

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 775 237**

51 Int. Cl.:

C02F 3/12 (2006.01)

C02F 3/30 (2006.01)

C02F 3/10 (2006.01)

C02F 11/04 (2006.01)

C02F 101/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.09.2015 PCT/EP2015/072008**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.03.2016 WO16046330**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.09.2015 E 15771911 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2020 EP 3197838**

54 Título: **Procedimiento Anammox en una instalación de aguas residuales**

30 Prioridad:

24.09.2014 SE 1451128

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

24.07.2020

73 Titular/es:

**VEOLIA WATER SOLUTIONS & TECHNOLOGIES
SUPPORT (100.0%)
1 Place Montgolfier, Immeuble L'Aquarène
94410 Saint-Maurice, FR**

72 Inventor/es:

**CHRISTENSSON, MAGNUS;
WELANDER, THOMAS y
PICULELL, MARIA**

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 775 237 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 Anammox en una instalación de aguas residuales

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para convertir amonio de una corriente principal de una instalación de aguas residuales en gas dinitrógeno. El procedimiento incluye separar compuestos de carbono biodegradables en la corriente principal, después de lo cual el amonio en la corriente principal es convertido en nitrito en un procedimiento biológico aireado que contiene bacterias oxidantes de amonio (AOB) en un recipiente de nitrificación. El nitrito en la corriente resultante es seguidamente convertido en gas dinitrógeno en un recipiente Anammox.

10 **Técnica anterior**

En la técnica del tratamiento de aguas residuales, es crucial reducir el contenido de compuestos de nitrógeno, principalmente de amonio, de la corriente de aguas residuales. Actualmente, esto se consigue habitualmente mediante la oxidación biológica aeróbica de nitrógeno a partir de amonio (NH_4^+) en nitrato (NO_3^-) (nitrificación) seguido de desnitrificación, la reducción del nitrato a gas nitrógeno. El gas nitrógeno es liberado a la atmósfera y por tanto separado del agua. El procedimiento de desnitrificación tiene lugar bajo condiciones anóxicas y requiere un donante de electrones, habitualmente en la forma de un material orgánico biodegradable para reducir el nitrato.

15 La nitrificación en sí es un procedimiento aeróbico de dos etapas, en que cada etapa está facilitada por un tipo diferente de bacteria. La oxidación de amonio (NH_4^+) a nitrito (NO_2^-) está facilitada por la denominada bacteria oxidante de amonio (AOB), por ejemplo, *Nitrosomonas spp.* ("nitroso" haciendo referencia a la formación de un grupo funcional nitroso). La oxidación de nitrito a nitrato (NO_3^-) se lleva a cabo mediante la denominada bacteria oxidante de nitrito (NOB), como *Nitrospira spp.* (haciendo referencia nitro a la formación de un grupo funcional nitro).

20 La desnitrificación requiere condiciones anóxicas. Está facilitada por una amplia diversidad de bacterias. Como la desnitrificación es la reducción de nitrato a gas dinitrógeno, es necesario un donante de electrones. Este puede ser, dependiendo del agua residual, una materia orgánica biodegradable (por ejemplo, de heces), sulfuro o un donante añadido como metanol.

25 En el tratamiento de aguas residuales, tanto la nitrificación como la desnitrificación se llevan a cabo habitualmente mediante el procedimiento de lodos activados, pero también mediante diferentes tipos de procedimientos de película biológica. La nitrificación, que es un procedimiento aeróbico, se lleva a cabo normalmente con el suministro de aire que proporciona oxígeno para la oxidación y la mezcla de los contenidos del reactor. Los depósitos de desnitrificación, que funcionan sin aire, son mezclados normalmente de forma mecánica, por ejemplo, usando mezcladores sumergibles, con el fin de asegurar un buen contacto entre el agua residual y la biomasa activa con el fin de conseguir la desnitrificación deseada.

30 La forma tradicional de separar nitrógeno a través de nitrificación y desnitrificación requiere energía y consumo de recursos. La oxidación de amonio a nitrato requiere un gran aporte de energía para la aireación para el suministro de oxígeno. Son necesarias grandes cantidades de materia orgánica para la desnitrificación, que puede ser añadida en la forma de productos químicos orgánicos como metanol. Alternativamente, el procedimiento de desnitrificación se puede llevar a cabo mediante la denominada predesnitrificación, en la que el contenido orgánico del agua residual en sí se usa para reducir nitrato. Sin embargo, incluso en este caso, es altamente deseable reducir o eliminar la cantidad de materia orgánica necesaria para la separación de nitrógeno, y se considera una fuente a partir de la cual pueda ser recuperada energía en forma de biogás aplicando un tratamiento anaeróbico.

35 Una posibilidad de reducir el consumo de energía y materia orgánica para la separación de nitrógeno es aplicar el procedimiento denominado SHARON. Este procedimiento recurre a la utilización de una nitrificación parcial, es decir, nitrificación, que es la oxidación de amonio a nitrito, es decir, NO_2^- , seguido de desnitrificación, es decir, la reducción de nitrito a gas dinitrógeno, N_2 , con el consumo de materia orgánica. En comparación con la nitrificación/desnitrificación tradicional, el procedimiento SHARON reduce las cantidades de oxígeno y de materia orgánica necesarias. Sin embargo, la aplicación del procedimiento SHARON ha estado limitada a corrientes de aguas residuales con

concentraciones elevadas de amonio y temperatura elevada (>20° C) ya que no es posible mantener una nitrificación estable a concentraciones y temperaturas de amonio inferiores. Bajo condiciones normales para la corriente principal de aguas residuales municipales, es decir, baja concentración de amonio y al menos bajas temperaturas de temporada, la segunda etapa de nitrificación, es decir, la oxidación de nitrito a nitrato se ha comprobado que es más rápida que la primera etapa, es decir, la oxidación de amonio a nitrito, por lo que no ha sido posible una nitrificación estable sin formación de nitrato. Por lo tanto, el procedimiento SHARON es aplicado solo a corrientes como aguas expulsadas de la deshidratación de lodos que tienen una concentración de amonio y temperatura elevada.

