

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 856 223**

51 Int. Cl.:

**C02F 3/00** (2006.01)

**C02F 3/30** (2006.01)

**C02F 101/16** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.07.2014 PCT/IB2014/062858**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.01.2015 WO15004583**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.07.2014 E 14759287 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.12.2020 EP 3019452**

54 Título: **Procedimiento e instalación de desnitrificación biológica de aguas residuales**

30 Prioridad:

**08.07.2013 FR 1356681**

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

**27.09.2021**

73 Titular/es:

**DEGRÉMONT (100.0%)  
Tour CB21 16, Place de l'Iris  
92040 Paris La Défense, FR**

72 Inventor/es:

**MANIC, GILDAS y  
GINESTET, PHILIPPE**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 856 223 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 desnitrificación biológica de aguas residuales

5 La invención se refiere a un procedimiento de desnitrificación biológica de aguas residuales, del tipo de los que constan de una secuencia de nitrificación-desnitrificación seguida, para una primera fracción de aguas, de una etapa de post-desnitrificación durante la cual se inyecta un donante de electrones en esta primera fracción, mientras que una segunda fracción de las aguas pasa por una derivación, después se mezcla con la primera fracción aguas abajo de la etapa de post-desnitrificación.

10 La secuencia de nitrificación-desnitrificación permite la eliminación del nitrógeno amoniacal por una producción de nitratos (nitrificación) seguida de una producción de nitrógeno gaseoso  $N_2$  por desnitrificación (eliminación de los nitratos) que consiste en la reducción de los nitratos a nitritos y después en nitrógeno. Las reacciones se catalizan y necesitan la presencia de un donante de electrones, en particular una fuente de carbono externa.

15 En las plantas de depuración de aguas residuales, la secuencia nitrificación-desnitrificación se puede realizar en el espacio, con zonas diferentes específicas, y/o en un mismo reactor secuenciado que trabaja por hornadas, con disociación por aireación-mezcla, y a veces incluso en ciertas condiciones de manera simultánea,

20 La invención se refiere a un procedimiento de desnitrificación biológica con separación en el espacio de la nitrificación y de la desnitrificación en diferentes zonas, siendo este procedimiento aplicable a cultivos libres, mixtos y fijados.

25 Se sabe que la desnitrificación va acompañada no sólo de una producción de nitrógeno gaseoso, sino también de una producción de óxidos de nitrógeno, en particular de óxido nitroso o protóxido de nitrógeno  $N_2O$  que es un gas de efecto invernadero cuyo potencial de calentamiento es trescientas veinte veces más elevado que el del dióxido de carbono  $CO_2$  y cuya vida útil se estima entre 120 y 150 años.

30 Así, el documento FR2725193 A1 tiene por objeto un procedimiento, así como una instalación de realización del procedimiento, para el tratamiento de un efluente acuoso. El procedimiento incluye una etapa de desnitrificación biológica en medio anóxico seguida de una etapa de nitrificación biológica en medio aireado y de una etapa de clarificación final, procediendo una parte del licor mixto de dicha etapa de nitrificación, y recirculándose en desnitrificación una parte de los lodos procedentes de la clarificación.

35 Sin embargo, se ha buscado que las aguas residuales, después de la mezcla de la primera fracción tratada en post-desnitrificación y de la segunda fracción que ha esquivado esta post-desnitrificación, presenten una concentración de nitratos inferior a una consigna determinada por la normativa, que puede ser del orden de 10 mg/l para la concentración en  $[N-NO_3]$ .

40 La invención tiene como objetivo, sobre todo, proporcionar un procedimiento de desnitrificación biológica de aguas residuales que permita obtener, después del tratamiento, una concentración de  $[N-NO_3]$  menor o igual a un valor de consigna deseado, evitando al mismo tiempo o reduciendo la producción de óxido nitroso  $N_2O$ .

45 Preferentemente, la invención tiene también como objetivo tratar los problemas de dosificación del donante de electrones, y ajustar el caudal de derivación.

En lo que se refiere a la dosificación del donante de electrones, especialmente del carbono externo, unos riesgos están relacionados con la subdosificación así como con la sobredosificación.

50 En el caso de una subdosificación, se crea una desnitrificación incompleta con, como consecuencia, la acumulación de nitritos en el agua tratada: estos nitritos no permiten disminuir el contenido de nitrógeno total TN (o NGL) del efluente final y constituyen una demanda suplementaria de oxígeno en el agua tratada (DBO y DCO). La reducción de los nitratos a nitritos es energéticamente más eficaz para la flora desnitrificante en cuestión. El resultado de esto es que un exceso de nitratos dentro del reactor con respecto al donante de electrones disponible favorecerá el uso de este último para reducir inicialmente todos los nitratos a nitritos. Después, y solamente después, los nitritos podrán reducirse a nitrógeno gaseoso si quedan cantidades de donante de electrones.

Una sobredosificación, además del sobre coste causado por un excedente de donante de electrones, provoca un aumento de las demandas química y biológica de oxígeno del agua, a la salida del tratamiento.

60 La gestión del caudal de derivación es también delicada.

Si el caudal de derivación es excesivo, la derivación genera unos excedentes de nitrógeno en las aguas residuales después del tratamiento, lo que constituye generalmente una descarga industrial que debe cumplir con las concentraciones reglamentarias para el nitrógeno total.

65

Una subestimación del caudal de derivación, o una ausencia de derivación, conduce a un consumo innecesario de donante de electrones, en particular de metanol, relacionado con el tratamiento del oxígeno disuelto presente en el agua y que neutraliza una parte del donante de electrones inyectado, especialmente sustrato carbonado.

5 Las dificultades también están relacionadas con la metrología, especialmente con respecto a los sensores de concentración en N-NO<sub>3</sub>, que, según el estado de la técnica actual, presentan una incertidumbre del orden de 0,5 mg/l a 1 mg/ml que se encuentra próximo de los intervalos de concentraciones de 0,5 mg/l a 3 mg/l que pueden desearse. Esto da como resultado que el error relativo relacionado con la medición es elevado, lo que hace difícil un control eficaz de la inyección de donante de electrones.

10 Según la invención, el procedimiento de desnitrificación biológica de aguas residuales del tipo definido anteriormente es tal que:

15 - el procedimiento comprende una secuencia de nitrificación-desnitrificación,  
 - permitiendo dicha secuencia de nitrificación-desnitrificación la eliminación del nitrógeno amoniacal por una producción de nitratos (nitrificación) seguida de una producción de nitrógeno gaseoso N<sub>2</sub> por desnitrificación (eliminación de los nitratos) que consiste en la reducción de los nitratos a nitritos y después a nitrógeno,

20 - yendo seguida dicha secuencia de nitrificación-desnitrificación, para una primera fracción de las aguas, de una etapa de post-desnitrificación durante la cual se inyecta un donante de electrones en una primera fracción, mientras que una segunda fracción de las aguas pasa por una derivación, y después se mezcla con la primera fracción aguas abajo de la etapa de post-desnitrificación, caracterizado por que:

25 - la primera fracción de las aguas residuales se somete, durante la post-desnitrificación, a una desnitrificación casi completa a fin de salir de la etapa con una concentración de nitratos [N-NO<sub>3</sub>] inferior a 4 mg/l para minimizar la producción de óxido nitroso N<sub>2</sub>O,

30 - y se determina la tasa de derivación a partir:

- de una medición de la concentración de nitratos [N-NO<sub>3</sub>] en las aguas antes de la post-desnitrificación,

- de la concentración de nitratos [N-NP<sub>3</sub>] deseada para la mezcla de las dos fracciones después del tratamiento de post-desnitrificación,

35 - y de la concentración de nitratos [N-NO<sub>3</sub>] de la primera fracción a la salida de la post-desnitrificación, antes de la mezcla de las dos fracciones,

40 - y se controla la inyección de donante de electrones utilizado con la ayuda:

- por un lado, de la medición (9, 27b) de la concentración de nitratos [N-NO<sub>3</sub>] de las aguas antes de la post-desnitrificación, y de la medición (10) del caudal de las aguas residuales,

45 - y, por otro lado, de una estimación de la carga nitrogenada (concentración [N-NO<sub>3</sub>] de la primera fracción a la salida de la post-desnitrificación, antes de la mezcla de las dos fracciones, calculándose esta estimación en función de una medición (14) de la concentración de nitratos [N-NO<sub>3</sub>] a la salida del tratamiento después de la mezcla de las dos fracciones, y de la tasa de derivación utilizada,

50 - se compara el valor estimado o medido del caudal de donante de electrones con un valor de consigna deseado, y se modifica el caudal de donante de electrones inyectado para reducir la diferencia entre valor estimado y valor deseado.

