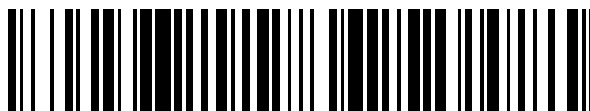


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 427 664**

51 Int. Cl.:

C02F 3/12 (2006.01)

C02F 3/10 (2006.01)

C02F 3/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.10.1999 E 99950994 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.05.2013 EP 1129037**

54 Título: **Procedimiento de nitrificación y aparato para el mismo**

30 Prioridad:

27.10.1998 GB 9823496

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

31.10.2013

73 Titular/es:

**ADVANCED BIOPROCESS DEVELOPMENT
LIMITED (100.0%)
All Saints Building, Legal Department,
Manchester Metropolitan University
All Saints, Manchester, M15 6BH, GB**

72 Inventor/es:

DEMPSEY, MICHAEL JOHN

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 427 664 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 de nitrificación y aparato para el mismo

La presente invención está relacionada con el campo de la nitrificación de fluidos y, en particular, se refiere al tratamiento de fluidos y líquidos acuosos para oxidar amoníaco y nitritos para producir nitratos.

5 El amoníaco y los nitritos son tóxicos para las formas de vida superiores. Su concentración en descargas efluentes y en agua para bebida está estrictamente controlada. Se conoce el uso de nitrificar bacterias para oxidar amoníaco y nitrito a nitrato. Este es un procedimiento natural en el suelo y el agua mediante el cual se oxida amoníaco secuencialmente al nitrito y, a continuación, a nitrato. Con frecuencia, durante la etapa biológica de tratamiento convencional de aguas residuales se forma amoníaco en exceso. También es un subproducto de diversas industrias, por ejemplo, la coquización de carbón, el refinado del petróleo, determinados procedimientos químicos, la ganadería y la acuicultura.

10 En el tratamiento de aguas residuales, se usan una serie de procesos físicos, químicos y biológicos para producir un efluente adecuado para descargar en los cauces de agua naturales. Con frecuencia, el tratamiento biológico da como resultado la producción de amoníaco más rápida del que se puede eliminar por nitrificación, debido a que las bacterias nitrificantes litótrofas tienen menores velocidades metabólicas que los generadores de amoníaco heterótrofos. El amoníaco o el contenido de nitritos en las aguas tratadas devueltas a los ríos o pantanos es un riesgo tóxico. Por ello, cuando en los procedimientos de tratamiento de aguas residuales está presente un contenido de amoníaco en exceso se usa un procedimiento de nitrificación dedicado separado.

15 Esto implica el uso de un filtro percolador en el que crecen bacterias nitrificantes como una capa coherente sobre capas de material de relleno inerte dispuestas en bandejas de percolación muy grandes.

20 Existen otros procedimientos de nitrificación de la técnica anterior; estos incluyen procedimientos de lodos activados; procedimientos de contactores biológicos giratorios, procedimientos de tratamiento en lecho fijo y procedimientos en lecho fluidizado. Los intentos por mejorar la eficiencia de nitrificación han dado como resultado el desarrollo de nuevos procedimientos en los cuales se inmovilizan bacterias nitrificantes sobre perlas de poliestireno y se dejan flotar estas perlas en el agua residual que se esté tratando. Sin embargo, incluso estos últimos procedimientos son solo capaces de una velocidad de nitrificación de $1 \text{ kg N/m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ (datos del fabricante), que está muy por debajo de la generación heterotrófica normal de amoníaco citada antes.

25 El documento US-A-4009099 se refiere a un procedimiento biológico para eliminar nitrógeno de amoníaco de agua residual formando un lecho fluidizado de microorganismos unido a un soporte sólido en forma de partículas sólidas, haciendo pasar de forma continua el agua residual a tratar a través de dicho lecho fluidizado, añadiendo oxígeno a dicho lecho fluidizado, reteniendo el agua residual en el lecho fluidizado durante un período de tiempo suficiente mientras que se controlan otros parámetros necesarios para convertir de forma biológica sustancialmente todo el nitrógeno de amoníaco que se va a eliminar del agua residual en formas oxidadas de nitrógeno, agua y material celular y, a continuación, extrayendo los productos biológicamente convertidos del lecho fluidizado.

