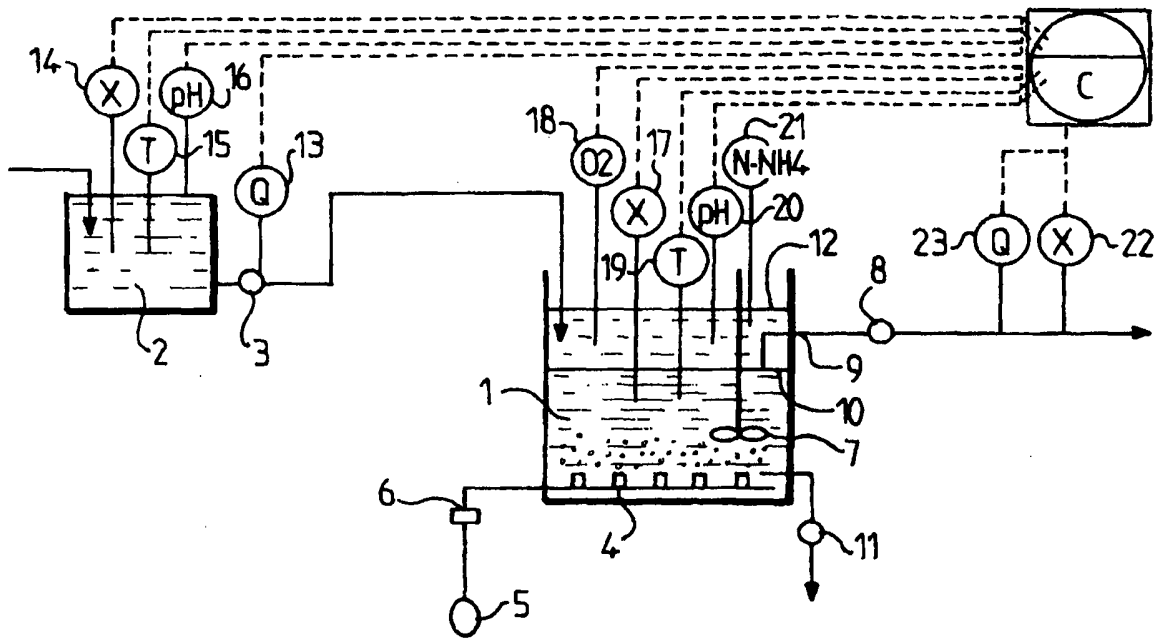


FIG.1

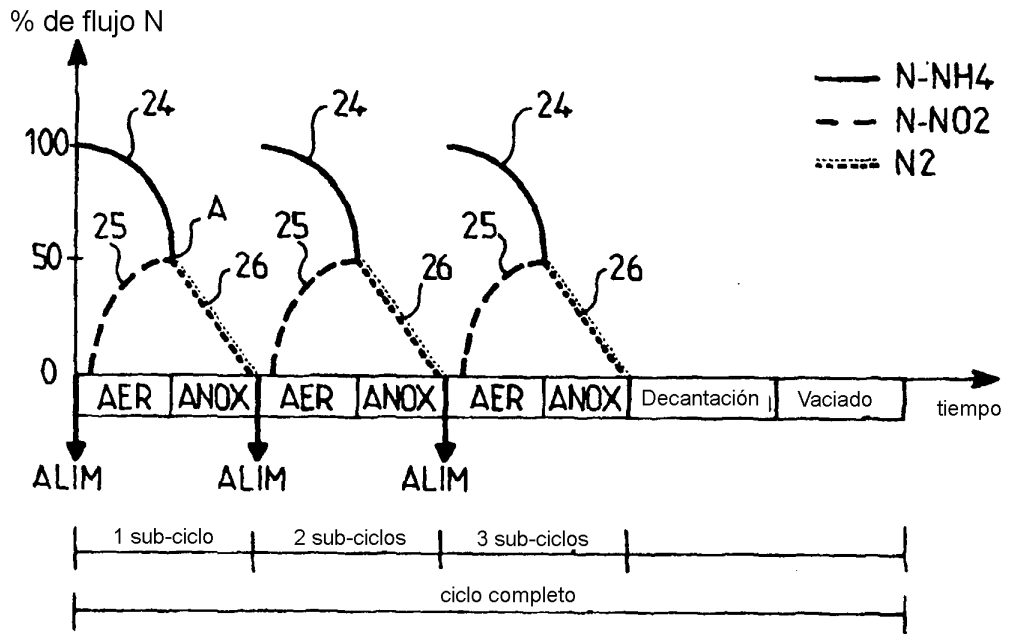