Preferentemente, la primera fracción de las aguas residuales sale de la etapa de post-desnitrificación con una concentración de nitratos [N-NO<sub>3</sub>] inferior a 2 mg/l.

55 Según la invención, la desnitrificación casi completa efectuada durante la post-desnitrificación limita la producción de óxido nitroso. El porcentaje de nitratos reducidos aumenta y la relación de producción N<sub>2</sub>O/N<sub>2</sub> disminuye de tal manera que el nitrógeno N<sub>2</sub> se convierte en el principal gas producido.

60 Después de la mezcla de las dos fracciones, la concentración de nitratos de las aguas que salen del tratamiento es más elevada que la de la primera fracción que sale de la post-desnitrificación, pero sigue siendo inferior o igual al valor de consigna deseado para las aguas a la salida de tratamiento.

65 Si, contrariamente a la invención, se hubiera efectuado una desnitrificación parcial, correspondiente al valor de consigna deseado para las aguas a la salida del tratamiento, sobre la totalidad de las aguas o sobre la mayor parte de

estas aguas residuales, la producción de óxido nitroso  $N_2O$  hubiera sido mayor que según el procedimiento de la invención.

5 Según la invención, la desnitrificación casi completa efectuada durante la post-desnitrificación proporciona, a la salida, unas aguas cuya baja concentración de nitratos no se puede medir con precisión por los sensores disponibles. Por el contrario, cuando se ha efectuado la mezcla de las dos fracciones, la concentración de nitratos es más elevada y se puede medir con una precisión satisfactoria. A partir de este valor y del grado de derivación, se puede deducir la concentración de nitratos de la primera fracción a la salida de la post-desnitrificación, lo que corresponde a una medición en cierta manera virtual. La estimación de la concentración de nitratos de la primera fracción a la salida de la post-desnitrificación se efectúa ventajosamente en lógica difusa para definir un intervalo de valores posibles.

15 Preferentemente, se controla el caudal de derivación determinando un valor del grado de derivación, según las concentraciones de nitratos deseadas en los diferentes sitios del tratamiento, y se compara con valores umbrales superior e inferior para retener un valor de consigna comprendido en los umbrales impuestos. Según la comparación del valor de consigna con un valor medido, se actúa sobre un elemento que modifica el caudal de derivación para alcanzar el valor de consigna. Este valor de consigna se selecciona para limitar la pérdida de donante de electrones relacionada con el oxígeno disuelto.

20 El donante de electrones puede ser una fuente de carbono seleccionada entre el metanol, el ácido acético, el glicerol o un compuesto carbonado que se dispersa fácilmente en un reactor desnitrificante.

Generalmente, se efectúa una medición de la concentración de nitratos y una medición de oxígeno disuelto en el agua antes de la post-desnitrificación para estimar la carga nitrogenada equivalente.

25 Según la invención, el procedimiento de desnitrificación biológica de aguas residuales puede comprender, en una variante, una secuencia de nitrificación-desnitrificación,

30 permitiendo dicha secuencia de nitrificación-desnitrificación la eliminación del nitrógeno amoniacal por una producción de nitratos (nitrificación) seguida de una producción de nitrógeno gaseoso  $N_2$  para desnitrificación (eliminación de los nitratos) que consiste en la reducción de los nitratos a nitritos y después a nitrógeno,

35 yendo seguida dicha secuencia de nitrificación-desnitrificación, para una primera fracción de las aguas, de una etapa de post-desnitrificación durante la cual se inyecta un donante de electrones en esta primera fracción, mientras que una segunda fracción de las aguas pasa por una derivación, y después se mezcla con la primera fracción aguas abajo de la etapa de post-desnitrificación,

estando el procedimiento caracterizado por que:

40 - la primera fracción de las aguas residuales se somete, durante la post-desnitrificación, a una desnitrificación casi completa a fin de salir de la etapa con una concentración de nitratos  $[N-NO_3]$  inferior a 4 mg/l para minimizar la producción de óxido nitroso  $N_2O$ ,

- se determina la tasa de derivación a partir:

45 - de una medición de la concentración de nitratos  $[N-NO_3]$  de las aguas antes de la post-desnitrificación,

- de la concentración de nitratos  $[N-NO_3]$  deseada para la mezcla de las dos fracciones después del tratamiento de post-desnitrificación,

50 - y de la concentración de nitratos  $[N-NO_3]$  de la primera fracción a la salida de la post-desnitrificación, antes de la mezcla de las dos fracciones,

- se mide el caudal de entrada de aguas residuales a tratar antes de la derivación,

55 - se calcula el caudal de donante de electrones para asegurar la desnitrificación de la fracción no derivada teniendo en cuenta el grado de derivación,

60 - se estima la concentración de  $NO_3$  a la salida de la post-desnitrificación, antes de la mezcla con la fracción derivada, a partir de una medición de la concentración de  $NO_3$  aguas abajo de la mezcla de la fracción derivada y la que ha sometido a la post-desnitrificación, y del grado de derivación,

- asegurándose un control del caudal de derivación para limitar la pérdida de sustrato carbonado relacionada con el oxígeno disuelto.

65 La invención se refiere también a una instalación para la realización del procedimiento definido anteriormente, caracterizada por que comprende

- unos dispositivos de medición de caudal para:

5 - una medición del caudal expresado con el término FIT Qe a la salida de un trabajo aireado;  
- una medición de caudal de derivación, o bien por instrumentación directa, o bien por estimación a partir de una medición del caudal de entrada expresado con el término FIT Qe y del caudal de alimentación de la post-desnitrificación;

10 - una medición de caudal de entrada del trabajo de post-desnitrificación, o bien por instrumentación, o bien por estimación a partir de una medición del caudal de entrada expresado con el término FIT Qe y de una medición del caudal de derivación expresado con el término FIT Qbp;

15 - un dispositivo de regulación del caudal de derivación:

- unos sistemas de medición de la calidad del agua, con transmisor adecuado;

- un dispositivo de regulación del caudal de donante de electrones.

20 La invención consiste, además de las disposiciones expuestas anteriormente, en un cierto número de otras disposiciones de las que se hablará más explícitamente después en referencia a un ejemplo de realización descrito con referencia a los dibujos anexos, pero que no es de ninguna manera limitativo. En estos dibujos:

25 La Figura 1 es un esquema de un procedimiento de desnitrificación según la invención.

La Figura 2 es un esquema de una instalación para la realización del procedimiento.

La Figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra la determinación de la consigna de caudal de derivación.

30 La Figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra la determinación de la consigna de caudal de donante de electrones.

La Figura 5 es un gráfico que ilustra una variación del caudal de aguas brutas y del contenido de oxígeno disuelto, representada en las ordenadas, en función del tiempo, representado en las abscisas, para un día, y

35 Figura 6 ilustra el perfil diario de la concentración [N-NO<sub>3</sub>] representada en las ordenadas, en la entrada de la post-desnitrificación, estando el tiempo representado en las abscisas.

