

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 990 158**

51 Int. Cl.:

**C02F 1/461** (2013.01)  
**C02F 3/00** (2013.01)  
**C02F 3/30** (2013.01)  
**C02F 1/467** (2013.01)  
**C02F 9/00** (2013.01)  
**C02F 1/04** (2013.01)  
**C02F 1/28** (2013.01)  
**C02F 1/44** (2013.01)  
**C02F 103/20** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.11.2017** **PCT/EP2017/080994**  
87 Fecha y número de publicación internacional: **07.06.2018** **WO18100069**  
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.11.2017** **E 17804587 (8)**  
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.08.2024** **EP 3548439**

54 Título: **Método para la nitrificación de soluciones acuosas de amoníaco de alta concentración**

30 Prioridad:

**30.11.2016 EP 16201432**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la  
traducción de la patente:  
**29.11.2024**

73 Titular/es:

**EAWAG, EIDGENÖSSISCHE ANSTALT FÜR  
WASSERVERSORGUNG, ABWASSERREINIGUNG  
UND GEWÄSSERSCHUTZ (100.0%)  
Überlandstrasse 133  
8600 Dübendorf, CH**

72 Inventor/es:

**UDERT, KAI, MARKUS y  
ZÖLLIG, HANSPETER**

74 Agente/Representante:

**ERVITI ARBAIZA, Blanca María**

ES 2 990 158 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

Método para la nitrificación de soluciones acuosas de amoníaco de alta concentración

## 5 Campo de la invención

La presente invención se refiere en general a un método para la nitrificación biológica de soluciones acuosas de amoníaco de alta concentración, tales como orina, estiércol, sobrenadante del digestor o lixiviado de vertedero. De manera más particular, se refiere a un principio de funcionamiento asistido electroquímicamente y autoajutable para lo anterior.

## Antecedentes de la invención

La separación de la orina en origen es un enfoque prometedor para reciclar los nutrientes de las aguas residuales porque la mayoría de los macronutrientes excretados por los humanos (nitrógeno, fósforo, potasio) están contenidos en la orina (Larsen *et al.*, 2009). Se ha demostrado que la evaporación del agua es el proceso más prometedor para recuperar todos estos nutrientes de la orina en una solución concentrada (Udert y Wächter, Water Research 46 (2012) 453-464). Sin embargo, antes de que el agua pueda evaporarse, la orina debe estabilizarse para evitar la volatilización del amoníaco, lo que se logra bajando el valor del pH, por ejemplo, añadiendo un ácido (Ek *et al.*, Water Science and Technology 54 (2006) 437-444) o por nitrificación (Udert y Wächter, 2012, loc. cit.).

Agregar un ácido es ineficiente porque la orina después de la hidrólisis espontánea de urea está bien amortiguada y plantea riesgos de seguridad debido a la manipulación necesaria de ácidos fuertes.

La nitrificación es un método más adecuado. Es un proceso biológico en el que intervienen dos grupos bacterianos: bacterias oxidantes de amoníaco (AOB) y bacterias oxidantes de nitrito (NOB). Las AOB oxidan el amoníaco a nitrito y las NOB oxidan el nitrito a nitrato. Sin embargo, las NOB son inhibidas por el nitrito ya en bajas concentraciones, lo que puede conducir fácilmente a la acumulación de nitrito y al fracaso del proceso (Fumasoli *et al.*, 2016; Udert y Waechter, 2012, loc. cit.). La inhibición de las NOB puede aparecer cuando la actividad de las AOB, y con ella la producción de nitrito, aumenta debido a un cambio en las condiciones operativas, como un cambio en el pH, temperatura o la carga de afluente.

Como alternativa a una nitrificación totalmente biológica que se basa en una interacción delicada y desafiante de AOB y NOB, Udert y Waechter, 2012, loc. cit., han considerado llevar a cabo los procesos de AOB y NOB en dos reactores separados. Esta separación permite tener altas concentraciones de nitrito en el primer reactor sin encontrarse con problemas causados por la inhibición de NOB a altas concentraciones de nitrito. Para ello se han considerado dos posibles implementaciones. La primera posibilidad implica la oxidación biológica del amonio seguida de una oxidación puramente química del nitrito. La segunda posibilidad concreta es la oxidación biológica del amonio seguida de una oxidación puramente electroquímica del nitrito. Sin embargo, en vista de diversas dificultades potenciales, estos autores decidieron adoptar un enfoque diferente.