Un desarrollo más reciente para la separación de nitrógeno es el denominado procedimiento Anammox. En este procedimiento, una corriente de agua residual es sometida a una oxidación de parte del contenido de amonio a nitrito. En un procedimiento anóxico posterior realizado mediante la bacteria denominada anammox, el nitrito formado y el amonio restante reaccionan para formar agua (H₂O) y gas dinitrógeno (N₂), una reacción denominada desamonificación anóxica. El procedimiento anammox tiene grandes ventajas ya que reduce el oxígeno necesario en un 60% y elimina completamente la necesidad de materia orgánica, en comparación con la nitrificación/desnitrificación tradicional. El procedimiento anammox se puede llevar a cabo con un tipo de procedimiento de lodo activado basado en el denominado lodo granular, es decir, agregados densos de bacterias, o con diferentes tipos de procedimientos de formación de película, el crecimiento de biomasa o un medio portador, lo más a menudo hecho de plástico. El procedimiento anammox se puede realizar en depósitos separados para una nitrificación aeróbica y desamonificación anóxica. Parte del contenido de amonio de la corriente residual es seguidamente oxidado a nitrito en el reactor de nitrificación, después de lo cual este nitrito y el amonio se someten a reacción a gas nitrógeno en el reactor de desamonificación. Es teóricamente posible controlar el tratamiento en la primera fase, de forma que la mitad del amonio se oxide y posteriormente transferir el agua a una segunda fase con el fin de permitir la reacción $\text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{N}_2$ del amonio restante y el NO_2^- formado. Sin embargo, se prefiere dividir la corriente de agua que va a ser tratada en dos corrientes, de forma que una de las corrientes es sometida a la oxidación de amonio a NO_2^- y la otra corriente es desviada. Las dos corrientes seguidamente se mezclan en un depósito anóxico, en el que tiene lugar la reacción $\text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{N}_2$ del amonio en la corriente desviada y el NO_2^- en la corriente tratada. Alternativamente, usando un procedimiento de tipo de película biológica, el procedimiento anammox se puede realizar en una única etapa, en el que la oxidación de amonio a nitrito tiene lugar en una capa superior de una película biológica y el procedimiento anóxico que forma agua y gas nitrógeno tiene lugar en una capa más profunda de la película biológica.

Aunque es muy ventajoso desde un punto de vista de la energía y los recursos, el procedimiento anammox, sin embargo, tiene algunas limitaciones graves. Justo como el procedimiento SHARON, el procedimiento anammox depende de una nitrificación estable sin que el nitrito que está siendo formado se oxide adicionalmente a nitrato mediante NOB. En la práctica, esto solo ha sido posible en agua residual con una concentración de amonio elevada y a temperaturas elevadas (>20° C). Consecuentemente, el procedimiento anammox ha sido satisfactoriamente aplicado a corrientes como el agua expulsada de la deshidratación de lodos digeridos, mientras que los intentos previos de realizar el procedimiento anammox con una "corriente principal" ordinaria de agua residual municipal ha puesto de manifiesto que son insatisfactorios.

El documento WO 2013/15836 describe un procedimiento anammox, en el que una corriente principal de agua es tratada en una etapa única. La realización de la película biológica en la reacción $\text{NH}_4^+ + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$ y la $\text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{N}_2$ se hace crecer en elementos portadores, permitiendo un grosor de la película biológica virtualmente ilimitado. Con el fin de "rejuvenecer" la película biológica, los elementos portadores en los que crece la película biológica son periódicamente sometidos a un agua residual que tiene una concentración elevada de NH_4^+ . Debido al procedimiento de rejuvenecimiento, el procedimiento funcionará relativamente bien incluso para aguas residuales que contienen concentraciones bajas de NH_4^+ .

Sin embargo, se ha mostrado que las bacterias anammox, que realizan la reacción $\text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{N}_2$ son muy sensibles a las concentraciones elevadas de H_4^+ y NO_2^- durante el sometimiento periódico a aguas residuales con concentraciones elevadas de amonio y para evitar destruir estas bacterias, el procedimiento tiene que actuar bajo condiciones que no suprimirán completamente la conversión NOB de NO_2^- en NO_3^- . Además, este problema se ha encontrado que aumenta adicionalmente por la película biológica gruesa necesaria que desarrolla zonas con condiciones favorables para la oxidación de NO_2^- a NO_3^- cuando se actúa sobre las aguas residuales de la corriente principal.

En la publicación de Pusker Regmi et. al. "NOB Repression for Mainstream Nitrite-Shunt and Deammonification: A Pilot Study". Proceedings of the Water Environment Federation, WEFTEC 2013: Session 26 through Session 34, pp.

1959-1981(23), se describe un estudio piloto para la viabilidad de la supresión y desamonificación de NOB de la corriente principal. La publicación considera la nitrificación - desnitrificación a través de CSTR de aireación modulante (NiDeMA) con un decantador seguido de un biorreactor de lecho móvil AMX completamente anóxico (MBBR). La CSTR de NiDeMA se hace actuar bajo condiciones de oxígeno disuelto (DO) cíclicas para la supresión de NOB.

5 Sin embargo, en el estudio piloto, el esquema de aireación es controlado a través de un detector extensivo y un sistema de verificación con ciclos de aireación cortos y precisos de 10 minutos. Además, la anoxia transitoria ha sido validada principalmente para residuos de concentración elevada, y todavía no se ha mostrado un uso verdadero para la supresión de NOB de la corriente principal.

10 El documento WO 2013/084972A1 describe un sistema de tratamiento para un agua residual orgánica que contiene nitrógeno, en el que la oxidación de amoníaco anaeróbico se realiza suministrando al dispositivo de desnitrificación autotrófico el agua que va a ser tratada que tiene una materia orgánica en suspensión reducida y materia orgánica soluble reducida en la misma.

Sin embargo, en el sistema, el flujo de agua completo se controla usando vías de transporte para equilibrar las relaciones de la reacción de desnitrificación y las reacciones anammox.

15 **Compendio de la invención**

Los problemas anteriores y otros se resuelven o al menos se palián mediante un procedimiento, como se describe en las reivindicaciones, para convertir amonio (NH_4^+) de una corriente principal de una instalación de aguas residuales en gas dinitrógeno (N_2), que incluye las etapas consecutivas de:

i) separación de compuestos de carbono biodegradables en la corriente principal;

20 ii) conversión de amonio (NH_4^+) en la corriente principal en nitrito (NO_2^-) en un procedimiento biológico aireado que contiene bacterias oxidantes de amonio (AOB) en un recipiente de nitrificación;

iii) desnitrificar la corriente resultante de la etapa ii) en un recipiente de anammox;

25 en que el crecimiento de bacterias oxidantes de nitrito (NOB) en la etapa ii) se evita sometiendo periódicamente las bacterias en dicho recipiente de nitrificación a agua que suprime el crecimiento de bacterias oxidantes de nitrito (NOB).