40 Refiriéndose a la Figura 1, se puede observar un esquema del procedimiento de desnitrificación biológica de aguas residuales RB que llegan por un conducto 1. Las aguas RB se someten a una pre-desnitrificación o pre-DN en un tanque 2, y a una secuencia de nitrificación en un tanque aireado 3. Se prevé una recirculación 4 de los nitratos entre la salida del tanque 3 y la entrada del tanque 2.

45 Las aguas procedentes del tanque 3 se dirigen por un conducto 5 hacia un tanque 6 de post-desnitrificación, o post DN.

Una primera fracción de las aguas se introduce por un conducto 5 hacia un tanque 6 para realizar el tratamiento post DN durante el cual se inyecta en la fracción, tal como se indica mediante la flecha 7, un donante de electrones externo, en particular una fuente de carbono tal como metanol.

50 Una segunda fracción de las aguas pasa por una derivación 5b y no es sometida al tratamiento post DN del tanque 6. La primera fracción y la segunda fracción se unen y se mezclan en B, aguas abajo del tanque de tratamiento 6. La mezcla se evacúa por un conducto 8.

55 La concentración de nitratos [N-NO<sub>3</sub>] después de la mezcla, en el conducto 8, debe ser inferior a un valor de consigna, por ejemplo 10 mg/l. Tal concentración se puede medir con una precisión satisfactoria por los sensores del estado de la técnica, cuya incertidumbre es del orden de 0,5 a 1 mg/l. Por el contrario, para concentraciones más bajas, del orden de 3 o 4 mg/l, la incertidumbre de una medición se vuelve demasiado elevada.

60 La desnitrificación, durante la etapa post DN, se acompaña de una producción de óxido nitroso N<sub>2</sub>O que conviene limitar o suprimir.

Según la invención, la post-desnitrificación efectuada en el tanque 6 corresponde a una desnitrificación casi completa, de manera que esta fracción que sale por el conducto 5C presenta una concentración [N-NO<sub>3</sub>] inferior a 4 mg/l. Esta desnitrificación particularmente exhaustiva permite reducir la producción de óxido nitroso N<sub>2</sub>O, lo que no sería el caso si se hubiera aplicado una desnitrificación incompleta o parcial a la totalidad de las aguas residuales. El valor de consigna de concentración [N-NO<sub>3</sub>] en la salida de la post DN se designa mediante CNNO<sub>3</sub> pdn.

El valor de consigna de la concentración de la mezcla en el conducto 8 se designa por  $CNNO_3 s$ .

5 Una medición de la concentración  $[N-NO_3]$  de las aguas antes de la post DN 6 se asegura por un sensor 9 (Figura 2) cuya medición se designa mediante  $AIT NO_3 e$ .

Como se ilustra en la Figura 3, en la casilla 10, el grado de derivación se determina mediante la relación:

$$10 \quad \tau = (CNNO_3 s - CNNO_3 pdn) / (AIT NO_3 e - CNNO_3 pdn)$$

Este grado de derivación permite determinar un caudal de alimentación teórico de la post DN 6 por el conducto 5a, como se explica a continuación:

15 - el caudal total de las aguas residuales, antes de la derivación 5b, se mide mediante un sensor 10 (Figura 2) que da el caudal designado por  $FIT Q_e$ ;

- el caudal de alimentación de la post DN 6 es igual a  $(1 - \tau)$  veces el caudal total, es decir  $(1 - \tau) \times FIT Q_e$ .

20 Este caudal de alimentación calculado para la post DN debe compararse con los requisitos de la instalación que permiten determinar un caudal mínimo  $Q_{min}$  y un caudal máximo  $Q_{max}$  para la post DN 6, como se indica en el cuadro 11 de la Figura 3.

25 Si el caudal de derivación dado por el cuadro 10 es inferior a  $Q_{min}$ , entonces es este valor de  $Q_{min}$  que el que se adopta para el caudal de derivación, de manera que la tasa se vuelve igual a  $\tau = (FIT Q_e - Q_{min} pdn) / FIT Q_e$ .

De la misma manera, si el caudal de derivación dado por el cuadro 10 es superior a  $Q_{max} pdn$ , entonces el grado de derivación se toma igual a  $\tau = (FIT Q_e - Q_{max} pdn) / FIT Q_e$ .

30 Finalmente, la consigna de caudal de derivación se proporciona por el cuadro 12 (Figura 3) y se tiene en cuenta por un controlador 13 (Figura 2) del caudal de derivación que recibe las mediciones proporcionadas por los sensores 9, 10, así como por un sensor 14 instalado en el conducto 8 de salida de la mezcla, y que proporciona la concentración de nitratos designada por  $AIT NO_3 s$ .

35 El caudal de derivación puede asegurarse por una bomba 15 (Figura 2) instalada en el conducto 5b y accionada por un motor 16 a velocidad ajustable. El caudal en el conducto de derivación 5b se mide por un sensor 17 y el valor del caudal se designa mediante  $FIT Q_{pb}$ . Esta medición se transmite al controlador 13 que compara el valor de consigna, del cuadro 12 de la Figura 3, con el valor medido proporcionado por el sensor 17. El controlador 13 controla, en consecuencia, la velocidad del motor 16 para aumentar el caudal en el conducto 5b si el valor medido es inferior al valor de consigna, o bien para reducir la velocidad del motor 16 si el valor medido es superior al valor de consigna.

40 La gestión del caudal de derivación por el controlador 13 permite evitar:

45 - una sobreestimación del caudal de derivación que, si es excesivo, genera excesos de nitrógeno en la descarga de la instalación de tratamiento por el conducto 8;

- una subestimación del caudal de derivación que, si es insuficiente, conduce a un consumo innecesario de donante de electrones en la post DN 6, en particular un consumo innecesario de metanol, relacionado con el tratamiento del oxígeno disuelto presente en el agua residual y que neutraliza una parte del donante de electrones inyectado, especialmente sustrato carbonado.

50 El control de la inyección de donante de electrones se efectúa con la ayuda de un controlador 18 (Figura 2). El donante de electrones, en la mayoría de los casos, procede de una fuente 19 de carbono externo, es decir no aportada por el agua residual. La fuente de carbono puede ser metanol, ácido acético, glicerol, o cualquier compuesto carbonado que puede dispersarse fácilmente en el agua residual sometida a la post DN 6.

55 El controlador 18 recibe:

- las mediciones efectuadas por los sensores 9 y 10,

60 - la medición de concentración de oxígeno disuelto  $O_2$  en el agua bruta que llega por el conducto 5, efectuada por un sensor 20 que da el valor  $AIT O_2$ ,

- así como la medición del caudal de líquido que entra en la post DN proporcionada por un sensor 21 que da la cantidad  $FIT Q pdn$ .