30 Sin embargo, en la operación de este procedimiento, puesto que la reacción de oxidación de amoníaco transcurre en el lecho fluidizado, las bacterias crecen sobre la superficie de las partículas de soporte. Después de un tiempo, si no se controla, las partículas tienden a aglomerarse formando una capa que se espesa formando una masa gelatinosa. Como resultado, el área de la superficie por unidad de volumen del reactor disponible para la reacción biológica se reduce enormemente, y la eficiencia del procedimiento cae de forma eficaz. Por otro lado, las partículas tienden a ser transportadas fuera del lecho fluido y su gravedad específica disminuye. Estas también tienden a quedarse adheridas a burbujas de gas en el interior del reactor, lo cual ayuda a extraer las partículas del reactor.

35 Con el fin de superar estos problemas, el crecimiento bacteriano en exceso se extrae de las partículas, de forma típica, por medios mecánicos. La desventaja significativa de este procedimiento es, por un lado, alcanzar un fino equilibrio entre la capacidad de extracción de material bacteriano en exceso y, por otro lado, el mantenimiento de una capa suficiente de biopelícula sobre las partículas, con el fin de permitir que el procedimiento continúe.

40 El documento EP-A-0861808 se refiere a un aparato de tratamiento de agua residual que comprende un depósito de tratamiento de agua residual en el que se cargan partículas de soporte que soportan capas superficiales de microbios para la descomposición y eliminación de materia orgánica y/o materia inorgánica contenida en un agua residual, y un módulo de membrana para la filtración del agua a tratar que sale de dicho depósito de tratamiento, el agua no filtrada que no pasa a través de la membrana que es retenida y la recirculada al depósito de tratamiento. Dicho sistema se basa en un sistema de filtración para la posterior purificación de agua. En este procedimiento, los soportes para inmovilizar microbios forman un lecho circulante o fijo y comprenden una resina de alcohol vinílico y resina acrílica en combinación con compuestos inorgánicos porosos, o carbón activado. Cuando se usa carbón activado, se prefiere un sistema de lecho fijo.

45 El documento US-A-5747311 se refiere a un procedimiento para la modificación química de un medio de reacción usando microbios, incluyendo el procedimiento proporcionar material de forma de partículas que comprende un soporte sólido y microbios unidos al soporte, en el que el material en forma de partículas tiene una gravedad

específica, menor que la gravedad específica del fluido dispersado.

Un aspecto de la presente invención busca proporcionar un procedimiento de nitrificación alternativo que pueda implementarse comercialmente de forma sencilla, y en el que la velocidad de nitrificación se aproxime casi a la velocidad de generación de amoníaco.

- 5 Por tanto, de acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona un procedimiento microbiológico para la nitrificación de un fluido como se reivindica más adelante en la reivindicación 1.

La presente invención proporciona así la inmovilización de una biomasa sobre dichas partículas de coque para proporcionar una biomasa de mayor estabilidad, permitiendo de este modo un aumento significativo en la concentración de biomasa en un reactor de biomasa. A medida que mueren bacterias, la concentración se mantiene mediante el desprendimiento de la película muerta y el recrecimiento de biomasa nueva. Esta elevada estabilidad de la concentración es sorprendente y no habitual para biomasa inmovilizada que es relativamente inestable y propensa al deterioro, en especial cuando se inmoviliza en un gel. Toda la biopelícula retirada de las partículas tiende a ser muy floculante, sedimentar rápidamente y, por tanto, fácil de extraer del fluido tratado, por ejemplo, tal como por medio de una cámara de sedimentación o un hidrociclón. Además, la estabilidad de la película significa que se pueden usar altas tasas de caudal de fluido en reactores sin que las células de bacterias en crecimiento se eliminen por lavado. Por ello, la velocidad de dilución puede, excepcionalmente, superar la velocidad de crecimiento.

La invención proporciona así una biomasa de mayor concentración y actividad, en la que la biomasa está soportada sobre dichas partículas de coque.