Normalmente, la corriente resultante de la etapa ii) es desnitrificada convirtiendo nitrito conjuntamente con amonio en gas dinitrógeno.

30 Con el fin de proporcionar un entorno exento de compuestos de carbono biodegradables, la etapa i) puede comprender un tratamiento biológico aireado de la corriente principal del agua residual, de forma que los compuestos de carbono biodegradables reaccionen con oxígeno (O_2) para formar dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O).

Con el fin de usar la energía comprometida en los compuestos de carbono biodegradables, la etapa i) puede comprender una digestión anaeróbica del agua residual, de manera que se forme metano (CH_4) por los compuestos orgánicos biodegradables.

35 Con el fin de hacer más eficaz la conservación de energía, la etapa i) puede comprender una microfiltración de los compuestos orgánicos biodegradables, en la que el filtrado es trasladado a un digestor para una posterior digestión.

40 Como la mayor parte de las instalaciones de aguas residuales están provistos de un digestor de lodos que proporciona un agua expulsada de la deshidratación del polvo digerido que tiene una concentración elevada de amonio, el agua que suprime el crecimiento de bacterias oxidantes de nitrito (NO_2^-) es agua beneficiosamente expulsada. También, la concentración de amonio del agua expulsada es mayor que la de la corriente principal de la instalación de aguas residuales y se sitúa en el intervalo de 300 mg (N)/l a 1200 mg (N)/l.

O el agua que suprime el crecimiento de bacterias oxidantes de nitrito (NO_2^-) contiene concentraciones elevadas de NO_2^- , mayores que la corriente principal de una instalación de aguas residuales. En este caso, la concentración de NO_2^- Está en el intervalo de 300 mg(N)/l a 1200 mg(N)/l.

5 Como los ensayos han mostrado que la mejor supresión de bacterias oxidantes de nitrito tiene lugar a temperaturas elevadas, la temperatura del agua que suprime el crecimiento de bacterias oxidantes de nitrito (NO_2^-) (NOB) puede ser de 20-35 grados centígrados.

Los ensayos han mostrado que un tiempo adecuado entre someter las bacterias a agua que suprime el crecimiento de bacterias oxidantes de nitrito (NOB) es entre 0,5 y 10 semanas.

10 La etapa de desnitrificación se puede realizar añadiendo un donante de electrones orgánico al agua después de la etapa ii) y permitir que las bacterias conviertan el nitrito en gas dinitrógeno.

15 Alternativamente, el procedimiento de desnitrificación se puede realizar transfiriendo la corriente principal en la que el NH_4^+ ha sido convertido en NO_2^- a un recipiente de anammox en el que dicha corriente es desnitrificada añadiendo agua que contiene amonio (NH_4^+) al agua después de la etapa ii) y permitir que las bacterias conviertan el nitrito (NO_2^-) usando amonio como el donante de electrones. Esta alternativa es beneficiosa ya que no es necesario un donante de electrones orgánico, es decir, en la forma de compuestos de carbono biodegradables, para la desnitrificación.

En una alternativa, la corriente principal en la que el NH_4^+ ha sido convertido en NO_2^- es transferida a un recipiente de anammox en el que el nitrito (NO_2^-) formado en el recipiente de nitrificación se deja reaccionar con amonio residual (NH_4^+) en el agua residual para formar gas dinitrógeno (N_2).

20 El recipiente de anammox (200) se hace funcionar bajo condiciones no aireadas o anóxicas. Las condiciones anóxicas se pueden referir a agua que tiene una concentración de oxígeno disuelto de 0,5 miligramos por litro o menos.

25 Con el fin de proporcionar una supresión fácil del crecimiento de bacterias oxidantes de nitrito (NO_2^-) (NOB), las bacterias pueden crecer en elementos portadores de flujo libre. Con el fin de conseguir una película biológica que tenga un grosor bien definido, los elementos portadores de flujo libre pueden ser diseñados de forma que un grosor de una película en la que crecen bacterias es controlado a un grosor limitado, por ejemplo, 500 μm , 300 μm o 200 μm .

Además, el procedimiento según la invención se define por su parte caracterizadora, como se establece en las reivindicaciones.

30 **Breve descripción de los dibujos**

En lo que sigue, la invención se describirá por la descripción de realizaciones preferidas haciendo referencia a los dibujos anejos, en los cuales:

La Fig. 1 es un esquema que muestra una instalación de aguas residuales de la técnica anterior, y

35 La Fig. 2 es un esquema de una realización de una instalación de aguas residuales usando el sistema según la presente invención.

Descripción de realizaciones

La presente invención se dirige principalmente a la purificación de aguas residuales municipales. Estas aguas residuales contienen una diversidad de contaminantes, por ejemplo, compuestos de nitrógeno (principalmente en la forma de sales de amonio), compuestos de fósforo y diferentes tipos de compuestos de carbono.

40 En la Fig. 1, se muestra una vista esquemática de un ejemplo de una instalación 100 de tratamiento de aguas residuales de la técnica anterior. Debe entenderse que una instalación de la técnica anterior no necesariamente

comprenderá todos los componentes y etapas del procedimiento mostrados. Podría comprender también más etapas y procedimientos que los mostrados.

5 En una primera etapa 110, el agua residual será tamizada, con el fin de separar las partículas grandes y otros residuos. El tamaño de las aberturas del tamiz puede variar significativamente. Si se usan aberturas del tamiz pequeñas, una parte sustancial de los compuestos que contienen carbono será atrapada en el tamiz. Las partículas atrapadas en el tamiz pueden ser transportadas a un digestor 120, en el que las partículas se digerirán anaeróticamente para formar, por ejemplo, metano. Sin embargo, en muchos casos, se puede proporcionar un tamiz muy grosero (no mostrado en dirección ascendente del tamiz 110. Los objetos retenidos en el tamiz grosero a menudo no son digeribles y, por tanto, pueden ser apartados.