65

- La estimación de la concentración de nitratos a la salida del reactor 6 y antes de la ramificación B de la derivación sobre en conducto se efectúa por el cálculo, como se expone en relación a la Figura 4, y de la casilla 30 descrita más adelante. Un sensor "virtual" 22 se ha representado mediante guiones a la salida del reactor 6 para recordar que el controlador 18 tiene en cuenta un valor AIT NO<sub>3</sub> pdn de la concentración de nitratos a la salida de la post DN.
- 5 La inyección 7 de donante de electrones puede asegurarse por una bomba 23 accionada por un motor 24 de velocidad variable controlado por el controlador 18. Un sensor 25 mide el caudal FIT Qc de donante de electrones inyectado en 7. La medición del sensor 25 se envía al controlador 18.
- 10 La determinación de la consigna de caudal de donante de electrones, especialmente procedente de una fuente carbonada 19, se efectúa por el controlador 18 según el diagrama de flujo ilustrado en la Figura 4, proporcionándose la consigna de caudal calculada en la casilla 26.
- 15 La casilla de partida 27 asegura el cálculo de los equivalentes NNO<sub>3</sub> a eliminar en las aguas residuales. Este cálculo se efectúa con la ayuda de las mediciones siguientes:
- medición ATI O<sub>2</sub>, de la concentración de oxígeno disuelto, proporcionada por el sensor 20, como se indica en la casilla 27a;
  - 20 - medición AIT NO<sub>3</sub> e de la concentración de nitratos, proporcionada por el sensor 9, como se indica en la casilla 27b;
  - y consigna CNNO<sub>3</sub> pdn a la salida de la post DN 6, como se indica en la casilla 27c.
- 25 El resultado del cálculo de la casilla 27 se transfiere a una casilla 28 que tiene en cuenta un factor correctivo K precisado más adelante.
- El valor corregido de los equivalentes NNO<sub>3</sub> a eliminar se transfiere de la casilla 28 a una casilla 29 que asegura el cálculo del caudal de donante de electrones, el carbono externo en el ejemplo considerado, a proporcionar para asegurar la eliminación deseada de equivalentes NNO<sub>3</sub>. El cálculo de la casilla 29 se efectúa con la ayuda del caudal FIT Qe de aguas residuales proporcionado por una casilla 29a relacionada con el sensor 10, de la consigna de concentración del donante de electrones proporcionada por la casilla 29b y de la tasa de derivación que aparece en la casilla 29c y proporcionada por la casilla 12 de la Figura 3.
- 30 El valor del caudal de donante de electrones calculado por la casilla 29 se transfiere a una casilla 30 para el cálculo de la concentración de nitratos AIT NO<sub>3</sub> pdn a la salida de la post DN 6. Este cálculo se efectúa con la ayuda de la medición AIT NP<sub>3</sub> e de la concentración de nitratos de las aguas residuales a tratar, medida que se proporciona a una casilla 30a por el sensor 9 (Figura 2), así como con la ayuda de la medición AIT NO<sub>3</sub> s de la concentración de nitratos en el conducto de salida 8, medida proporcionada a una casilla 30b por el sensor 14 (Figura 2).
- 35 El valor calculado por la casilla 30 se transfiere a la casilla 31 que calcula la desviación entre la concentración de nitratos AIT NO<sub>3</sub> pdn estimada a la salida de post DN, y la consigna CNNO<sub>3</sub> pdn. La desviación calculada se envía a una casilla 32 que calcula el coeficiente correctivo K por lógica difusa o fuzzificación. El cálculo procedente de la casilla 32 se envía a la casilla 28 para que se tenga en cuenta el coeficiente K = fuzz (Deriva).
- 40 Finalmente, se obtiene una consigna de caudal en la casilla 26, después de varias iteraciones procedentes de la casilla 31 a la casilla 32.
- 45 El procedimiento de la invención permite superar las dificultades relacionadas con la metrología y expuestas a continuación.
- 50 - la estimación de la "carga nitrogenada equivalente" a la entrada de la etapa de post DN 6 se somete a incertidumbres ya que, para ello, es necesario conocer las concentraciones de N-NO<sub>3</sub>, N-NO<sub>2</sub> y de oxígeno disuelto.
- Ahora bien, actualmente no existe ningún medio fiable que permita conocer las concentraciones de nitritos N-NO<sub>2</sub>. Según la invención, la desnitrificación casi completa de la primera fracción permite prevenir la formación de nitritos.
- 55 Por el contrario, las concentraciones de nitratos N-NO<sub>3</sub> y de oxígeno disuelto se miden con una precisión suficiente en las aguas residuales antes de la post DN 6.
- 60 - la estimación de la carga nitrogenada a la salida de post DN, que permitiría corregir la regulación de la inyección de donante de electrones, en particular de carbono externo, es delicada debido a la incertidumbre de los sensores de N-NO<sub>3</sub>, incertidumbres del orden de 0,5 mg/l a 1 mg/l.
- 65 Según la invención, la carga nitrogenada a la salida de la post DN se obtiene por una medición virtual, resultante de un cálculo a partir del grado de derivación, y de la concentración de nitratos de la mezcla de las dos fracciones.

Esta concentración es más elevada que en la salida de post DN y permite una medición cuya precisión relativa se mejora.

La invención permite maximizar permanentemente el potencial de depuración de la pos-desnitrificación con:

- 5 - una minimización de la producción de  $N_2O$ , garantizando, cualquiera que sea el objetivo fijado para la descarga de  $N-NO_3$ , una gestión pormenorizada de la desnitrificación sobre el trabajo en cuestión;
- 10 - un control de la cantidad de donante de electrones, especialmente carbono externo, utilizada para la desnitrificación, determinándose esta cantidad con la ayuda, por un lado, de una medición antes de la desnitrificación, y, por otro lado, de una medición virtual aguas abajo, calculada en función de una medición a la salida de la instalación y del grado de derivación utilizado, que sirve para la corrección del control por un tratamiento en lógica difusa de la señal;
- 15 - un control del caudal de derivación para limitar la pérdida de donante de electrones, especialmente sustrato carbonado, relacionada con el oxígeno disuelto.

La instalación para implementar el procedimiento se compone de los siguientes elementos:

20 *tres dispositivos de medición de caudal para:*

- una medición del caudal expresado mediante el término FIT  $Q_e$  a la salida de trabajo aireado por un sensor 10;
- 25 - una medición del caudal de derivación, o bien por una instrumentación directa con la ayuda del sensor 17 que da el caudal expresado mediante el término FIT  $Q_{pb}$ , o bien por estimación a partir del caudal de entrada expresado mediante el término FIT  $Q_e$  y del caudal de alimentación expresado mediante el término FIT  $Q_{pdn}$  de la post DN proporcionado por un sensor 21 que da dicho caudal expresado mediante el término FIT  $Q_{pdn}$ ;
- 30 - una medición de caudal a la entrada del trabajo de post DN, o bien por instrumentación directa con el sensor 21 que da dicho caudal expresado mediante el término FIT  $Q_{pdn}$ , o bien por estimación a partir del caudal de entrada expresado por el término FIT  $Q_e$  y del caudal de derivación expresado mediante el término FIT  $Q_{pb}$ ;

*un dispositivo de regulación del caudal de derivación:*

- 35 - o bien por variación de frecuencia sobre el o los motores 16 de la bomba 15 del caudal de derivación, o del caudal de alimentación de la post-desnitrificación, si estos caudales se aseguran por bombeo;
- o bien por variación de la apertura de un dispositivo de regulación del caudal de tipo válvula de regulación o cualquier otro instrumento que permita una regulación de caudal;

40 *varios sistemas de medición de calidad de agua, con transmisor adecuado:*

- una sonda o un analizador de nitratos 9 situado a la salida del reactor aireado, o tanque 3, y que da la concentración AIT  $NO_3 e$ ;
- 45 - una sonda o analizador 20 de oxígeno disuelto situado a la salida del reactor aireado y que da la concentración AIT  $O_2$ ;
- una sonda o analizador de nitratos 14 situado en la salida de la instalación después de la mezcla de las dos fracciones y que da la concentración AIT  $NO_3 s$ ;
- 50 - una bomba dosificadora 23 de donante de electrones, especialmente a partir de una fuente de carbono externo 19;
- 55 - un sensor 25 de medición de caudal de la disolución de donante de electrones enviada en el reactor 6 de la post DN;
- un medio de cálculo, integrado en el controlador 18, que permite efectuar una medición virtual del rendimiento del reactor 6 de la post DN a partir de la concentración AIT  $NO_3 s$ , del grado de derivación y de la concentración de entrada AIT  $NO_3 e$ .
- 60

Durante la puesta en marcha de la regulación, deben fijarse las consignas siguientes:

- 65 - consigna  $CNNO_3 s$  de la concentración de nitratos  $N-NO_3$  a la salida de la instalación, después de la mezcla de las dos fracciones que salen del reactor 6 de la post DN, y de la derivación. Esta consigna se ajusta en función de los objetivos de descarga de la instalación;

- consigna  $CNNO_3$  pdn de la concentración de nitratos  $N-NO_3$ , a la salida del reactor 6 de la post DN. Esta consigna no debe exceder 4 mg/l y preferentemente debe ser inferior a 2 mg/l, para prevenir un riesgo de desnitrificación incompleta;

5  
- los caudales mínimo  $Q_{min}$  y máximo  $Q_{max}$  pdn de alimentación del reactor 6 de la post DN, teniendo que ajustarse estos caudales según los parámetros físicos relacionados con el procedimiento empleado, especialmente velocidad para los biofiltros, tiempo de estancia para los biorreactores de membranas designados de forma abreviada mediante MBBR, o para los lodos activados.