FIG. 2

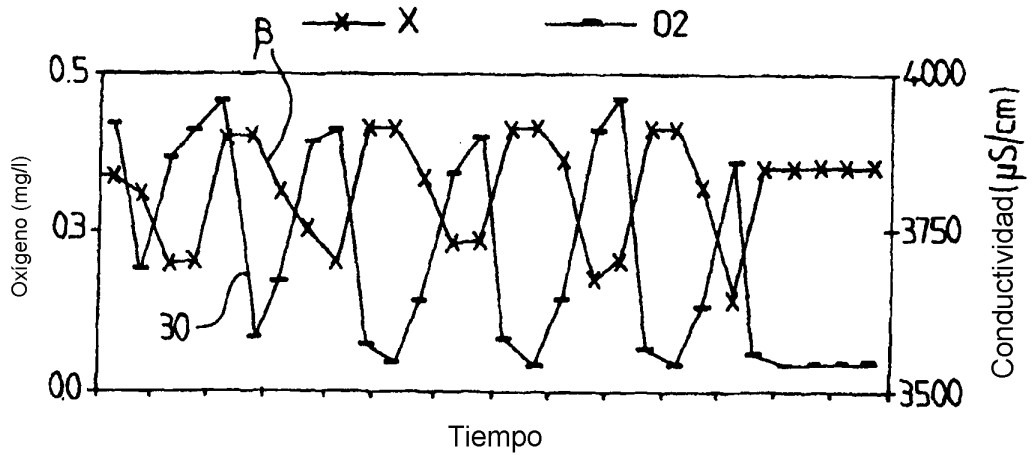


FIG. 3

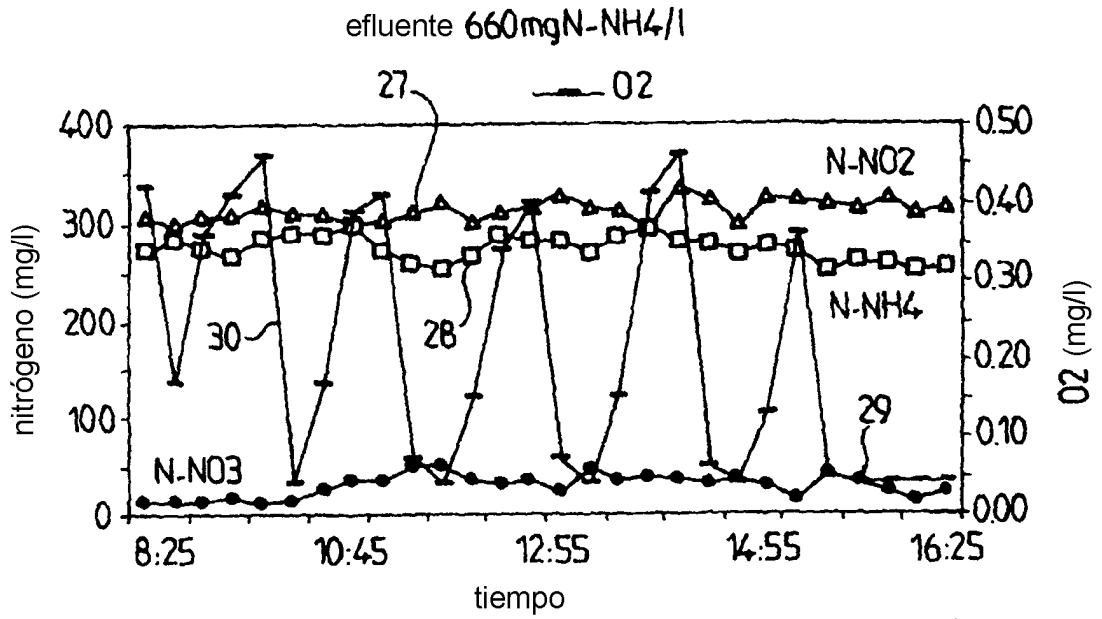