Faraghi y Ebrahimi, Biotechnol. Lett. 34 (2012) 1483-1486, también analiza la nitrificación totalmente biológica basada en AOB y NOB, así como un enfoque alternativo que utiliza un reactor para la oxidación biológica de amonio con alta concentración de nitrito en el efluente seguido de una etapa de oxidación química o fotoquímica de nitrito. Como posibilidad adicional, estos autores adoptaron un esquema basado en la oxidación biológica del amonio seguido de una etapa puramente electroquímica basada en un proceso de celda de combustible microbiano en un entorno de ánodo anaeróbico.

El documento US 2013/112601 A1 divulga en general sistemas bioelectroquímicos adecuados para la desnitrificación y el control del pH.

En principio se conocen métodos para medir y controlar la concentración de nitrito en muestras acuosas. Por ejemplo, la patente US5382331 A aborda el problema de la detección y el control en línea de nitrito en el contexto del control de la corrosión en tuberías de agua de acero, que se basa en la adición de nitrito como inhibidor. El principio de medición utilizado es la correlación de la corriente con la concentración de nitrito en una medición cronoamperométrica. En cambio, la patente GB2174207 A trata de la determinación continua de nitrito y nitrato en medios acuosos. Se basa en la oxidación potencioestática del nitrito a nitrato en un electrodo de platino o carbón vítreo y la determinación del nitrito a partir de la corriente resultante. No se aborda la eliminación de nitrito.

La patente EP2619142 A1 aborda la eliminación de nitrato y amoníaco de las aguas residuales. La invención es una eliminación combinada de amoníaco y nitrato en un electrolizador de flujo continuo indiviso. El nitrato se reduce a amoníaco en una aleación de cobre y níquel y el amoníaco se oxida a N<sub>2</sub> sobre un ánodo dimensionalmente estable. El nitrito se menciona como un subproducto de la reducción de nitrato, que se oxida a nitrato en el ánodo. El control del nitrito no es el foco del proceso y no se prevé ningún acoplamiento a un proceso biológico.

En vista de todo lo anterior, existe la necesidad de un proceso de nitrificación mejorado que supere o al menos reduzca

las desventajas mencionadas anteriormente, particularmente los problemas causados por la inhibición de NOB causada por el nitrito producido en la primera etapa de la reacción.

## Sumario de la invención

5

Las tareas anteriores y otras se resuelven mediante la presente invención.

De acuerdo con la invención (reivindicación 1), se proporciona un método de nitrificación biológica de un medio acuoso que contiene amoníaco, en donde en una primera etapa de oxidación el amoníaco se oxida a nitrito por bacterias oxidantes de amoníaco (AOB) y en donde en una segunda etapa de oxidación el nitrito se oxida a nitrato por bacterias oxidantes de nitrito (NOB), caracterizado porque se aplica un proceso complementario de eliminación de nitrito que tiene una tasa de eliminación de nitrito que depende de la concentración instantánea de nitrito en el medio acuoso.

De acuerdo con la invención, el proceso complementario comprende exponer el medio acuoso a una celda de electrolisis operada potencioestáticamente que comprende un ánodo, un cátodo y un electrodo de referencia, en donde el potencial del ánodo se mantiene en un valor fijo contra el electrodo de referencia (por ejemplo, un electrodo de plata/cloruro de plata (Ag/AgCl), un electrodo de mercurio/sulfato de mercurio (MSE), o un electrodo de calomelanos saturado (SCE)), el valor de potencial fijo es de 0,4 V a 2,0 V frente a una referencia de electrodo de hidrógeno estándar (SHE). Este es el potencial mínimo requerido para la oxidación del nitrito. Al mismo tiempo, el potencial superior debe mantenerse lo suficientemente bajo para evitar la oxidación del cloruro. El valor del límite de potencial superior depende del tipo de electrodo, pero generalmente no debe exceder los 2,0 V. Manteniendo el potencial del ánodo en el rango de 0,4 a 2,0 V, particularmente de 0,9 a 1,5 V, preferiblemente alrededor de 1,2 V frente a SHE o inferior, en la orina nitrificada y en medios acuosos similares que contienen amoníaco se producen muy pocas reacciones competitivas, lo que produce solo una pequeña corriente de fondo en caso de que no haya nitrito presente. El nitrito, sin embargo, comienza a oxidarse en los ánodos de grafito a aproximadamente 0,9 V frente a SHE. Así, la presencia de nitrito conduce a una oxidación muy selectiva a nitrato a un potencial de ánodo de aproximadamente 1,2 V frente a SHE.