10 El funcionamiento del procedimiento y de la instalación resulta de las explicaciones anteriores.

15 El controlador 13 de caudal de derivación calcula la consigna de caudal de derivación  $Q_{derivación}$  basándose en las mediciones físicas expuestas anteriormente y aplicando el diagrama de flujo de la Figura 3. El caudal de la bomba se ajusta a partir de este valor de consigna.

El cálculo de la consigna de caudal de donante de electrones, especialmente de carbono externo, por el controlador 18 se efectúa en varias etapas:

20 - un primer cálculo del caudal de donante de electrones necesario se efectúa a partir de la medición del flujo de nitrógeno en la entrada a partir del caudal FIT  $Q_{pdn}$  proporcionado por el sensor 21 y de la concentración de nitratos AIT  $NO_3$  e proporcionada por el sensor 9;

25 - una medición virtual AIT  $NO_3$  pdn de la concentración de nitrato a la salida del reactor 6 se calcula según la medición AIT  $NO_3$  s proporcionada por el sensor 14, la medición de entrada AIT  $NO_3$  e proporcionada por el sensor 9, y el grado de derivación;

30 - un segundo cálculo del caudal de donante de electrones se efectúa por el controlador 18 corrigiendo el resultado obtenido en función de la diferencia entre la medición virtual calculada a la salida del reactor 6 de la post DN y la consigna deseada  $CNNO_3$  pdn. El cálculo se efectúa mediante el controlador 18 en forma de intervalos de valores en lógica difusa, a fin de prevenir las incertidumbres relacionadas con la metrología. El diagrama de flujo de la Figura 4 ilustra este cálculo.

35 Se efectuó una comparación entre un procedimiento de desnitrificación con regulación clásica y el procedimiento de la invención mediante el cálculo para un caso de estudio según las Figuras 5 y 6.

40 La Figura 5 ilustra un ejemplo de perfil diario de caudal de agua bruta representado en línea continua gruesa, y de oxígeno disuelto representado en línea más fina con unos cuadrados espaciados. El caudal de agua bruta se representa en las ordenadas a la izquierda y se expresa en metros cúbicos por hora ( $m^3/h$ ), mientras que la concentración de oxígeno disuelto se representa en el eje de la derecha de las ordenadas y se expresa en mg/l. El tiempo expresado en horas se representa en las abscisas.

45 La Figura 6 ilustra el perfil diario de concentración de nitratos  $[N-NP_3]$  a la entrada de la post DN, estando los valores representados en las ordenadas a la izquierda y expresados en mg/l. El tiempo se representa en las abscisas en horas.

50 El ejemplo se refiere a una planta de tratamiento por biofiltración de aguas residuales urbanas, de una capacidad de tratamiento de 200 000 equivalentes habitantes, que recibe un caudal medio de 39 600  $m^3/día$ . El objetivo del tratamiento del nitrógeno se fija con nitrógeno total TN o NGL, a la salida de la planta, a NGL 15 mg/l. La consigna objetivo de tratamiento de los nitratos se fija a  $[N-NO_3] = 10$  mg/l. El sustrato carbonado utilizado es el metanol.

55 Previamente a la etapa de post DN, se instalan unas etapas de tratamiento primario y de tratamiento biológico secundario por biofiltros aireados que tratan el carbono y el nitrógeno. Como se puede ver en la Figura 5, la concentración de oxígeno disuelto aumenta durante periodos de baja carga, en relación con la aireación de las plantas de biofiltración aireada.

Para una calidad de efluente igual en contenido de nitratos, se han estudiado dos escenarios:

60 - Caso 1: regulación clásica con la ayuda de una medición de nitratos en la entrada de la post DN. El circuito de derivación no se utiliza.

65 - Caso 2: implementación de la regulación según el procedimiento de la invención con la ayuda del cálculo de la tasa de derivación automática y de mediciones entrada/salida de concentración de nitratos con corrección por lógica difusa.

En el Caso 1, el operador hace pasar la totalidad del caudal de agua a tratar mediante la etapa de post DN, ajustando la regulación para obtener la concentración  $[N-NO_3]$  a 10 mg/l, a través de una desnitrificación parcial que corresponde a una media del 60% de rendimiento o de reducción.

- 5 En el Caso 2, el operador utiliza las posibilidades ofrecidas por la derivación para efectuar una desnitrificación completa sobre una fracción del efluente (un 94% de rendimiento de desnitrificación) y mezclar la corriente de derivación con las aguas así tratadas para obtener una concentración media  $[N-NO_3]$  de descarga de 10 mg/l.

10 Los cálculos muestran que, según la invención (Caso 2), la ganancia de metanol (disminución de consumo) obtenida es del 6% con respecto al Caso 1, con las observaciones siguientes:

- 15
- aunque la desnitrificación llevada a cabo en el Caso 2 sobre la fracción sometida a este tratamiento sea más extensa, lo que, en comparación, tiene un rendimiento menor, provoca un aumento de consumo de donante de electrones (carbono externo), el consumo de donante de electrones es menos elevado que para el Caso 1, ya que el flujo de oxígeno disuelto enviado en el reactor de post DN es más bajo;
  - la calidad en la descarga en el Caso 1 es aleatoria, ya que la concentración de nitritos, no medida, es susceptible de ser elevada ya que la desnitrificación efectuada es incompleta;
  - 20 - la emisión de gas de efecto invernadero en el Caso 1 es alta, ya que el nitrato no se reduce completamente en  $N_2$  gaseoso, lo que conduce a una alta producción de óxido nitroso  $N_2O$ ;
  - la regulación clásica del Caso 1 se ha considerado presuponiendo la ausencia de perturbaciones sobre la medición a la entrada, lo que sigue siendo hipotético ya que no es posible un retrocontrol.