10 En un segundo aspecto, se separarán incluso más partículas del agua residual mediante una etapa 130 de sedimentación, en la que las partículas más densas que el agua se hundirán hasta el fondo de un depósito, mientras que las partículas menos densas que el agua flotarán en la superficie. Las partículas más densas formarán una capa de lodo en el fondo y pueden ser bombeadas fuera de la etapa de sedimentación, mientras que las partículas menos densas serán espumadas desde la superficie. El lodo y las partículas espumadas de la etapa de sedimentación
15 serán trasladados también hasta el digestor 120.

En una tercera etapa, un procedimiento de "lodo activado" reducirá el contenido de compuestos de carbono y amonio.

20 Generalmente, el procedimiento del lodo activo comienza con una etapa aeróbica 140 en la que las bacterias contenidas en un lodo o proporcionadas en elementos portadores (no mostrados) consumirán compuestos orgánicos y oxidarán el amonio a nitrato NO_3^- . La etapa aeróbica dependerá del aire bombeado a través del recipiente que contiene el lodo y el agua residual, ya que se necesita oxígeno para oxidar los compuestos orgánicos y el amonio a nitrato. La primera etapa del procedimiento del lodo activado se denomina generalmente etapa de nitrificación.

25 La segunda etapa del procedimiento del lodo activado es una etapa 150 de desnitrificación, en la que el nitrato formado en la etapa de nitrificación será reducido a gas nitrógeno, es decir, N_2 . Esta etapa tiene lugar bajo condiciones anóxicas, es decir, sin oxígeno y necesita también un donante de electrones, por ejemplo, en la forma de materia orgánica biodegradable CH con el fin de reducir el nitrato a N_2 . La materia orgánica, o el donante de electrones, se añade habitualmente al agua residual en forma de etanol, metanol, acetona o cualquier otra fuente de carbono fácilmente biodegradable.

30 Después de la etapa 150 de desnitrificación hay una etapa 160 de sedimentación final para separar el lodo S del agua residual. La mayor parte del lodo S separado se vuelve a introducir en el procedimiento del lodo activado, habitualmente en la etapa 140 de nitrificación, pero como se forma un nuevo lodo durante el procedimiento del lodo activado, parte del lodo separado después del procedimiento del lodo activado es convertido en el digestor 120, en el que se permite que sea digerido.

35 En algunos casos, el agua residual tratada es filtrada a través de un filtro mecánico, por ejemplo, un filtro de arena, antes de ser desechada al medio ambiente.

40 Como se mencionó anteriormente, el lodo S separado del agua residual en la etapa 160 de sedimentación es trasladado al digestor 120 para un tratamiento adicional. En el digestor, se forma gas metano, CH_4 , bajo condiciones anaeróbicas. El procedimiento formador de metano continuará hasta que la totalidad del material orgánico fácilmente biodegradable en el lodo se consuma. Después de que se consume esta materia orgánica, hay todavía algo de lodo restante. Este lodo es purgado a partir de agua en exceso, que tiene concentraciones elevadas de amonio. Esta agua, que generalmente se denomina agua expulsada RW, puede ser nuevamente trasladada a la corriente principal, es decir, la etapa aeróbica 140, o puede ser tratada por separado con el fin de reducir los compuestos de nitrógeno en la misma.

45 Recientemente, se ha usado un procedimiento denominado anammox para reducir el contenido de compuestos de nitrógeno en el agua expulsada RW. El procedimiento anammox difiere significativamente del procedimiento previamente descrito para reducir e contenido de amonio de la corriente principal.

En el procedimiento anammox, que se muestra esquemáticamente en la Fig. 1, una parte del agua expulsada es

5 sometida a un procedimiento 170 de oxidación, en el que el amonio, NH_4^+ , en el agua expulsada, es oxidado para formar NO_2^- , es decir, nitrito. La otra parte del agua expulsada elude el procedimiento 170 de oxidación. Por alguna razón, el elevado contenido de amonio del agua expulsada parece que suprime las bacterias que forman nitrato, es decir, NO_3^- y favorece las bacterias que forman nitrito, es decir, NO_2^- . Parece también que las temperaturas elevadas favorecen las bacterias que forman nitrito.

10 Después de que la parte del agua expulsada ha sido sometida al procedimiento de oxidación que forma nitrito, NO_2^- , es decir, el procedimiento de nitrificación, la parte que ha sido sometida al procedimiento de oxidación se mezcla con la parte desviada, de forma que las bacterias pueden usar el nitrato para reducir el amonio en el agua sin tratar, formando así gas nitrógeno. Este procedimiento se realiza bajo condiciones anóxicas, es decir, exentas de oxígeno en 180.

Como se puede apreciar con anterioridad, una diferencia principal y un beneficio, con el procedimiento anammox, es que es necesario un compuesto orgánico no biodegradable para la reducción de amonio a gas nitrógeno. Además, el procedimiento de nitrificación consume menos oxígeno que el procedimiento de nitrificación descrito en relación con la figura 1.

15 Como se mencionó anteriormente, el procedimiento de oxidación para formar NO_2^- en lugar de NO_3^- solo funciona con concentraciones elevadas de NH_4^+ ; si las concentraciones de NH_4^+ son demasiado bajas, se favorecerá el crecimiento de bacterias que forman NO_3^- a partir de NO_2^- , y el procedimiento $\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ es mucho más rápido que el procedimiento $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^-$, lo que significa que una vez que se ha formado la bacteria que realiza la reacción $\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$, virtualmente la totalidad de NH_4^+ terminará como NO_3^- , lo que hace imposible un posterior procedimiento anammox.

20 Según una realización de la invención, el crecimiento de bacterias que forman NO_3^- a partir de NO_2^- Es inhibido sometiendo secuencialmente una película biológica que ha crecido sobre portadores de películas biológicas a un agua que tiene concentraciones elevadas de NH_4^+ . Esta realización es útil para el procedimiento anammox y para el procedimiento Sharon como se describe en la sección de la técnica anterior y proporciona la posibilidad de oxidar el amonio contenido en el agua que tiene una baja concentración del mismo a nitrito en lugar de nitrato. Como se mencionó en la sección de la técnica anterior, para el procedimiento Sharon, esto es beneficioso ya que se necesita menos oxígeno para el procedimiento de nitrificación en comparación con el procedimiento de nitrificación y por tanto se necesita menos donante de electrones orgánico, por ejemplo, en la forma de fuentes de carbono biodegradables, para el procedimiento de desnitrificación. Para el procedimiento anammox, la formación de N_2 en lugar de N_3^- es una necesidad para la conversión $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

25 En la Fig. 2 se muestra una vista esquemática de una instalación de tratamiento de aguas residuales según una realización de la invención. La mayor parte de los componentes y etapas del procedimiento son iguales a los componentes y etapas del procedimiento de los sistemas de la técnica anterior previamente descritos, y para procedimientos y etapas iguales o similares, se han usado los mismos números de referencia en la Fig. 1 y 2. Debe apreciarse que la reducción de NH_4^+ difiere completamente entre las realizaciones mostradas en las Figs. 1 y 2.

