



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 319 888**

51 Int. Cl.:

C02F 3/12 (2006.01)

C02F 3/26 (2006.01)

C02F 3/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03751604 .4**

96 Fecha de presentación : **16.09.2003**

97 Número de publicación de la solicitud: **1542932**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **22.06.2005**

54

Título: **Procedimiento para el tratamiento de agua residual con gránulos de lodo.**

30

Prioridad: **16.09.2002 NL 1021466**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:
14.05.2009

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
14.05.2009

73

Titular/es: **DHV B.V.**
Laan 1914 nº 35
3813 EX Amersfoort, NL

72

Inventor/es:
Van Loosdrecht, Marinus, Cornelis, Maria y
De Kreuk, Merle, Krista

74

Agente: **Durán Moya, Luis Alfonso**

ES 2 319 888 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).

ES 2 319 888 T3

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para el tratamiento de agua residual con gránulos de lodo.

5 La presente invención se refiere a un método para el tratamiento de agua residual que comprende un nutriente orgánico, en el que el agua residual se pone en contacto con partículas de lodo que comprenden microorganismos, se alimenta un gas que comprende oxígeno a las partículas de lodo y el método comprende además la sedimentación de las partículas de lodo y la descarga del agua residual libre de nutrientes orgánicos.

10 Dicho método es conocido en la técnica, por ejemplo, del documento US 3.864.246. Agua residual que tiene un alto índice de demanda biológica de oxígeno (DBO) se mezcla con flocúlos de lodo. El agua residual que contiene flocúlos de lodo obtenida de este modo se pone en contacto con oxígeno (aire). Las condiciones elegidas aumentan el crecimiento de los flocúlos de lodo (es decir, de las partículas de biomasa) que tienen mejores características de sedimentación. Esto reduce el tiempo necesario para separar los microorganismos (particularmente bacterias) que proporcionan la descomposición biológica del agua residual.

15 BEUN J J y otros dan a conocer una granulación aeróbica en un reactor de arrastre (“airlift”) de lotes secuencial, en el que se cultiva un lodo granular aeróbico mientras se mezcla de forma intensa.

20 DANGCONG P y otros dan a conocer la observación de lodo granular aeróbico en un reactor de lotes secuencial, en el que se alimentan aguas residuales urbanas sintéticas que contenían acetato sódico como substrato orgánico, y se controla el oxígeno disuelto (DO) a una concentración baja.

25 MORGENROTH E y otros dan a conocer el cultivo de gránulos en un reactor de lotes secuencial (SBR) a escala de laboratorio en condiciones aeróbicas.

BEUN J J y otros se refieren a la eliminación de N en un lodo granular en un reactor de arrastre de lotes secuencial.

El documento EP-A-0776864 da a conocer un proceso para la purificación biológica aeróbica del agua.

30 Una desventaja del método conocido, a pesar de la velocidad de sedimentación mejorada, es que la puesta en práctica del método requiere un área superficial relativamente grande, es decir, la purificación a gran escala ocupa una cantidad de espacio indeseable.

35 Es un objetivo de la presente solicitud mejorar el método, a la vez de ocupar un espacio menor, en comparación con el método conocido.

Con este objetivo el método según la presente invención se caracteriza porque:

40 - en una primera etapa el agua residual se alimenta a los gránulos de lodo, en condiciones aeróbicas

- después del suministro del agua residual que se va a tratar, se introduce un gas que comprende oxígeno en una segunda etapa, en la que la concentración de oxígeno es menor de 5 mg/ml, estando los gránulos en una condición fluidificada y al final de la segunda etapa o al principio de la tercera etapa se eliminan los gránulos.

45 - en una tercera etapa, la etapa de sedimentación, se deja sedimentar a los gránulos de lodo.