La presente invención resuelve el problema de la acumulación de nitrito y la inestabilidad del proceso resultante durante la nitrificación al ayudar a la oxidación biológica del nitrito por NOB proporcionando un proceso complementario de eliminación de nitrito. El término "dependiente de la concentración instantánea de nitrito en el medio acuoso" deberá interpretarse ampliamente. En general, la tasa de eliminación de nitrito dependerá del tipo de proceso suplementario y podría ser casi constante en un cierto rango de concentración o podría depender esencialmente de manera lineal de la concentración de nitrito o podría tener una dependencia de concentración más compleja. En una realización preferida, la tasa de eliminación de nitrito es una función que aumenta monótonamente de la concentración de nitrito, es decir, una función que es creciente o constante. Una ventaja clave de tener un proceso suplementario regulado de eliminación de nitrito es que la tasa de eliminación de nitrito aumenta cuando es particularmente necesario para mantener la concentración de nitrito lo suficientemente baja, o para reducir la concentración de nitrito a niveles aceptables, para permitir suficiente actividad de NOB para seguir oxidando el nitrito producido por AOB.

En el presente contexto, por "concentración instantánea" de nitrito se entenderá la concentración de nitrito en un momento determinado. En la práctica, la medición de la concentración subyacente se obtendrá durante un tiempo de medición determinado y puede tomarse en una o posiblemente en varias ubicaciones en el medio acuoso. El experto en la materia sabrá que, dependiendo de la situación específica, puede ser necesario tomar promedios apropiados de datos de medición de tal manera que se logre la tarea principal, es decir, evitar una concentración excesiva de nitrito en la región donde se lleva a cabo la nitrificación.

En las reivindicaciones dependientes se definen realizaciones ventajosas y se describen con más detalle a continuación.

El proceso es aplicable a una variedad de medios acuosos que contienen amoníaco, como estiércol, sobrenadante del digestor o lixiviado de vertedero. De acuerdo con una realización ventajosa, el medio acuoso es la orina, particularmente orina separada en origen (reivindicación 2).

Se pueden prever varios métodos adicionales para llevar a cabo el proceso complementario de eliminación de nitrito. Por ejemplo, es posible monitorear la concentración instantánea de nitrito fotométricamente o con un sensor de nitrito selectivo y utilizar algún tipo de mecanismo de retroalimentación para dirigir un proceso que reduzca la concentración de nitrito. En principio, el último proceso podría implicar la adición de un reactivo adecuado. Por ejemplo, se podría pasar el medio acuoso a través de un reactor auxiliar mantenido en condiciones libres de oxígeno y agregar especies orgánicas adecuadas para promover la desnitrificación. Como alternativa, si el método global se lleva a cabo en modo de flujo continuo, la eliminación controlada de nitrito se logra ventajosamente reduciendo la tasa del medio influente.

El término "exponer el medio acuoso a una celda de electrolisis operada potencioestáticamente" debe entenderse en un sentido amplio. Comprenderá, como ejemplo, el caso de que el medio acuoso esté en contacto con el cátodo y el ánodo de la celda de electrolisis simplemente sumergidos en un recipiente de reacción que contiene el medio acuoso.

Pero también comprenderá, como otro ejemplo, el caso en el que la celda de electrólisis está dispuesta separada del recipiente de reacción y el medio acuoso es forzado a fluir a través de la celda de electrólisis y de regreso al recipiente de reacción.

- 5 En el contexto de la nitrificación biológica, la realización con celda de electrólisis operada potencioestáticamente es muy beneficiosa por dos razones. Si el nitrito se acumula debido a la alta actividad de AOB, la celda de electrólisis comienza automáticamente a degradar el nitrito. No es necesario detectar ni monitorear nitritos porque la celda de electrólisis se enciende automáticamente y no es necesario agregar productos químicos. Además, es beneficioso que solo fluyan pequeñas corrientes si no hay nitrito presente. Esto reduce la demanda de energía durante la fase estable de la nitrificación biológica de la orina. Cuando la celda electroquímica funciona en modo potencioestático, la corriente y con ella la tasa de oxidación del nitrito aumentan con la concentración de nitrito. Este efecto equilibra el comportamiento de la oxidación biológica del nitrito: en las concentraciones críticas, cuando se aplicará este proceso, la tasa de oxidación biológica del nitrito disminuye cuando el nitrito se acumula. En otras palabras, el uso de la oxidación electroquímica de nitrito convierte la nitrificación de un proceso de retroalimentación positiva a un proceso de retroalimentación negativa, que se estabiliza.