30 En la Fig. 2, se muestra una primera realización de la presente invención. La primera agua residual entra en el tamiz 110 anteriormente descrito y los dispositivos 130 de sedimentación para la recogida de materia en forma de partículas, en que los tamices y dispositivos de sedimentación no forman parte de la invención y, por tanto, no se describirán adicionalmente y, continúa hacia un procedimiento biológico, que se describirá a continuación. El lodo de los tamices y las etapas de sedimentación es trasladado al digestor 120 en el que son digeridos; hasta ahora, el procedimiento es idéntico a los procedimientos de la técnica anterior mostrados en la Fig.1.

35 Después de la etapa 130 de sedimentación, el agua residual es tratada para oxidar los compuestos de carbono biodegradables en la etapa 135 del procedimiento. Al mantener elevada la carga en esta etapa, es decir, mantener un flujo elevado de compuestos de carbono biodegradables en la etapa del procedimiento, se puede mantener bajo el crecimiento de bacterias que oxidan amonio a NO_2^- o NO_3^- , es decir, AOB y NOB, y se pueden formar grandes cantidades de lodo biológico en exceso, que aumenta la producción de biogás en el digestor.

40 Después de la etapa 135, la corriente de agua residual se divide en una primera 131 y segunda 132 corrientes. La segunda corriente 132 es trasladada a varios procedimientos de nitrificación paralelos (es decir, procedimientos que convierten nitrito) en los que las bacterias están adaptadas (en una forma que se describirá con posterioridad) para

oxidar NH_4 a NO_2^- , es decir, nitrito, mientras que la primera corriente elude estos recipientes. En este procedimiento, que tiene lugar bajo condiciones aeróbicas, cualesquiera compuestos de carbono biodegradables restantes en el agua residual son oxidados a CO_2 . Sin embargo, es crucial que la concentración de compuestos de carbono biodegradables sea baja; de lo contrario, las bacterias en los recipientes de nitrificación serán dominadas por bacterias que convierten compuestos de carbono biodegradables en CO_2 en lugar de bacterias que convierten NH_4^+ en NO_2^- . Debe apreciarse que hay varios recipientes de nitrificación paralelos diferentes 133a - 133d para realizar el procedimiento de nitrificación.

Según la invención, no todos los recipientes de nitrificación están conectados a la segunda corriente 132; uno de los recipientes de nitrificación está conectado en lugar de ello a la salida de agua expulsada RW, que, como se mencionó, contiene concentraciones elevadas de NH_4^+ . Debido a la elevada concentración de NH_4^+ en el agua expulsada y/o las concentraciones elevadas de NO_2^- formado en el recipiente, las bacterias en el recipiente conectado a la salida de agua expulsada crecerán, de forma que se favorece la conversión (es decir, oxidación) de NH_4^+ a NO_2^- , en lugar de bacterias que convierten NO_2^- en NO_3^- , es decir, NOB.

Sorprendentemente, se ha encontrado que las bacterias que convierten NH_4^+ en NO_2^- , AOB, que han sido favorecidas debido a la conexión del recipiente de nitrificación con la salida de agua rechazada, continúan convirtiendo NH_4^+ en NO_2^- en lugar de NO_3^- incluso cuando el recipiente de nitrificación ha sido posteriormente conectado a un agua residual "normal" es decir, un agua residual que contiene NH_4^+ en concentraciones significativamente inferiores. Por tanto, secuenciando la conexión de los recipientes de nitrificación entre la salida de agua rechazada y el agua residual de la corriente principal, se puede mantener la conversión de NH_4^+ en NO_2^- para concentraciones "normales" es decir, bajas de NH_4^+ durante los períodos entre los cuales el recipiente está siendo conectado a la salida de agua expulsada.

En la realización mostrada, el secuenciado entre el funcionamiento del recipiente con agua expulsada y agua residual se consigue controlando un conjunto de válvulas VA de una forma conocida por los expertos en la técnica, de forma que el agua residual durante algunos períodos es trasladada a algunos recipientes y el agua expulsada a algunos de los recipientes. Después de un cierto tiempo, por ejemplo, cuando se puede mostrar que el recipiente alimentado con agua expulsada de concentración de NH_4 elevada produce mayoritariamente NO_2^- en lugar de NO_3^- , otro recipiente será alimentado con agua expulsada RW. Por tanto, la bacteria puede ser sometida a agua que suprime el crecimiento de bacterias oxidantes de nitrito (NOB), como a través de una alimentación consecutiva de agua expulsada RW a los recipientes de nitrificación paralelos 133a - 133d en ciclos regulares o irregulares, o a través de una alimentación intermitente de agua expulsada RW a los diferentes recipientes 133a -133d de nitrificación.

Debe apreciarse que los recipientes de nitrificación están preferentemente, al menos hasta un cierto grado, rellenos con elementos portadores proporcionados con superficies protegidas para el crecimiento de una película bacteriana en las mismas. En una realización preferida de la invención, los elementos portadores están diseñados de forma que el grosor de la película bacteriana no sobrepasará un cierto valor, por ejemplo, 500, 300 o 200 mm. Esto es beneficioso ya que la película bacteriana tendrá algunas propiedades en su grosor completo y condiciones que pueden evitar que se favorezca la oxidación de NO_2^- a NO_3^- de forma profunda en una película biológica gruesa.

En otra realización de la invención, el agua residual y el agua expulsada están siempre conectadas a los mismos recipientes y los elementos portadores son trasladados desde un recipiente a otro una vez que las bacterias en los elementos portadores del recipiente conectados al agua residual necesitan un tiempo a concentraciones elevadas de NH_4^+ o NO_2^- con el fin de recuperar la capacidad de convertir NH_4^+ en NO_2^- en lugar de NO_3^- , es decir, de forma que se forme nitrito en lugar de nitrato para el agua que tiene una baja concentración de amonio.