20 Preferiblemente, las partículas de coque deberán tener poros interconectados que permitan la eliminación de aire de las mismas y que admitan agua y permitan la invasión de biomasa. Que se pueda usar coque como inmovilizador para una biomasa es sorprendente a la vista del hecho de que normalmente se considera un material no biocompatible que tiene una gran variedad de constituyentes potencialmente perjudiciales.

En realizaciones preferidas, las partículas porosas tienen cada una un tamaño en el intervalo de 0,25 a 2,50 mm y, de forma óptima, en el intervalo de aproximadamente 0,7 a 1,0 mm y preferiblemente 1,0 a 1,4 mm para células de plantas. Se puede conseguir una clasificación razonable de partículas tamizando y, si fuera necesario, lavando para eliminar el polvo.

Las partículas de coque se derivan de calidades de coque que tiene una superficie "vítrea" o ligeramente vitrificada y se ha encontrado que son particularmente eficaces las calidades tales como "polvo de coque de serie" y "polvo de coque de retorno del transportador". Se han obtenido buenos resultados con coque de Chesterfield que presenta la propiedad "vítrea" particular comparado con la naturaleza cristalina de muchos otros coques.

La película de biomasa sobre cada partícula puede tener un espesor promedio de menos de 1 mm. La película de biomasa puede tener un espesor promedio de aproximadamente 0,4 mm a aproximadamente 0,6 mm. En determinadas realizaciones preferidas la película tiene un espesor de aproximadamente 0,5 mm.

35 Las bacterias nitrificantes pueden comprender Nitrosomonas, Nitrosococcus, Nitrosospira, Nitrosolobus, Nitrosovibrio, Nitrobacter, Nitrospina, Nitrococcus y Nitrospira. Las temperaturas óptimas descritas para el crecimiento de bacterias nitrificantes varían de 25 a 30 °C. Por ello, fue sorprendente descubrir que el intervalo óptimo para el procedimiento de la presente invención es significativamente menor que este intervalo. De forma específica, se pueden obtener resultados muy buenos de 13 a 17 °C. Se han encontrado resultados óptimos entre el intervalo de 14 a 16 °C. Por ello, de acuerdo con una realización particular de la invención, la temperatura del fluido se mantiene en el intervalo de 13 a 17 °C y preferiblemente con 14 a 16 °C.

Se ha encontrado que el mejor intervalo de pH para el procedimiento de nitrificación varía de 7,5 a 8,5, y de forma óptima, de 7,8 a 8,0. Por ello, de acuerdo con la presente invención, el pH del fluido se controla de 7,5 a 8,5 y, preferiblemente, de 7,8 a 8,0.

45 El lecho de partículas porosas puede estar dispuesto en un reactor y el fluido a nitrificar hacerse pasar en dirección ascendente a través del lecho, como en un reactor expandido o de lecho fluidizado.

El fluido se puede hacer recircular a través del reactor después de que haya pasado a través del reactor. Si la nitrificación se completa de forma sustancial después de un paso, entonces no es necesaria la recirculación.

Preferiblemente, el fluido se oxigena antes de entrar en la base del lecho, ya se emplee un único paso o recirculación. De este modo, se suministra el oxígeno requerido por las bacterias.

50 Debido a la baja solubilidad, el factor limitante de la velocidad para la mayoría de procedimientos biológicos aeróbicos es el suministro de oxígeno. Con el fin de aliviar este problema, en las industrias de procesos biológicos se ha usado una mayor presión o el suplemento con oxígeno puro. Una alternativa más barata y sencilla es el uso de peróxido de hidrógeno. Los autores han encontrado que las biopelículas nitrificantes de la presente invención poseen las enzimas necesarias para liberar oxígeno a partir de peróxido de hidrógeno. Los cálculos indican que una

concentración de 2 mMdm^{-3} suministraría suficiente oxígeno para oxidar $1,3 \text{ mM}(20 \text{ mg})\text{dm}^{-3}$ de nitrógeno de amoníaco, que es típico de un efluente de lodos activados.