Se entenderá que el ánodo y el cátodo se pueden seleccionar entre una variedad de tipos y diseños. Ventajosamente, tanto el ánodo como el cátodo están configurados como electrodos de grafito (reivindicación 3).

- 20 Si bien el proceso descrito anteriormente generalmente funcionará con un potencial de ánodo mantenido en el rango de 0,4 a 2,0 V frente a una referencia de electrodo de hidrógeno estándar (SHE), es preferible por las razones mencionadas anteriormente utilizar un valor en el rango de 0,9 a 1,5 V, particularmente de 1,1 a 1,3 V, y más particularmente de 1,1 a 1,3 V, es decir, aproximadamente 1,2 V (reivindicación 4).

- 25 De acuerdo con una realización ventajosa, la corriente eléctrica que fluye a través del ánodo o la tensión aplicada se utiliza para cuantificar la concentración de nitrito presente en la celda de electrólisis (reivindicación 5). De esta manera, el proceso detecta y cuantifica el nitrito mientras lo elimina al mismo tiempo.

- 30 En general, se ha comprobado que resulta ventajoso mantener el valor de pH del medio acuoso en el reactor en el rango de 5,4 a 8,0 (reivindicación 6).

De acuerdo con una realización adicional (reivindicación 7), el método de nitrificación comprende además una etapa de eliminación de microcontaminantes contenidos en las aguas residuales. Esto se puede hacer, por ejemplo, mediante un sistema de filtro de carbón activado adecuadamente configurado.

- 35 Ventajosamente (reivindicación 8), el método de nitrificación se lleva a cabo como un proceso de flujo continuo en donde el medio acuoso que contiene amoníaco con una concentración inicial de amoníaco fluye hacia una zona de reacción donde se somete a dichas primera y segunda etapas de oxidación y posteriormente fluye fuera de la zona de reacción con una concentración de amoníaco comparativamente menor. En este proceso también se produce una descomposición de una fracción sustancial de los compuestos orgánicos inicialmente presentes en el medio acuoso, lo cual es especialmente favorable cuando se utiliza un sistema de filtro de carbón activado.

En una realización (reivindicación 9), el valor de pH del medio acuoso se mantiene controlando la velocidad de entrada del medio acuoso que contiene amoníaco.

- 45 De acuerdo con otra realización más (reivindicación 10), el método de nitrificación biológica definido anteriormente comprende además una etapa posterior de eliminación de agua. Esto es particularmente útil como implementación de un método para reciclar nutrientes de aguas residuales ricas en nitrógeno y otros nutrientes. Un ejemplo es la orina. De acuerdo con una realización (reivindicación 11), la eliminación de agua se efectúa por evaporación. De forma alternativa o adicional, la eliminación de agua puede efectuarse mediante ósmosis inversa o cualquier otro proceso físico adecuado.

- 50 Un aparato (que no forma parte de la invención) para llevar a cabo el método de la invención comprende un recipiente de reacción que funciona como un reactor de depósito agitado de flujo continuo conectado a una celda de electrólisis de placas paralelas de flujo continuo equipada con un ánodo, un cátodo y un electrodo de referencia, el aparato que comprende medios de bombeo para recircular el medio acuoso contenido en el recipiente de reacción a través de la celda de electrólisis y medios de regulación potencioestática para mantener el potencial del ánodo en un valor fijo frente al electrodo de referencia, el recipiente de reacción se carga con un medio acuoso suplementado con AOB y NOB, y el medio de regulación potencioestática se configura para mantener el valor de potencial fijo a al menos 0,4 V frente a SHE. Como se entenderá, el medio acuoso contendrá al menos algunas pequeñas cantidades de amoníaco.