Después del procedimiento de nitrificación en los recipientes 133d-133d, el agua de la segunda corriente y el agua expulsada RW que ha sido tratada en el recipiente de nitrificación mediante el tratamiento necesario de las bacterias con el fin de recuperar la eficacia de la conversión $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^-$ será transferida al recipiente de anammox 200, en el que se mezclará con agua de la primera corriente 131, que contiene amonio, que reaccionará biológicamente con el NO_2^- del procedimiento de nitrificación para formar N_2 .

El recipiente de anammox (200) se hace funcionar preferentemente bajo condiciones no aireadas o anóxicas, en que las condiciones anóxicas se refieren a agua que tiene una concentración muy baja de oxígeno disuelto (como menos de 0,5 miligramos por litro). En el procedimiento anóxico realizado por las bacterias denominadas anammox, el nitrito (NO_2^-) y el amonio (NH_4^+) reaccionarán para formar agua (H_2O) y gas dinitrógeno (N_2) en una reacción de

desamonificación anóxica.

Según la invención, las bacterias en los recipientes 133a - 133d de nitrificación son intermitentemente tratadas para favorecer bacterias que forman NO_2^- a partir de NH_4^+ en lugar de NO_3^- a partir de NH_4^+ . Esto se podría hacer de varias formas:

- 5 1. Aumentar la cantidad (es decir, la concentración) de NH_4^+ a la que son sometidas las bacterias;
2. Aumentar la cantidad de NO_2^- a que son sometidas las bacterias;
3. Aumentar la temperatura (en una corriente principal "normal" de una instalación de purificación de agua, la temperatura es a menudo de 12-15 grados centígrados, mientras que la temperatura óptima para favorecer bacterias para la formación de NO_2^- es de aproximadamente 30 grados centígrados).

10 Debe apreciarse que los modos de realización anteriores pueden ser libremente combinados.

Debe apreciarse también que el objeto 1 anterior conduce al objeto 2, ya que el amonio, NH_4^+ , se convertirá en NO_2^- en una realización de la invención, la corriente de agua hacia y desde el recipiente que contiene las bacterias que van así adaptadas para favorecer la producción de NO_2^- simplemente es cortada, después de lo cual se añade una dosis de amonio o nitrito concentrados al agua en el recipiente. Seguidamente, el agua se deja en el recipiente hasta que la totalidad o la mayoría del amonio NH_4^+ , ha sido oxidado a NO_2^- . Si se desea, el agua puede incluso permanecer en el recipiente durante un tiempo significativo después de que todo el amonio ha sido oxidado a NO_2^- .

En una realización específica, el agua residual de la corriente principal es tratada en el recipiente 133a-133d de nitrificación de forma que solo parte del amonio NH_4^+ es convertido en NO_2^- , dejando amonio residual en el agua residual. Esto se puede conseguir de varias formas, por ejemplo, manejando la adición de amonio al recipiente 133a-133d de nitrificación durante el procedimiento de nitrificación o conduciendo el agua residual de la corriente principal desde el recipiente 133a-133d de nitrificación al recipiente 200 de anammox antes de que el procedimiento de nitrificación haya oxidado todo el amonio NH_4^+ a NO_2^- . El agua residual de la corriente principal es tratada en el recipiente 133a-133d de nitrificación bajo condiciones aeróbicas en las que parte del amonio en el agua residual es oxidada a nitrito. Después del recipiente 133a-133d de nitrificación, el agua residual de la corriente principal es conducida al recipiente 200 de anammox que se hace funcionar bajo condiciones anóxicas, en el que el nitrito formado en el recipiente de nitrificación se deja reaccionar con amonio residual en el agua residual a gas dinitrógeno según la reacción de anammox. Si la relación de NH_4^+ a NO_2^- es equilibrada (es decir 1:1), la reacción de anammox puede proceder hasta cerca de completarse sin adición adicional de un donante de electrones. Si la relación de NH_4^+ a NO_2^- no es equilibrada (es decir, no es 1:1), se puede añadir NO_2^- adicional al recipiente de anammox a partir del procedimiento de nitrificación en los recipientes 133a-133d, o se puede añadir NH_4^+ adicional desde la primera corriente 131, hasta que la relación se equilibre (es decir, 1:1) permitiendo que la reacción de anammox tenga lugar hasta completarse. Esta estrategia es adecuada en el caso de que el flujo o el contenido de amonio del agua residual de la corriente principal sea altamente variable.

En todavía otra realización de la invención, el agua en el recipiente 133a-133d de nitrificación que va a ser tratada de forma que se suprima la bacteria que convierte $\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ es bombeada fuera, después de lo cual el agua que suprime el crecimiento de esta bacteria es introducida en el recipiente. Después de que la bacteria en el recipiente ha sido tratada, el agua que suprime el crecimiento de bacterias oxidantes de $\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ puede ser usada para tratar bacterias de otro recipiente. Esta realización es beneficiosa en cuanto que es económicamente posible mantener el agua que suprime el crecimiento de bacterias oxidantes de $\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ a una temperatura óptima.

40 Dimensiones

Las concentraciones típicas de NH_4^+ en el agua residual que tiene una concentración baja de NH_4^+ puede ser de 10-50 mg/ml, medida en equivalente de nitrógeno, es decir, 10-50 mg (N)/l.

La concentración de NH_4^+ del agua rechazada puede ser de 300-1200 mg (N)/l.

45 Un tiempo de retención hidráulica típico en los recipientes (133a-133f) de nitrificación puede ser de 0,5-3 horas para el agua que tiene la concentración baja de NH_4^+ .

El tiempo de retención hidráulica para el agua que suprime el crecimiento de NOB, es decir, bacterias que convierten NO_2^- en NO_3^- puede ser de 6-100 horas.