FIG.4

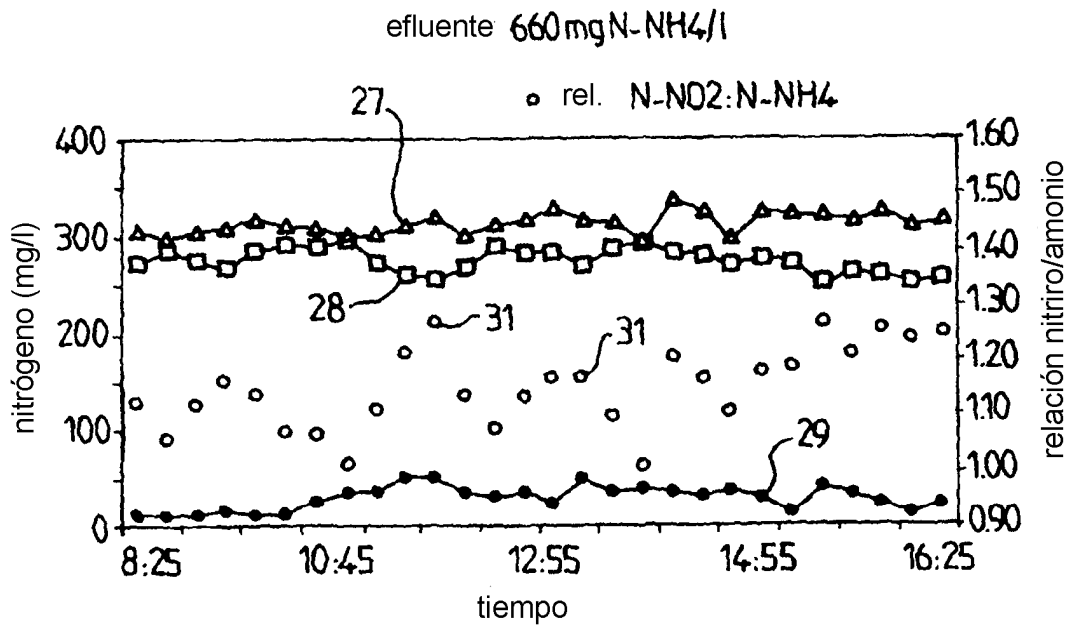


FIG.5