- 65 Los dispositivos potencioestáticos que incluyen los circuitos de control electrónico necesarios para garantizar su funcionamiento estable son básicamente conocidos por el experto en la materia. En la configuración más simple de tres electrodos, comprenden un electrodo de trabajo, un contraelectrodo y un electrodo de referencia. El sistema funciona manteniendo el potencial del electrodo de trabajo a un nivel constante con respecto al electrodo de referencia, lo cual se consigue ajustando la corriente en el contraelectrodo. Como se entenderá, si se utiliza un dispositivo de este

tipo para oxidar el nitrito, el ánodo actúa como electrodo de trabajo mientras que el cátodo actúa como contraelectrodo. También se entenderá que el electrodo de referencia utilizado en tal disposición no necesita ser un electrodo de hidrógeno estándar (SHE, por sus siglas en inglés). La referencia a un potencial definido frente al SHE, lo cual es una definición conveniente, implica que si se utiliza otro tipo de electrodo de referencia será necesario tener debidamente en cuenta el potencial del electrodo de referencia frente al SHE.

De acuerdo con una variante del aparato, los medios de regulación potencioestática están configurados para mantener el valor de potencial fijo en el rango de 0,4 a 2,0 V, particularmente de 0,9 a 1,5 V, más particularmente 1,1 a 1,3 V frente al SHE.

De acuerdo con una variante ventajosa del aparato, el electrodo de referencia es un electrodo de plata/cloruro de plata (Ag/AgCl), un electrodo de mercurio/sulfato mercurioso (MSE) o un electrodo de calomelanos saturado (SCE).

De acuerdo con una variante más, el aparato comprende además medios para eliminar microcontaminantes del medio acuoso. Esta eliminación puede lograrse, por ejemplo, mediante ozonización o mediante adsorción utilizando medios de adsorción adecuados. En particular, los medios de adsorción pueden comprender un sistema de filtro de carbón activado.

### Breve descripción de los dibujos

Las características y objetos mencionados anteriormente y otros de esta invención y la manera de lograrlos se harán más evidentes y la invención en sí se entenderá mejor con referencia a la siguiente **Descripción de las realizaciones** de esta invención tomadas en conjunto con los dibujos adjuntos, en donde se muestran:

- Fig. 1 una representación esquemática de un aparato para llevar a cabo la nitrificación biológica de un medio acuoso que contiene amoníaco;
- Fig. 2 una comparación de las tasas de oxidación biológica y electroquímica de nitrito totales resultantes de una serie de experimentos por lotes; y
- Fig. 3 a) concentraciones de amoníaco, nitrito y nitrato en función del tiempo antes y después de un aumento repentino de carga del 40 %. b) densidad de corriente, Concentración de  $O_2$  y valor de pH durante el mismo experimento.

### Descripción detallada de la invención

El aparato mostrado en la Fig. 1 comprende una celda de electrólisis operada potencioestáticamente acoplada a un reactor de nitrificación de orina biológica. La nitrificación se lleva a cabo en un reactor de depósito agitado de flujo continuo (CSTR). El contenido del reactor se recircula simultáneamente a través de una celda de electrólisis por medio de una bomba. La celda de electrólisis consta de una celda de flujo de placas paralelas equipada con un ánodo de grafito y un cátodo de grafito. Sin embargo, la celda electroquímica también debería funcionar con otros tipos de electrodos, es decir, con otros materiales y formas de electrodos. Se utiliza un electrodo de referencia para controlar el potencial del ánodo. La oxidación electroquímica de nitrito se activa automáticamente tan pronto como hay concentraciones elevadas de nitrito en el reactor.

### Ejemplos

En una primera serie de experimentos por lotes, se añadió una cantidad creciente de nitrito como pulso a un reactor de nitrificación de orina en funcionamiento acoplado a una celda de electrólisis. Luego se evaluaron las tasas de oxidación de nitrito en función de la concentración de nitrito. Con la ayuda de un balance de masa de nitrógeno, se puede determinar la proporción de oxidación biológica y electroquímica del nitrito (Fig. 2). La oxidación biológica del nitrito fue el proceso dominante hasta que se alcanzó una concentración de  $40 \text{ gN} \cdot \text{m}^{-3}$ . En concentraciones de nitrito superiores a  $40 \text{ gN} \cdot \text{m}^{-3}$ , la tasa de oxidación electroquímica del nitrito fue mayor. La oxidación biológica del nitrito aumentó hasta que se alcanzó una concentración de  $15 \text{ gN} \cdot \text{m}^{-3}$ . Por encima de esta concentración, la actividad de NOB disminuyó debido a la inhibición. La tasa de oxidación electroquímica del nitrito aumentó linealmente hasta una concentración de nitrito de  $90 \text{ gN} \cdot \text{m}^{-3}$  alcanzando un valor de aproximadamente  $400 \text{ gN} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ . La pendiente de la línea recta depende de la proporción entre la superficie del electrodo y el volumen del reactor y del potencial de ánodo aplicado. Cuanto mayor sea la superficie del electrodo proporcionada para un volumen de reactor determinado, más pronunciada será la pendiente.