El tiempo entre someter las bacterias a agua que suprime el crecimiento de NOB puede ser de 0,5 a 10 semanas.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para convertir amonio (NH_4^+) de una corriente principal de una instalación de aguas residuales en gas dinitrógeno (N_2), que incluye las etapas consecutivas de:

i) separar compuestos de carbono biodegradables en la corriente principal;

5 ii) convertir amonio (NH_4^+) en la corriente principal en nitrito (NO_2^-) en un procedimiento biológico aireado que contiene bacterias oxidantes de amonio (AOB) en un recipiente (133a-133d) de nitrificación, en que el crecimiento de bacterias oxidantes de nitrito (NOB) en la etapa ii) es evitado sometiendo periódicamente las bacterias en dicho recipiente (133a-133d) de nitrificación a agua que suprime el crecimiento de bacterias oxidantes de nitrito (NOB), que es agua expulsada (RW) de un digestor (120) de lodos; y

10 iii) desnitrificar la corriente resultante de la etapa ii) a gas dinitrógeno en un recipiente (200) de anammox que se hace funcionar bajo condiciones no aireadas o anóxicas;

en que el agua que suprime el crecimiento de bacterias oxidantes de nitrito (NO_2^-) (NOB) tiene una concentración de amonio (NH_4^+) mayor que la de la corriente principal de la instalación de aguas residuales, en que la concentración de amonio (NH_4^+) se sitúa en el intervalo de 300 mg (N)/l a 1200 mg (N)/l, y/o

15 en que el agua que suprime el crecimiento de bacterias oxidantes de nitrito (NOB) contiene concentraciones de nitrito (NO_2^-) mayores que las de la corriente principal de la instalación de aguas residuales, en que la concentración de nitrito (NO_2^-) se sitúa en el intervalo de 100 mg (N)/l a 1200 mg (N)/l,

caracterizado porque

20 hay varios recipientes (133a-133d) de nitrificación paralelos diferentes para realizar el procedimiento de nitrificación y hay un conjunto de válvulas, que está controlado de forma que el agua residual durante algunos períodos es trasladada a algunos de los recipientes (133a-133d) de nitrificación y el agua expulsada (RW) es trasladada a algunos otros de los recipientes (133a-133d) de nitrificación, de forma que se consigue un secuenciado para cada recipiente (133a-133d) de nitrificación entre su funcionamiento con agua expulsada (RW) y con agua residual; o

25 hay diferentes recipientes y hay elementos portadores de flujo libre en los cuales se hacen crecer las bacterias, en que el agua residual y el agua expulsada (RW) están siempre conectadas a los mismos recipientes y los elementos portadores son desplazados de un recipiente a otro, de forma que una vez que las bacterias en los elementos portadores de un recipiente conectado al agua residual necesitan un tiempo a concentraciones elevadas de amonio (NH_4^+) o nitrito (NO_2^-) con el fin de recuperar la capacidad de convertir amonio (NH_4^+) en nitrito (NO_2^-) en lugar de nitrato (NO_3^-), son desplazadas desde un recipiente conectado al agua residual a un recipiente conectado al agua expulsada (RW).

30 2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la etapa i) comprende un tratamiento biológico aireado de la corriente principal de aguas residuales, de forma que los compuestos de carbono biodegradables reaccionan con oxígeno (O_2) para formar dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O).

35 3. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la etapa i) comprende un tratamiento anaeróbico del agua residual, de manera que se forma metano (CH_4) por los compuestos orgánicos biodegradables.

4. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la etapa i) comprende la microfiltración de los compuestos orgánicos biodegradables.

5. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la temperatura del agua que suprime el crecimiento de bacterias oxidantes de nitrito (NO_2^-) (NOB) es de 20 a 35 grados centígrados.

40 6. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el tiempo para someter las bacterias a agua que suprime el crecimiento de bacterias oxidantes de nitrito (NOB) es entre 0,5 y 10 semanas.

7. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de desnitrificación se realiza añadiendo un donante de electrones al agua después de la etapa ii) y permitiendo que las bacterias conviertan el nitrito (NO_2^-) en gas dinitrógeno (N_2).
- 5 8. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la corriente principal en la que el NH_4^+ ha sido convertido en NO_2^- es transferida al recipiente (200) de anammox y dicha corriente es desnitrificada añadiendo agua que contiene amonio (NH_4^+) al agua después de la etapa ii) y permitiendo que las bacterias conviertan el nitrito (NO_2^-) en gas dinitrógeno (N_2) usando amonio como el donante de electrones.
- 10 9. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la corriente principal en la que el NH_4^+ ha sido convertido en NO_2^- es transferida a un recipiente (200) de anammox en el que el nitrito (NO_2^-) formado en el recipiente de nitrificación se deja reaccionar con amonio residual (NH_4^+) en el agua residual para formar gas dinitrógeno (N_2).
10. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que las condiciones anóxicas se refieren a una concentración de oxígeno disuelto de 0,5 miligramos por litro o menos.
- 15 11. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que hay varios recipientes de nitrificación paralelos diferentes y las bacterias en los recipientes (133a-133d) de nitrificación se hacen crecer en elementos portadores de flujo libre.
- 20 12. El procedimiento según la reivindicación 1 o 11, en el que los elementos portadores de flujo libre comprenden superficies protegidas para el crecimiento de una película bacteriana sobre los mismos de forma que el grosor de una película en el que las bacterias crecen está limitado a 500 μm , 300 μm o 200 μm .