5 El fluido se puede oxigenar por aireación usando aire o peróxido de hidrógeno. Se puede usar oxígeno puro para oxigenar el fluido, pero se prefiere el aire o el peróxido de hidrógeno puesto que es más asequible. Además, la eficiencia de nitrificación es tal que los niveles de oxígeno del fluido que abandona el reactor pueden ser muy bajos, lo que conduce a una aireación altamente eficiente. Esto significa que la aireación por aire es muy eficaz para procedimientos de la presente invención. Los procedimientos de aireación adecuados serán bien conocidos por los expertos en la técnica. Se prefiere que el fluido se oxigene de forma separada de la biomasa de nitrificación; esto evita que se dañe la biopelícula por el aire burbujeante o el oxígeno a través del reactor como es el caso de los procedimientos de la técnica anterior. Una disposición preferida, que es compatible con la presente invención, es la aireación en un bucle de recirculación a contracorriente separado.

15 En algunas realizaciones de la invención, el fluido a nitrificar puede hacerse circular desde un extremo del lecho del reactor a otro extremo del mismo, de modo que la concentración de oxígeno disuelto en el fluido disminuya entre un extremo y el otro, siendo la concentración de oxígeno en dicho otro extremo controlada de forma tal que la concentración de oxígeno en el fluido esté justo por encima de un nivel al cual la concentración sería la limitante de la velocidad para el procedimiento de nitrificación.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un aparato para la nitrificación de un fluido como se reivindica más adelante en la reivindicación 15.

El aparato puede estar provisto de un medio para controlar la temperatura del fluido.

20 El aparato adecuado es bien conocido. Por ejemplo, un termostato y un elemento de calentamiento en contacto con el fluido.

El aparato puede estar provisto de un medio para la aireación del fluido. Los aparatos adecuados son bien conocidos. Por ejemplo, una columna de aireación a través de la cual se insufla aire u oxígeno.

25 El aparato puede estar provisto de un medio para la medición y ajuste del pH del fluido hasta un nivel óptimo. Los medios adecuados son bien conocidos. Por ejemplo, un pH metro electrónico y aditivos alcalinos biológicamente compatibles tales como carbonato sódico.

El aparato puede estar provisto de un medio para controlar el caudal del flujo de fluido a través del lecho del reactor. Por ejemplo, se pueden emplear bombas con velocidades de bomba ajustables.

30 En algunas realizaciones, el aparato puede estar provisto de un medio para el muestreo de la concentración de oxígeno en el fluido antes o durante la entrada en el reactor, un medio para el muestreo de la concentración de oxígeno del fluido durante la salida, o después de la salida, del reactor, y un medio para ajustar el caudal de fluido a través del reactor (es decir, la velocidad ascendente) de modo que esta sea aproximadamente constante. El caudal en el reactor se puede ajustar de acuerdo con la concentración de amoníaco afluente y/o efluente o algún otro parámetro de operación, tal como la concentración de oxígeno disuelto en el efluente del lecho fluidizado.

35 Se ha encontrado que el procedimiento de nitrificación de la presente invención puede operar de forma efectiva en un amplio intervalo de temperaturas y pH. El procedimiento puede operar en el intervalo de 0 a 40°C . El procedimiento de la invención puede operar con la temperatura del fluido de 5 a 35°C , y el pH del fluido de 5,6 a 9.

40 De acuerdo con otro aspecto más de la invención, se proporciona un procedimiento para la preparación de un aparato para la nitrificación de un fluido, comprendiendo dicho procedimiento introducir un medio de crecimiento bacteriano líquido y bacterias de nitrificación en el reactor, y hacer que dicho líquido pase a través del lecho del reactor, causando de este modo, o permitiendo, el crecimiento de una película de bacterias sobre las partículas.

Se apreciará que las condiciones óptimas para la preparación del reactor por crecimiento de biomasa corresponden por lo general a las condiciones óptimas para la nitrificación. Por ello, las variaciones y disposiciones preferidas descritas antes serán de aplicación en lo que se refiere al procedimiento de preparación.

45 La presente invención también proporciona un procedimiento de tratamiento de aguas residuales, un procedimiento de purificación de agua o un procedimiento de tratamiento de efluentes que comprende un procedimiento de nitrificación de la presente invención. La presente invención proporciona además una planta de purificación de aguas residuales, de efluentes o de agua que comprende un aparato de la presente invención.

50 A continuación, únicamente a modo de ejemplo, sigue una descripción de los procedimientos para llevar a la práctica la presente invención.