La segunda serie de experimentos consistió en experimentos de aumento de carga de afluente. El flujo de entrada se incrementó a partir de una carga base de orina almacenada en la que la nitrificación biológica funcionaba de manera estable. La carga de afluente se incrementó del 5 % al 100 % de la carga base. El aumento de la carga de amoníaco y del pH provocó una mayor actividad de AOB y acumulación de nitrito. Cuando la carga de afluente aumentó hasta un 20 %, la acumulación de nitrito fue insignificante, lo que significa que la actividad de NOB pudo seguir el ritmo de la actividad de AOB. Aumentos de carga de más del 20 % y hasta el 40 % provocaron la acumulación de nitrito y la oxidación electroquímica del nitrito (Fig. 3). Las concentraciones de nitrito alcanzaron valores de hasta  $12 \text{ gN} \cdot \text{m}^{-3}$  y se estimó que la oxidación electroquímica del nitrito representaba aproximadamente el 15 % de la oxidación del nitrito

como máximo. Manteniendo bajas las concentraciones de nitrito, la oxidación electroquímica de nitrito permitió que más NOB creciera en el sistema y se adaptara a la mayor carga de afluente.

## REIVINDICACIONES

1. Un método de nitrificación biológica de un medio acuoso que contiene amoníaco, en donde en una primera etapa de oxidación el amoníaco se oxida a nitrito por bacterias oxidantes de amoníaco (AOB) y en donde en una segunda etapa de oxidación el nitrito se oxida a nitrato por bacterias oxidantes de nitrito (NOB), en donde se aplica un proceso complementario de eliminación de nitrito que tiene una tasa de eliminación de nitrito que depende de la concentración instantánea de nitrito en el medio acuoso,  
5 **caracterizado por que** el proceso complementario comprende exponer el medio acuoso a una celda de electrólisis operada potencioestáticamente que comprende un ánodo, un cátodo y un electrodo de referencia, en donde el potencial  
10 del ánodo se mantiene en un valor fijo con respecto al electrodo de referencia, el valor de potencial fijo es de 0,4 V a 2,0 V frente a una referencia de electrodo de hidrógeno estándar (SHE).
2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el medio acuoso es orina.
- 15 3. El método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde el ánodo y el cátodo están configurados como electrodos de grafito.
4. El método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el potencial del ánodo se mantiene en un valor en el rango de 0,9 a 1,5 V, más particularmente 1,1 a 1,3 V frente al SHE.
- 20 5. El método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, en donde la corriente eléctrica que fluye a través del ánodo o la tensión aplicada se utiliza para cuantificar la concentración de nitrito presente en la celda de electrólisis.
6. El método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, en donde el valor de pH del medio acuoso se mantiene en el intervalo de 5,4 a 8,0.
- 25 7. El método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende además una etapa de eliminación de microcontaminantes contenidos en las aguas residuales.
8. El método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, que se lleva a cabo como un proceso de flujo continuo en donde un medio acuoso que contiene amoníaco con una concentración inicial de amoníaco fluye hacia una zona de reacción donde se somete a dichas primera y segunda etapas de oxidación y, posteriormente, fluye fuera de la zona de reacción con una concentración de amoníaco comparativamente menor.
- 30 9. El método de acuerdo con las reivindicaciones 7 y 8, en donde el valor de pH del medio acuoso se mantiene controlando la velocidad del flujo de entrada del medio acuoso que contiene amoníaco.
10. El método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 9, seguido de una etapa de eliminación de agua.
- 40 11. El método de acuerdo con la reivindicación 10, en donde la etapa de eliminación de agua se efectúa por evaporación.