Esto permite que el método se lleve a cabo en un volumen de reactor relativamente limitado. Esto puede reducir la ocupación de espacio hasta una quinta parte. Las condiciones de reacción elegidas potencian la formación de gránulos de lodo (a diferencia de flocúlos de lodo) con características de sedimentación excelentes. Además, las condiciones en la primera etapa son pobres en oxígeno y son en la práctica anaeróbicas, puesto que no hay oxígeno añadido. En la primera etapa los gránulos de lodo absorben los nutrientes orgánicos del agua residual suministrada y se almacenan dentro de los microorganismos en forma de polímero, tal como polibetahidroxibutirato. Si se suministra oxígeno en la primera etapa, éste no debe estar en una cantidad que impida el almacenamiento del nutriente orgánico. En la segunda etapa, tiene lugar la descomposición de los nutrientes orgánicos almacenados en condiciones aeróbicas. Además, esta segunda etapa aeróbica puede efectuar la descomposición del amonio posiblemente presente en nitrato. En la segunda etapa, el interior de los gránulos de lodo es también anaeróbico y aquí es donde se descomponen los nutrientes orgánicos almacenados utilizando nitrato. Esto produce gas nitrógeno, dando como resultado una reducción eficaz del contenido de N en el agua residual. Para la eliminación de los compuestos nitrosos que se descompondrán, la concentración de oxígeno en la segunda etapa es menor de 5 mg/ml, y preferentemente menor de 2 mg/ml. De esta manera, se puede evitar la utilización de reactores posicionados anterior o posteriormente para la eliminación de los compuestos de nitrógeno, o su capacidad de purificación se puede escalar a la baja, lo que significa un ahorro de costes. La presente invención permite también eliminar el fosfato. Con este objetivo, en una etapa que no sea la primera etapa, y preferentemente al final de la segunda etapa o al principio de la tercera etapa, se eliminan los gránulos de lodo. Sucede de forma sorprendente que, en las condiciones de la presente invención los microorganismos que acumulan fosfato no salen hacia fuera. Todos los microorganismos que se necesitan para el método según la presente invención se encuentran en el lodo de las plantas de purificación. No necesitan ser aislados, puesto que las condiciones especificadas aseguran que estos microorganismos constituyen parte de los gránulos de lodo. Las condiciones según

ES 2 319 888 T3

la presente invención dan lugar a la formación de gránulos de lodo que son significativamente más grandes y tienen una densidad más elevada que los flocúlos de lodo obtenidos según las condiciones descritas en el documento US 3.864.246 (véase la figura 1), que tienen una velocidad de sedimentación > 10 m/h (a diferencia de aproximadamente 1 m/h para los flocúlos de lodo conocidos) y un índice de volumen del lodo < 35 ml/g. El índice de volumen del lodo es el volumen medido para 1 gramo de biomasa después de 1 hora de sedimentación. Para la purificación de una parte siguiente de agua residual se repiten las etapas 1 a 3 (un ciclo). La presente invención es muy adecuada para el tratamiento de aguas residuales.

En la primera etapa el agua residual se alimenta preferentemente a un lecho de gránulos de lodo y los gránulos de lodo sedimentan en la tercera etapa, formando un lecho de gránulos de lodo.

Esto permite que los microorganismos se expongan a una concentración más elevada del nutriente orgánico, que promueve el crecimiento granular.

Según una realización preferente, el agua residual se alimenta al lecho de gránulos de lodo a una velocidad tal que evite la fluidificación del lecho.

Dado que se evita en gran medida que el agua residual presente ya tratada se mezcle con agua residual que se va a tratar, esto permite que los microorganismos se expongan a la concentración más elevada posible de nutriente que, según se ha mencionado anteriormente, promueve el crecimiento granular. El término "para evitar la fluidificación" se entiende que significa que el lecho no fluidifica, y/o que como resultado de la introducción del agua residual, la mezcla tiene lugar hasta, como máximo, el 25% de la altura del lecho. El agua residual se puede, por ejemplo, pulverizar sobre el lecho directamente o utilizando medios para limitar la fuerza con la que el agua residual puede perjudicar la superficie del lecho. En todo caso, la mezcla tendrá lugar hasta, como máximo, el 25%, preferentemente a menos del 15% de la altura del lecho. En lugar de la introducción por el lado superior del lecho de los gránulos de lodo, el agua residual se puede introducir preferentemente por debajo. Especialmente en el último caso, la velocidad de entrada estará limitada, de modo que no tenga lugar ninguna fluidificación del lecho. En ambos casos es posible desplazar y descargar el agua purificada aún presente entre los gránulos de lodo del lecho de una manera eficaz, es decir, con poco o nada de mezcla del agua residual y el agua residual purificada (libre de nutrientes), como se discutirá a continuación. En principio, es posible también introducir el agua residual en el lecho de los gránulos de lodo mediante tuberías.