Ejemplo 1

Este ejemplo se refiere a la preparación de un reactor de lecho fluidizado para su uso en el procedimiento de nitrificación de la presente invención. Se ensayaron para su idoneidad tres tipos de coque de Chesterfield; "polvo de

coque de serie”, “polvo de coque de retorno del transportador” y “polvo de coque de almacenamiento”. De estos, se prefirieron los dos primeros debido a que el último contenía partículas que flotaban en agua, y por tanto no eran adecuados para un procedimiento de lecho fluidizado. El coque se tamizó para obtener partículas en el intervalo de tamaños de 0,7 a 1,0 mm.

5 Un primer ensayo ha mostrado que este intervalo de tamaños produce la mejor colonización por bacterias. El coque se lavó en agua para eliminar el polvo de coque de las partículas. A continuación se secó el coque lavado. El coque secado se trató en autoclave en agua para expulsar el aire de los poros del coque. Un procedimiento alternativo para expulsar el aire del coque es sumergir el coque en etanol o algún otro líquido que humecte el coque, miscible en agua. Se llenó un biorreactor de columna con coque hasta un nivel de aproximadamente 30 % de la altura de la columna.

10 Se preparó a continuación un medio de crecimiento bacteriano acuoso. El medio comprendía agua a la que se había añadido sulfato amónico como fuente de amoníaco para alimentar las bacterias. Las composiciones de medios de crecimiento adecuados se describen por Robertson *et al* (1989) “The effect of thiosulphate and other inhibitors of autotrophic nitrification on heterotrophic nitrifiers”, Antonie van Leeuwenhoek 56, páginas 302-309. El medio de crecimiento se oxigenó haciéndolo pasar a través de un dispositivo de aireación convencional que conlleva bombear aire a través del fluido. A continuación, el medio de crecimiento oxigenado se usó para fluidizar el lecho de coque bombeando el medio en dirección ascendente a través del lecho de coque. La velocidad de bombeo se ajustó hasta una velocidad ascendente de aproximadamente 0,85 cm/s para producir una expansión de aproximadamente un 50 % del lecho de coque, que corresponde a un aumento en el nivel de lecho de coque en la columna del reactor hasta aproximadamente un 45 % de la altura de la columna. La temperatura del medio de crecimiento se controló de 25-30 °C que se describe como el mejor intervalo de temperatura para el crecimiento bacteriano. A continuación, se inoculó el medio con una población microbiana mixta, que comprende sustancialmente bacterias nitrificantes tales como especies de los siguientes géneros de bacterias: bacterias Nitrosomonas, Nitrosococcus, Nitrospira, Nitrosolobus, Nitrosovibrio, Nitrobacter, Nitrospina, Nitrococcus y Nitrospira. El medio de crecimiento se hizo recircular entonces a través del lecho para que comenzara el crecimiento de bacterias sobre el coque. El procedimiento se desarrolla por el crecimiento bacteriano de floculante que se produce por encima del lecho de coque. Este floculante se queda adherido a las partículas de coque que están debajo. De forma gradual, se desarrolla una biopelícula y se dispersa en dirección descendente a través de la columna del reactor. El procedimiento de formación de película conlleva que los poros del coque queden colonizados con biomasa, y seguidamente se produce el sobrecrecimiento completo de cada una de las partículas. Finalmente, las partículas quedan embebidas en una biopelícula que, de forma típica, tiene un espesor de 0,5 mm.

15 Durante la colonización, la densidad de las partículas compuestas (coque y bacterias) se reduce debido a que la densidad de la biomasa es menor que la del coque. Por consiguiente, el volumen del lecho aumenta. De forma gradual, la altura del lecho aumenta hasta aproximadamente el doble que en su estado estático, no fluidizado. El caudal del medio de crecimiento se puede mantener constante durante este procedimiento. Con el posterior crecimiento de la biopelícula el lecho fluidizado se expande hasta llenar la columna del reactor. Si se desea obtener mayor carga de biomasa, se puede reducir la velocidad de ascensión del medio fluidizante hasta un 30 %, de modo que la expansión de las partículas colonizadas se reduzca, permitiendo más crecimiento de biomasa en la columna. De este modo, se puede conseguir una concentración de biomasa próxima al máximo teórico para sedimentos de biomasa pura (36 g/l de peso seco de 100 % de expansión $U = 0,85 \text{ cm s}^{-1}$; 55 g/l de 30 % $U = 0,45 \text{ cm s}^{-1}$) con un espesor de biopelícula de solo 0,5 mm. Esta concentración se compara de forma muy favorable con las concentraciones de 0,1 a 0,2 g/l típicas en filtros percoladores y de 1 a 2 g/l en lodos activados.