25

La invención puede aplicarse a cualquier tipo de reactor de post DN, especialmente a reactores:

- de cultivos libres (lodos activados, biorreactores de membranas);
- 30 - de cultivos fijos (biofiltros, biodiscos, lechos bacterianos sumergidos, MBBR, etc.);
- de cultivos mixtos (IFAS, que es un procedimiento biológico de cultivo mixto que combina el tratamiento del carbono mediante un cultivo libre, y el tratamiento del nitrógeno mediante un cultivo fijo);

35 El tratamiento según el procedimiento de la invención puede situarse aguas abajo de un reactor aireado que consiste en:

- un cultivo libre (lodos activados, biorreactores de membranas, reactores “discontinuos” o por hornadas);
- 40 - un cultivo fijo (biofiltros, biodiscos, lechos bacterianos sumergidos, MBBR);
- un cultivo mixto (IFAS);

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de desnitrificación biológica de aguas residuales que comprende una secuencia de nitrificación-desnitrificación, permitiendo dicha secuencia de nitrificación-desnitrificación la eliminación de nitrógeno amoniacal mediante una producción de nitratos (nitrificación) seguida de una producción de nitrógeno gaseoso  $N_2$  por desnitrificación (eliminación de los nitratos) que consiste en la reducción de los nitratos a nitritos y después a nitrógeno, yendo seguida dicha secuencia de nitrificación-desnitrificación, para una primera fracción de las aguas, de una etapa de post-desnitrificación durante la cual se inyecta un donante de electrones en esta primera fracción, mientras que una segunda fracción de las aguas pasa por una derivación, y después se mezcla con la primera fracción aguas abajo de la etapa de post-desnitrificación,
- caracterizado por que:
- la primera fracción de las aguas residuales se somete, durante la post-desnitrificación, a una desnitrificación casi completa a fin de salir de la etapa con una concentración de nitratos  $[N-NO_3]$  inferior a 4 mg/l para minimizar la producción de óxido nitroso  $N_2O$ ,
  - y se determina la tasa de derivación a partir:
    - de una medición de la concentración de nitratos  $[N-NO_3]$  de las aguas antes de la post-desnitrificación,
    - de la concentración de nitratos  $[N-NO_3]$  deseada para la mezcla de las dos fracciones después del tratamiento de post-desnitrificación,
    - y de la concentración de nitratos  $[N-NO_3]$  de la primera fracción a la salida de la post-desnitrificación, antes de las mezclas de las dos fracciones,
  - y se controla la inyección de donante de electrones utilizado con la ayuda:
    - por un lado, de la medición (9, 27b) de la concentración de nitratos  $[N-NO_3]$  de las aguas antes de la post-desnitrificación, y de la medición (10) del caudal de las aguas residuales,
    - y por otro lado, de una estimación de la carga nitrogenada (concentración  $[N-NO_3]$ ) de la primera fracción a la salida de la post-desnitrificación, antes de la mezcla de las dos fracciones, calculándose esta estimación en función de una medición (14) de la concentración de nitratos  $[N-NO_3]$  a la salida del tratamiento después de la mezcla de las dos fracciones, y de la tasa de derivación utilizada,
    - se compara el valor estimado o medido del caudal de donante de electrones con un valor de consigna deseado, y se modifica el caudal de donante de electrones inyectado para reducir la diferencia entre valor estimado y valor deseado.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que la primera fracción de las aguas residuales sale de la etapa de post-desnitrificación con una concentración de nitratos  $[N-NO_3]$  inferior a 2 mg/l.
3. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que la estimación de la concentración de nitratos  $[N-NO_3]$  de la primera fracción a la salida de la post-desnitrificación se efectúa en lógica difusa para definir un intervalo de valores posibles.
4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se controla el caudal de derivación determinando un valor de tasa de derivación, según las concentraciones de nitratos deseadas en los diferentes sitios del tratamiento, y se compara con valores umbrales superior e inferior ( $Q_{max\ pdn}$ ,  $Q_{min\ pdn}$ ), para adoptar un valor de consigna comprendido en los umbrales impuestos, y según la comparación del valor de consigna adoptado con un valor medido, se actúa sobre un elemento (15) modificando el caudal de derivación para alcanzar el valor de consigna.
5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el donante de electrones es una fuente de carbono (19) seleccionada entre el metanol, el ácido acético, el glicerol, o compuesto carbonado que se dispersa fácilmente en un reactor desnitrificante.
6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se efectúa una medición (9) de la concentración de nitratos  $[N-NO_3]$  y una medición (20) de oxígeno disuelto en agua antes de la post-desnitrificación, para estimar la carga nitrogenada equivalente.
7. Procedimiento de desnitrificación biológica de aguas residuales que comprende una secuencia de nitrificación-desnitrificación, permitiendo dicha secuencia de nitrificación-desnitrificación la eliminación del nitrógeno amoniacal

mediante una producción de nitratos (nitrificación) seguida de una producción de nitrógeno gaseoso  $N_2$  por desnitrificación (eliminación de los nitratos) que consiste en la reducción de los nitratos a nitritos y después en nitrógeno,

5 yendo seguida dicha secuencia de nitrificación-desnitrificación, para una primera fracción de las aguas, de una etapa de post-desnitrificación durante la cual se inyecta un donante de electrones en esta primera fracción, mientras que una segunda fracción de las aguas pasa por una derivación, y después se mezcla con la primera fracción después de la etapa de post-desnitrificación,

10 caracterizado por que:

- la primera fracción de las aguas residuales se somete, durante la post-desnitrificación, a una desnitrificación casi completa a fin de salir de la etapa con una concentración de nitratos  $[N-NO_3]$  inferior a 4 mg/l para minimizar la producción de óxido nitroso  $N_2O$ ,

15 - se determina la tasa de derivación a partir:

- de una medición de la concentración de nitratos  $[N-NO_3]$  de las aguas antes de la post-desnitrificación,

20 - de la concentración de nitratos  $[N-NO_3]$  deseada para la mezcla de las dos fracciones después del tratamiento de post-desnitrificación,

- y de la concentración de nitratos  $[N-NO_3]$  de la primera fracción a la salida de la post-desnitrificación, antes de la mezcla de las dos fracciones

25 - se mide (10) el caudal de entrada de aguas residuales a tratar antes de la derivación,

- se calcula el caudal de donante de electrones para asegurar la desnitrificación de la fracción no derivada teniendo en cuenta la tasa de derivación,

30 - se estima la concentración de  $NO_3$  a la salida de la post-desnitrificación, antes de la mezcla con la fracción derivada, a partir de una medición (14) de la concentración de  $NO_3$  después de la mezcla de la fracción derivada y de la que ha sufrido la post-desnitrificación, y del porcentaje de derivación,

35 - asegurándose un control del caudal de derivación para limitar la pérdida de sustrato carbonado relacionada con el oxígeno disuelto.

8. Instalación para la realización del procedimiento según la reivindicación 1 o 7, caracterizada por que comprende

40 - unos dispositivos de medición de caudal para:

- una medición (10) del caudal expresado mediante el término FIT  $Q_e$  a la salida de un trabajo aireado (3);

45 - una medición de caudal de derivación expresado mediante el término FIT  $Q_{pb}$ , o bien por una instrumentación directa (17), o bien por estimación a partir de una medición del caudal de entrada expresado mediante el término FIT  $Q_e$  y del caudal de alimentación de la post-desnitrificación;

50 - una medición de caudal a la entrada del trabajo de post-desnitrificación (6), o bien por instrumentación (21), o bien por estimación a partir de una medición del caudal de entrada expresado mediante el término FIT  $Q_e$  y de una medición del caudal de derivación expresado mediante el término FIT  $Q_{pb}$ ;

- un dispositivo (13) de regulación del caudal de derivación;

- unos sistemas (9, 20, 14) de medición de la calidad de agua, con transmisor adecuado,

55 - un dispositivo (18, 23) de regulación del caudal de donante de electrones.