Según una realización preferente, como mínimo una parte del agua residual libre de nutrientes se descarga en la tercera etapa, después de, como mínimo, una sedimentación parcial.

La eliminación de agua residual libre de nutrientes antes de la adición de agua residual nueva que se va a tratar significa que es necesario un volumen más pequeño de reactor, y que los gránulos de lodo que comprenden microorganismos están en contacto con una concentración más elevada de nutrientes. Esto es favorable para la formación de gránulos de lodo. La altura del líquido en el reactor es, por ejemplo, dos veces y, preferentemente, 1,5 veces o menos, tal como 1,2 veces la altura del lecho de los gránulos de lodo sedimentados.

Según una realización preferente, como mínimo una parte del agua residual libre de nutrientes se descarga durante la alimentación del agua residual al lecho de los gránulos de lodo en la primera etapa.

En este caso, la descarga del agua residual libre de nutrientes es preferentemente la consecuencia del desplazamiento debido al agua residual que se alimenta al lecho de gránulos de lodo.

De este modo, con una sola acción se llevan a cabo la adición del agua residual nueva y la descarga del agua residual tratada. Esto se puede lograr con gastos de capital bajos. Son posibles ahorros adicionales en tecnología de control (se requieren pocas mediciones) y gastos de funcionamiento. Además, se evita la mezcla del agua residual tratada con agua residual que se va a tratar, de modo que la concentración de nutrientes a la que se exponen los microorganismos en los gránulos de lodo es tan alta como es posible, proporcionando la ventaja mencionada anteriormente del crecimiento en forma de gránulos de lodo. El agua residual tratada desplazada se descarga preferentemente en el lado superior del lecho. Debido al desplazamiento, cualquier flocúlo que se pueda formar se limpia del reactor. Por lo tanto, de forma ventajosa el agua residual se introduce a través del fondo del lecho.

Una realización importante es una en la que el agua residual se introduce en una cantidad del 50 al 110%, preferentemente del 80 al 105% y más preferentemente del 90 al 100% del volumen vacío del lecho.

De esta manera, la biomasa en forma de gránulos de lodo se utiliza de forma óptima, en el menor volumen del reactor posible.

Preferentemente, la introducción de agua residual es seguida de un intervalo de tiempo antes de comenzar la segunda etapa.

Esto promueve la absorción de los nutrientes del agua residual, y contribuye a la formación de gránulos de lodo con buenas cualidades de sedimentación. Si se desea, la mezcla puede tener lugar durante el intervalo de tiempo.

ES 2 319 888 T3

El intervalo de tiempo es preferentemente suficientemente largo para la eliminación de, como mínimo, el 50%, preferentemente, como mínimo, el 75% y lo más preferente, como mínimo, el 90% del nutriente orgánico del agua residual.

5 Esto contribuye mayoritariamente a la formación de gránulos de lodo con buenas cualidades de sedimentación, mientras que la purificación del agua residual es óptima.

Es preferente que el agua residual se introduzca en la tercera etapa, en la que los gránulos de lodo que sedimentan más lentamente se descargan del reactor y los gránulos de lodo que sedimentan más rápidamente permanecen en el reactor.

15 Esto aumenta adicionalmente la presión de selección por el crecimiento granular. La introducción de agua residual se puede realizar a una velocidad de flujo baja durante sedimentación de los gránulos de lodo, preferentemente después de que, como mínimo, parte de los gránulos de lodo hayan formado un lecho granular pero, según se ha explicado en otra parte, más preferentemente después de que el lecho granular se haya formado. En los primeros dos métodos hay una superposición entre la primera y tercera etapa. En el segundo y especialmente en el tercer método, flocúlos ligeros de lodo que han sedimentado en el lecho, o que tendrían la tendencia a hacerlo, son arrastrados por el flujo de agua libre de nutrientes desplazada por el agua residual. Como consecuencia, hay una presión de selección que da como resultado el mantenimiento de las características del lodo en forma de gránulos. Es preferente que la descarga tenga lugar en la tercera etapa mediante una obertura de descarga justo sobre el lecho final.