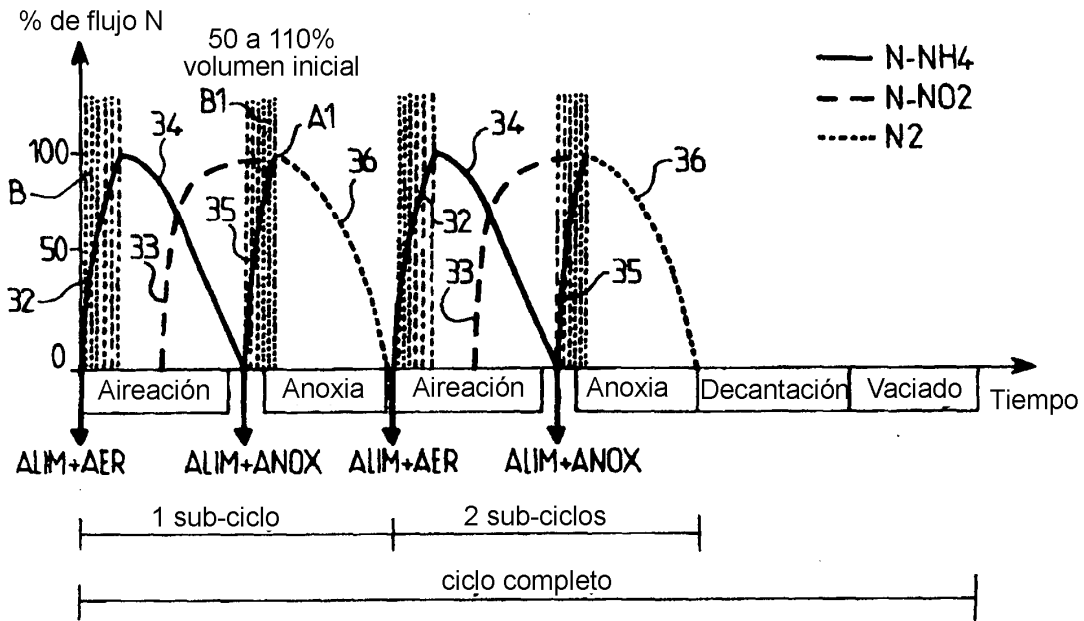


FIG. 6

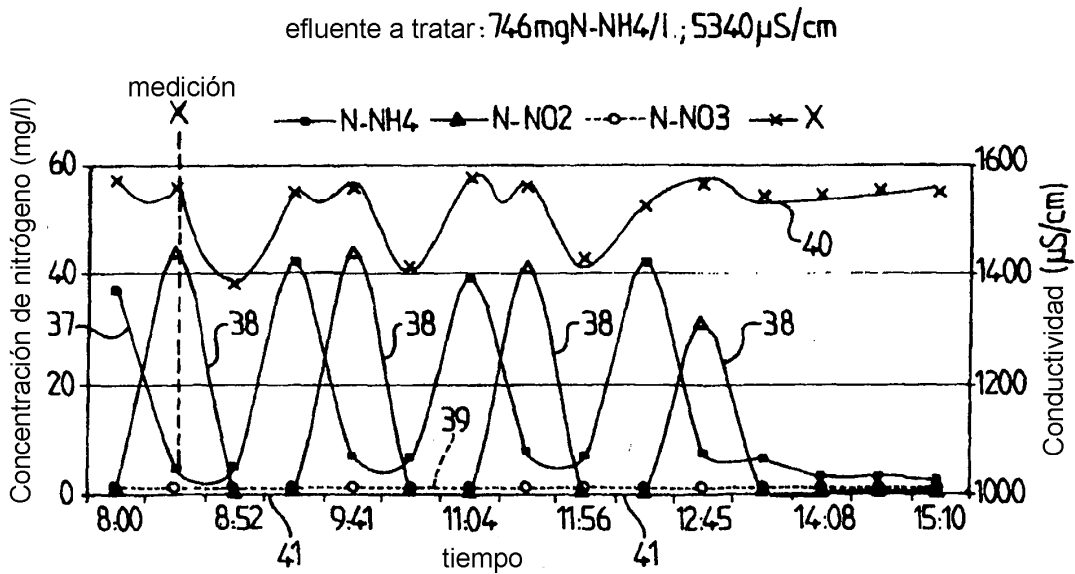


FIG. 7