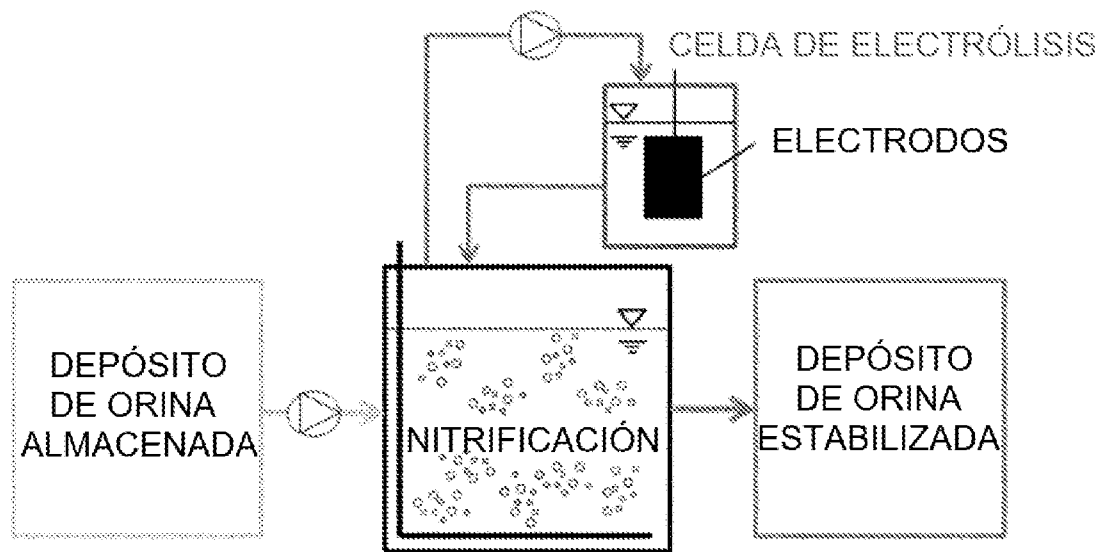


Fig. 1

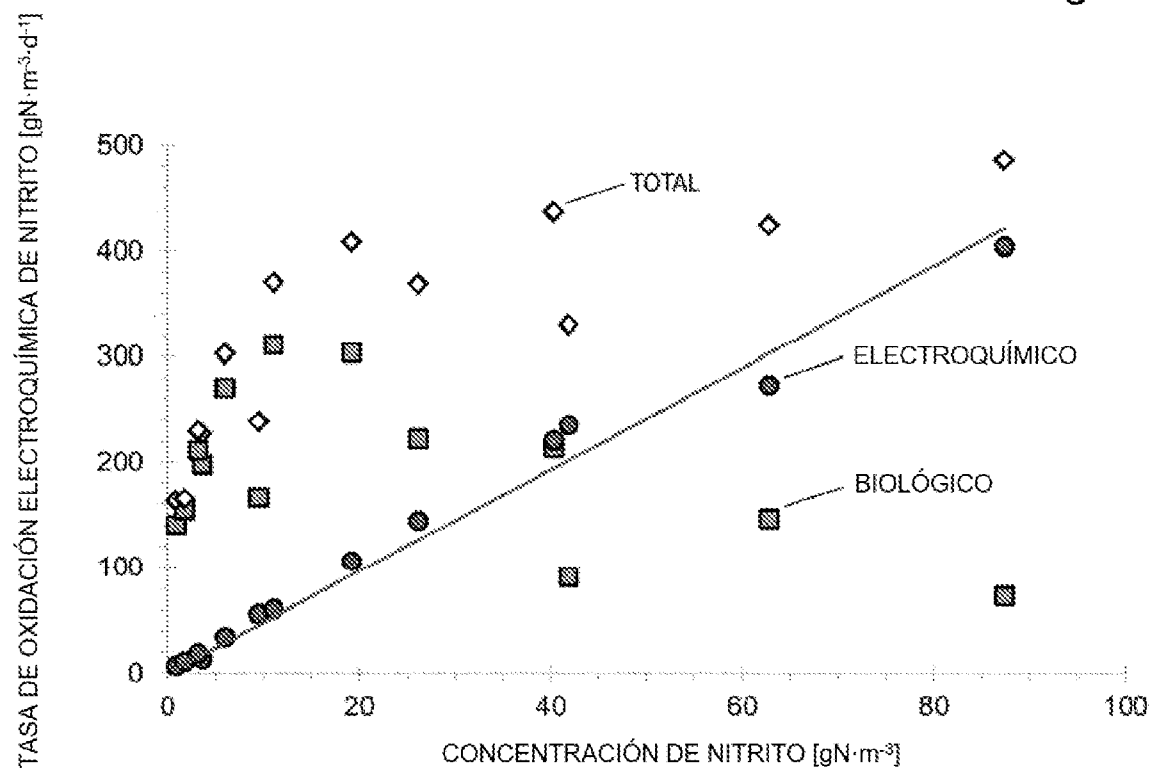


Fig. 2