El siguiente ejemplo usa un reactor de lecho fluidizado como el preparado antes.

Ejemplo 2

45 Este ejemplo demuestra las capacidades de nitrificación de la columna de reactor preparada. Se bombeó un medio acuoso que contiene amoníaco (agua residual artificial) a través del lecho del reactor. El agua residual comprendía un medio de sales minerales que contenía 289 mg de N como amoníaco. Se usó carbonato sódico para controlar el pH y como fuente de carbono.

El procedimiento se ensayó en un amplio intervalo de temperaturas y pH. El procedimiento fue eficaz en un intervalo de 6 a 33 °C y en un intervalo de pH de 5,6 a 9,0.

Resultados

Se encontró que la velocidad máxima de nitrificación era de $3,5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ a un pH de 7,8 a 8,0, una temperatura de 14 a 16 °C y un tiempo de residencia en el biorreactor de 1,6 horas.

55 A un pH de 5,6 la velocidad de nitrificación fue de $0,6 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ a 25 °C. A un pH de 9,0 la velocidad de nitrificación fue de $2,2 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ tanto a 14 °C como a 25 °C.

Fue sorprendente que el nivel óptimo de nitrificación se produjo a una temperatura inferior que el intervalo óptimo aceptado para el crecimiento de bacterias, que es de 25 a 30 °C.

Ejemplo 3

5 Se produjo agua residual artificial, en base a las composiciones descritas por Robertson et al (*ibid.*). Se añadió sulfato amónico para producir dos composiciones de agua residual, cada una con diferente concentración de amoníaco. La composición A tenía una concentración de amoníaco de 140 mg/l NH₃-N y la composición B tenía una concentración de amoníaco de 280 mg/l NH₃-N. El agua residual se suministró en cada ensayo a una velocidad de ascensión de 0,45 - 0,85 cm/s. El agua residual se recirculó y se aireó por separado para mantener el contenido de oxígeno en el agua que entraba a la columna del reactor.

Resultados

10 Para la composición A, la velocidad máxima de nitrificación fue de 120 mg/l/h. Esto corresponde a conseguir la nitrificación completa con un tiempo de residencia en el reactor menor de 1,2 horas, una relación de recirculación de 70 y la extracción de 2,0 mg/l/paso de recirculación.

Para la composición B, la velocidad máxima de nitrificación fue de 145 mg/l/h. Esto corresponde a conseguir la nitrificación completa con un tiempo de residencia en el reactor menor de 2 horas, una relación de recirculación de 120 y la extracción de 2,4 mg/l/paso de recirculación.

15 La cantidad de amoníaco oxidado por paso está limitada por la solubilidad del oxígeno debido a que se requieren 1,5 moles de oxígeno para oxidar 1 mol de amoníaco a nitrato. A 20 °C la solubilidad máxima del oxígeno en agua es de aproximadamente 8 mg/l. Por tanto, la cantidad máxima teórica de amoníaco que se puede oxidar por paso es de aproximadamente 3,0 mg/l. Así, una relación de extracción de 2,4 mg/l/paso era extremadamente eficiente (80 %) y próxima al máximo teórico.

20 Ejemplo 4

Se preparó agua subterránea artificial imitando el contenido del agua subterránea contaminada por bajas concentraciones de amoníaco. Se añadió sulfato amónico como fuente de amoníaco, a una concentración de amoníaco de 1 a 2 mg/l. En este caso, la oxidación completa del amoníaco a nitrato se consiguió en un único paso del agua subterránea a través del reactor.