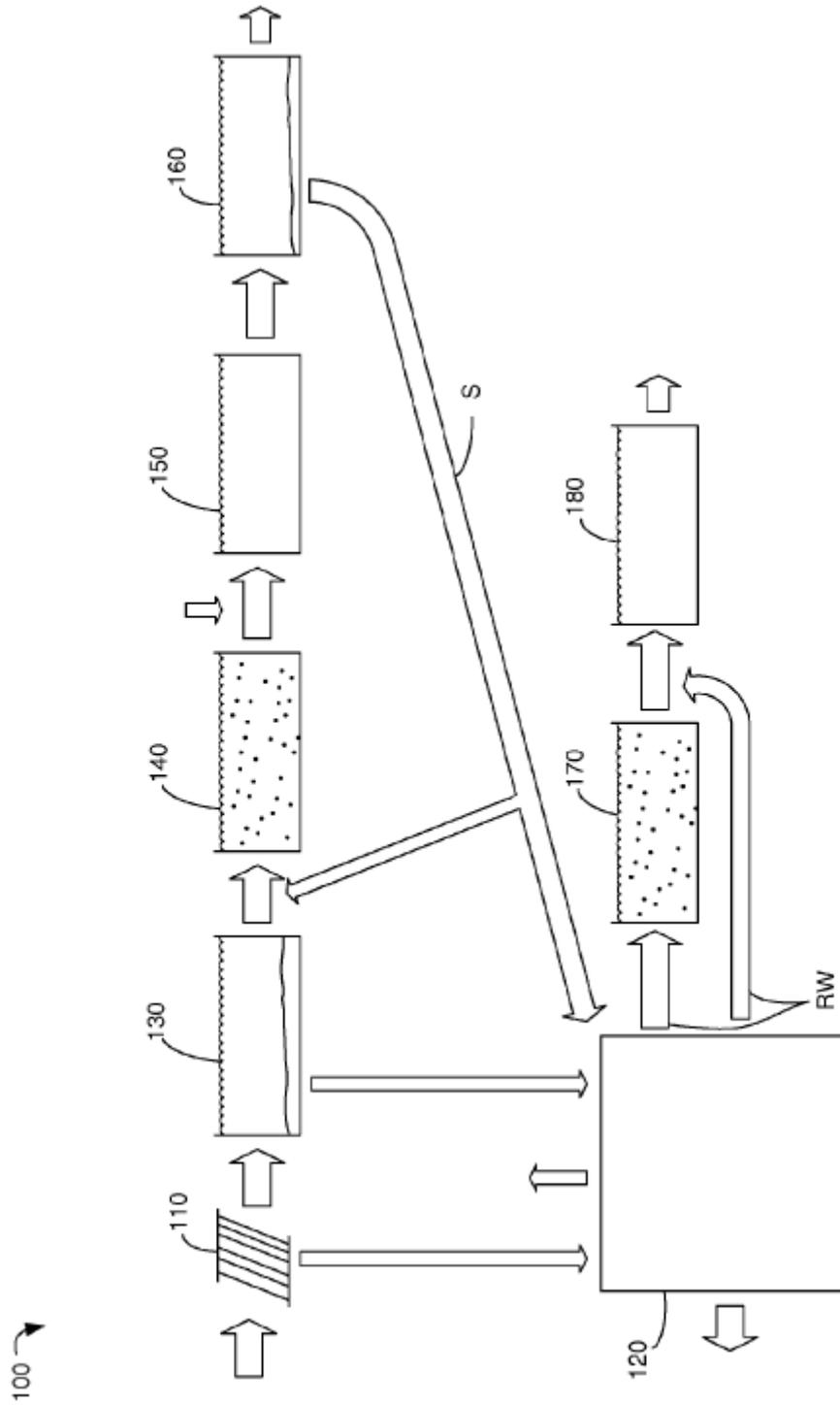


Fig. 1

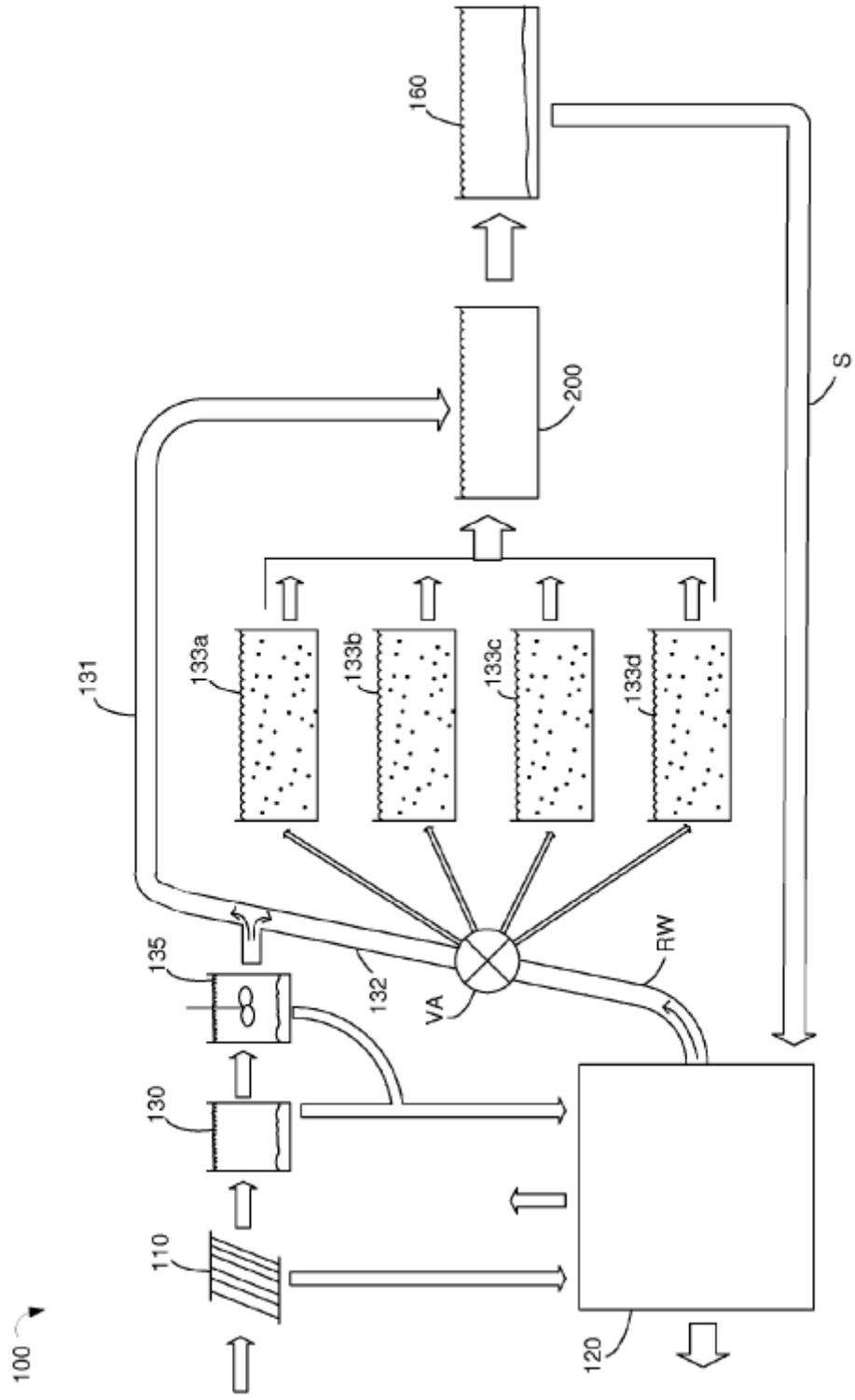


Fig. 2