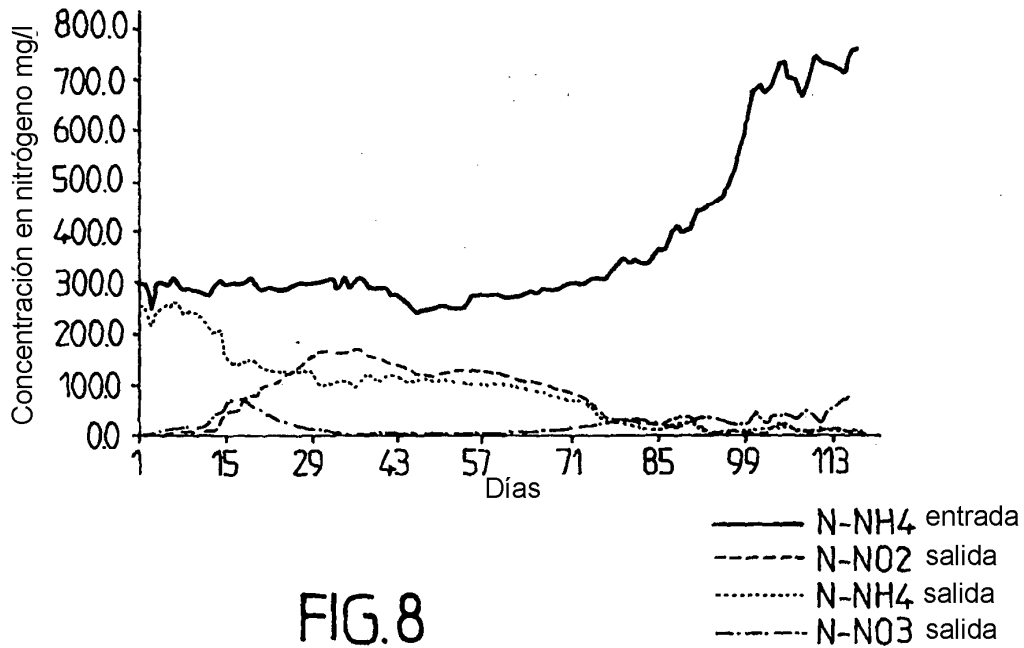


FIG.8

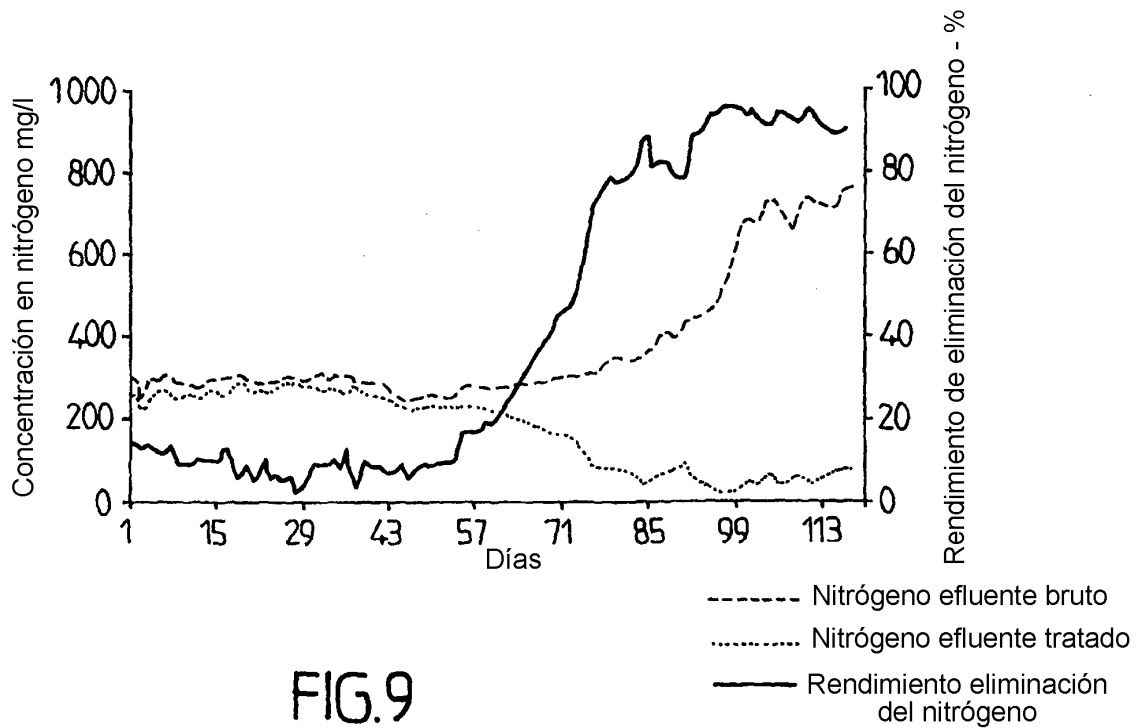


FIG.9