25

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un procedimiento microbiológico para la nitrificación de un fluido, comprendiendo dicho procedimiento hacer pasar el fluido a nitrificar a través de un lecho de biomasa que comprende bacterias nitrificantes, bacterias que están inmovilizadas en forma de biopelícula que crece sobre partículas porosas y hacer pasar dicho fluido a través de dicho lecho de dichas partículas, de modo que fluidizan o expanden dicho lecho, **caracterizado porque** dichas partículas porosas comprenden partículas de coque que tienen una superficie "vítrea" o ligeramente vitrificada.
2. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que las partículas de coque tienen cada una un tamaño en el intervalo de 0,25 a 2,5 mm.
- 10 3. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que las partículas de coque tienen cada una un tamaño en el intervalo de 0,7 a 1,0 mm.
4. Un procedimiento según la reivindicación 1, la reivindicación 2 o la reivindicación 3, en el que la película de biomasa tiene un espesor medio menor de 1 mm.
5. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la película de biomasa tiene un espesor medio de aproximadamente 0,5 mm.
- 15 6. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el lecho de partículas porosas está dispuesto en un reactor y el fluido a nitrificar se hace pasar en dirección ascendente a través del lecho.
7. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el fluido se oxigena por separado de la biomasa de nitrificación.
- 20 8. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la oxigenación del fluido se efectúa al menos en parte mediante el uso de peróxido de hidrógeno.
9. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en el que el fluido a nitrificar se hace circular desde un extremo del lecho del reactor a otro extremo del mismo, de modo que la concentración de oxígeno disuelto en el fluido disminuye entre un extremo y el otro extremo, estando controlada la concentración de oxígeno en dicho otro extremo de tal modo que la concentración de oxígeno en el fluido está justo por encima de un nivel al cual la concentración sería limitante de la velocidad para el procedimiento de nitrificación.
- 25 10. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la temperatura del fluido se controla para que esté en el intervalo de 13 a 17 °C.
11. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el pH del fluido se controla para que esté en el intervalo de 7,5 a 8,5.
- 30 12. Un procedimiento de tratamiento de aguas residuales que comprende un procedimiento de nitrificación según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.
13. Un procedimiento de purificación de agua que comprende un procedimiento de nitrificación según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.
- 35 14. Un procedimiento de tratamiento de efluentes que comprende un procedimiento de nitrificación según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.
15. Aparato para la nitrificación de un fluido, comprendiendo dicho aparato un reactor provisto de un lecho de reactor de partículas porosas sobre cada una de las cuales ha crecido una biomasa de bacterias nitrificantes en forma de una biopelícula sobre las mismas y un medio para hacer que dicho fluido pase a través de dicho lecho de reactor, fluidizando o expandiendo de este modo dicho lecho, **caracterizado porque** dichas partículas porosas comprenden partículas de coque que tienen una superficie "vítrea" o ligeramente vitrificada.
- 40 16. Aparato según la reivindicación 15, que incluye además un medio para airear el fluido.
17. Aparato según la reivindicación 15 o la reivindicación 16, que incluye además un medio de control para controlar el caudal de fluido a través del lecho de reactor.
- 45 18. Aparato según la reivindicación 17, en el que el medio de control incluye un medio para muestrear la concentración de oxígeno en el fluido antes o durante la entrada en el reactor, un medio para muestrear la concentración de oxígeno del fluido durante la salida, o después de la salida del reactor, y un medio para ajustar el caudal de fluido a través del reactor, u otros parámetros del reactor, tal que la concentración de oxígeno al abandonar el reactor está justo por encima de una concentración a la cual la concentración de oxígeno sería controlante de la velocidad para el procedimiento de nitrificación.
- 50 19. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones 15 a 18, que incluye además un medio para separar la

biomasa agotada.

20. Aparato según la reivindicación 19, en el que el medio de separación es un depósito de sedimentación o un hidrociclón.

5 **21.** Un procedimiento para la preparación de un aparato para la nitrificación de un fluido según una cualquiera de las reivindicaciones 15 a 20, comprendiendo dicho procedimiento introducir un medio de crecimiento bacteriano líquido y bacterias nitrificantes en el reactor, y hacer que dicho líquido pase a través del lecho del reactor, causando de este modo el crecimiento de una película de bacterias sobre las partículas.

22. Una planta de tratamiento de aguas residuales o efluentes que comprende un aparato según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 20.

10 **23.** Una planta de purificación de agua que comprende un aparato según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 20.