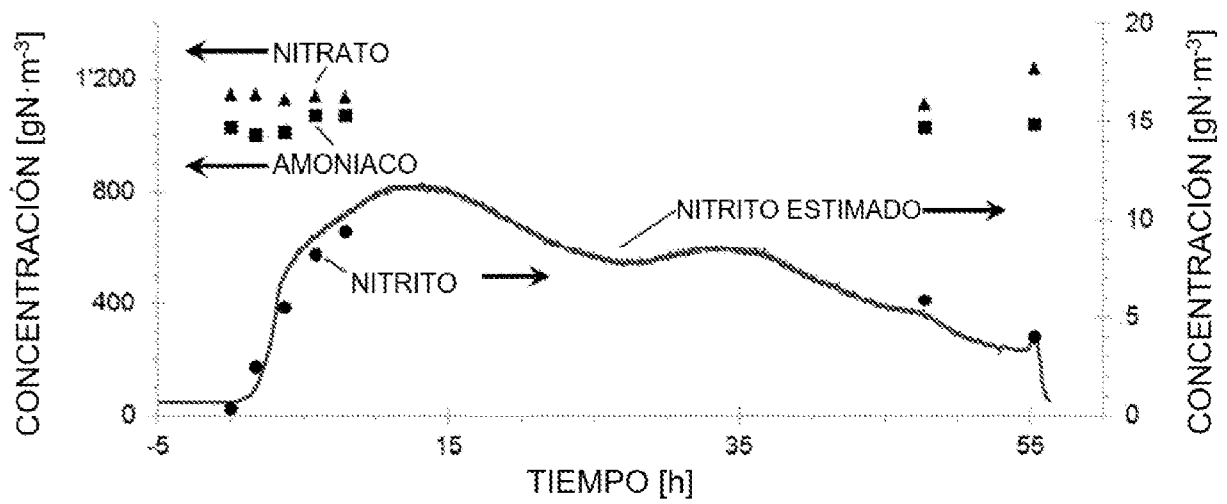


Fig. 3a

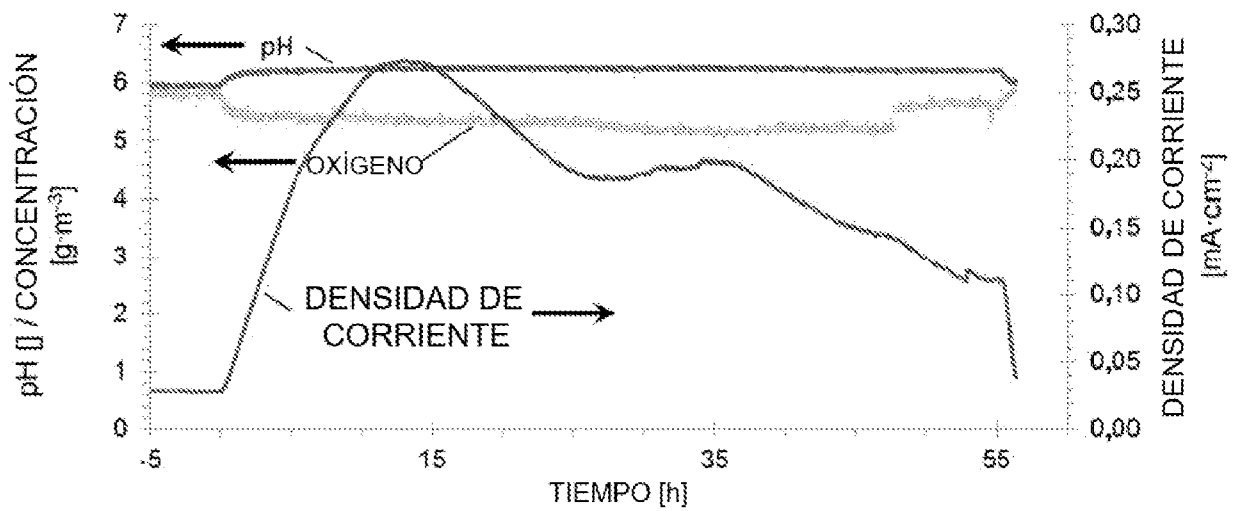


Fig. 3b