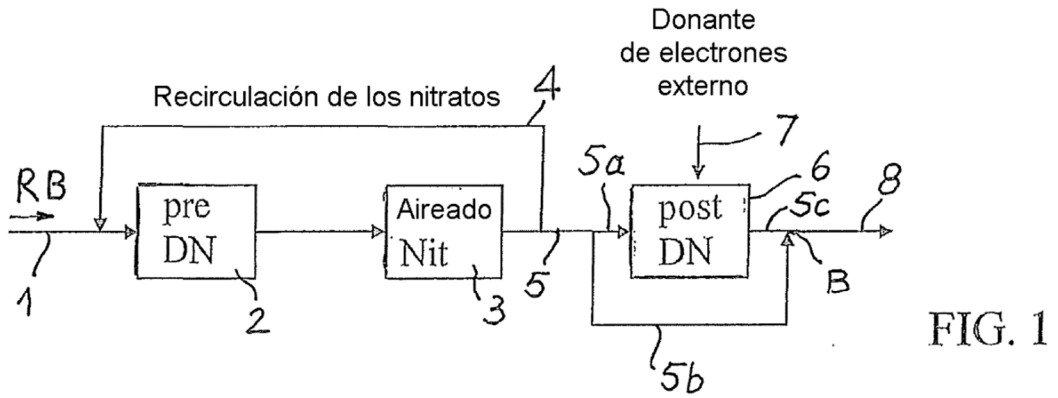


FIG. 1

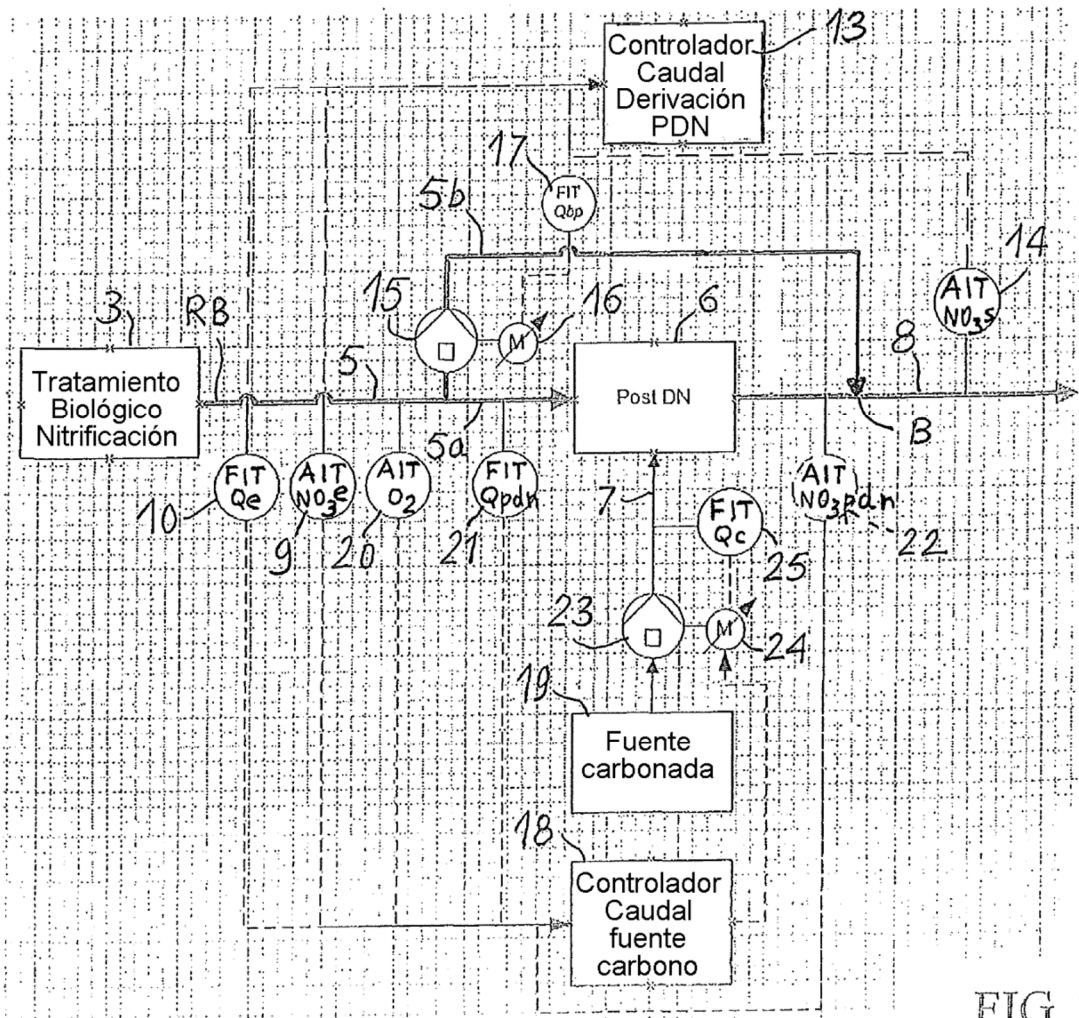


FIG. 2

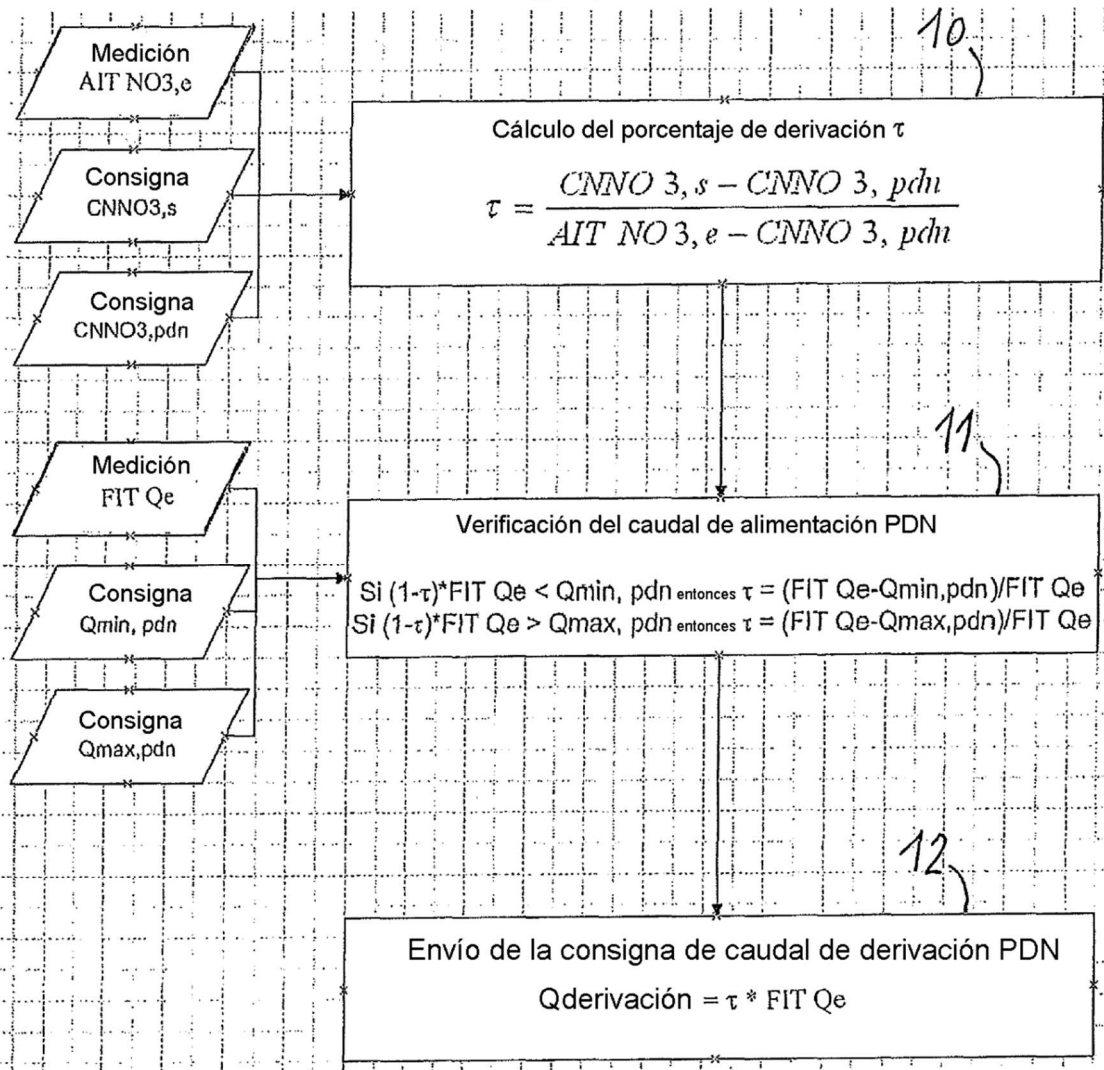


FIG. 3

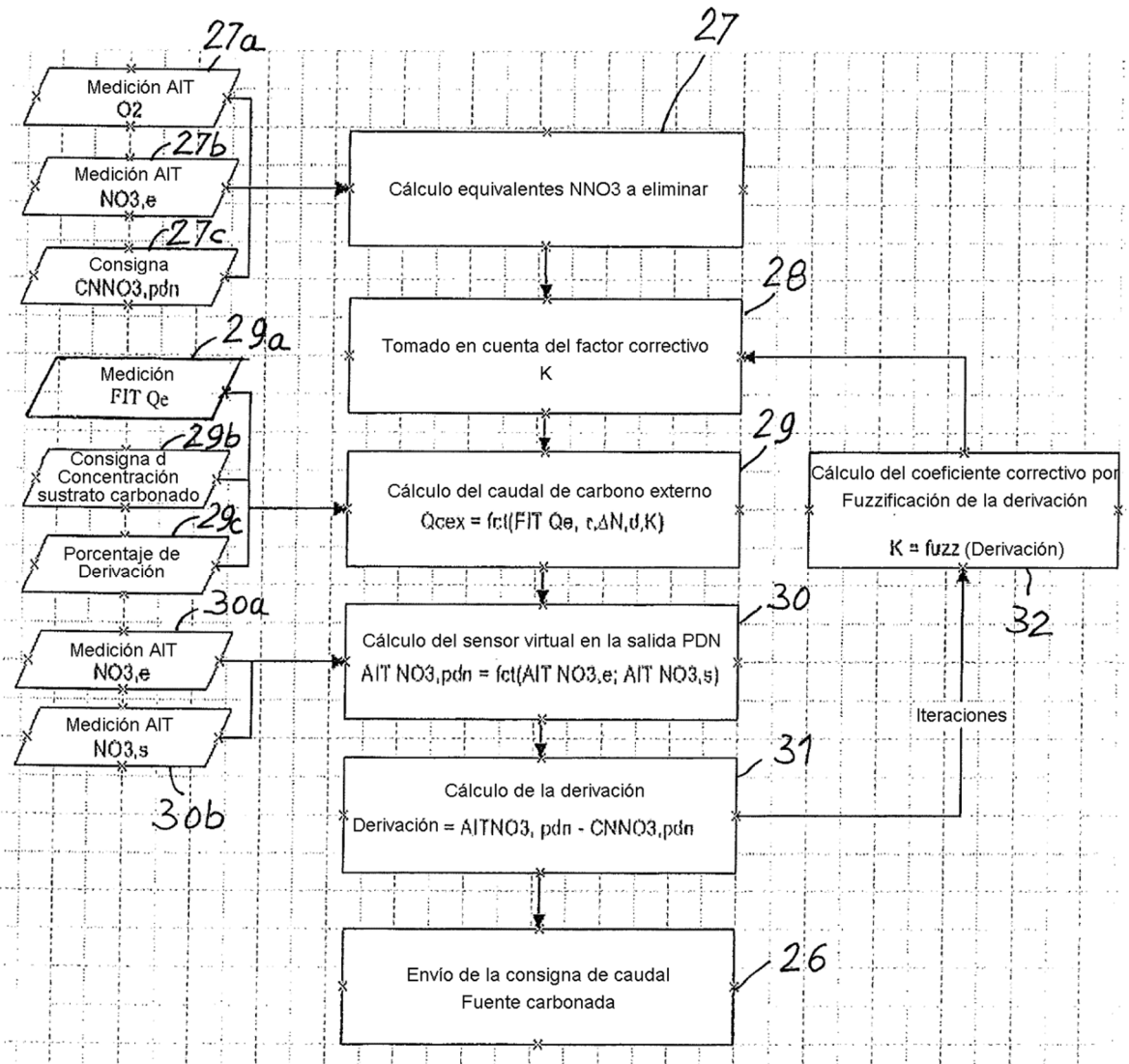


FIG. 4

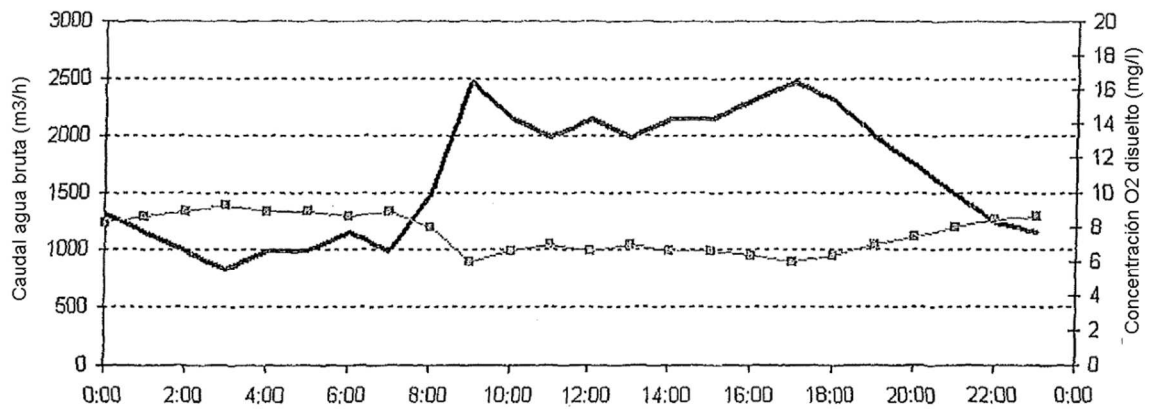


FIG. 5

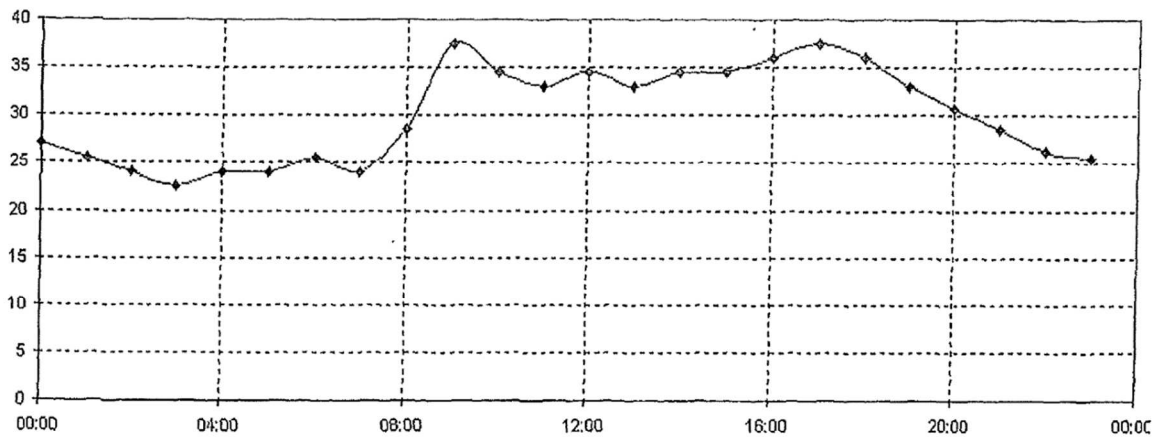


FIG. 6