La presente invención será explicada en referencia a la siguiente realización como ejemplo en la que

25 La figura 1 muestra un gráfico de la concentración de acetato, fosfato, amonio y $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ durante un ciclo del método según la presente invención.

Las figuras 2a y b muestran los flocúlos de lodo según la técnica anterior y los gránulos de lodo según la presente invención, respectivamente.

30 Un reactor de arrastre de aire (3 litros, altura/diámetro 20) se alimentó con 1,5 litros de agua residual por ciclo, agua residual que representa un modelo apropiado de un agua residual doméstica. La composición fue 6,3 mM de acetato sódico; 3,6 mM de cloruro amónico, 0,6 mM de fosfato potásico, 0,37 mM sulfato magnésico, 0,48 mM de cloruro potásico y 0,9 ml/l de solución de estándar de oligoelementos. El reactor se sembró con lodo activo aeróbico de una planta de purificación de aguas residuales domésticas. El reactor se hizo operar en ciclos de lotes sucesivos. Un ciclo consistió en las etapas siguientes:

40 i) Introducción de 1,5 litros de agua residual modelo en la parte inferior del reactor, durante 60 minutos, de modo que haya un régimen de flujo uniforme o de pistón ("plug flow") de agua residual a través del lecho granular sedimentado.

ii) Aireación durante 111 minutos a un caudal de 4 litros de aire por minuto.

iii) Sedimentación de lodo granular durante 3 minutos después de la finalización de la aireación.

45 iv) Descarga del agua residual modelo tratada desde el punto de salida del efluente a la mitad de la altura del reactor. Cualquier biomasa presente en este momento sobre el punto de salida del efluente se eliminó del reactor junto con el agua residual tratada.

v) intervalo de tiempo de 1 minuto, después del que se reinició la alimentación con agua residual modelo.

50 Añadiendo una base o un ácido, se mantuvo el pH en el reactor de 6,5 a 7,5 y la temperatura se mantuvo a 20°C. Durante la fase de aireación ii) se mantuvo la concentración de oxígeno disuelto a 1,8 mg/ml, aproximadamente. Por una parte, esto mantiene la concentración de oxígeno suficientemente alta para la descomposición aeróbica de los nutrientes en la parte externa de los gránulos de lodo, y por otra parte, solamente se requiere una capacidad de bombeo baja para la adición de aire. Después de todo, en estas condiciones, la transferencia de oxígeno del aire es muy eficiente. Por lo tanto, se requiere también poca energía para el suministro de oxígeno. La descomposición de los compuestos de nitrógeno se mostró que era óptima a estas concentraciones de oxígeno, encontrándose solamente cantidades mínimas de nitrato en el agua residual tratada.

60 En la tabla 1 se muestran las concentraciones medias de agua residual modelo y de agua tratada. Se da también el resultado medio de la purificación. La figura 1 muestra el diagrama de acetato (o), fosfato (Δ), amonio (diamante sólido) y la suma de la concentración de nitrato y nitrito (diamante hueco) durante un ciclo. La figura 2b muestra una fotografía de los gránulos de lodo obtenidos por el método. Los gránulos de lodo obtenidos fueron estables durante, como mínimo, 300 días, después de que se detuvo el presente experimento. De este modo, el método según la presente invención hace posible un control fiable del funcionamiento. La figura 2a muestra los flocúlos típicos de lodo que tienen una velocidad de sedimentación según se describe en el documento US 3.864.246. Aunque el documento US 3.864.246 combate con éxito el crecimiento de organismos filamentosos, que forman el denominado lodo ligero, los flocúlos de lodo formados tienen una velocidad de sedimentación en el mejor de los casos de 1 m/h. En cambio, los

ES 2 319 888 T3

gránulos de lodo según la presente invención tienen velocidades de sedimentación muy elevadas (> 10 m/h), mientras que la distancia sobre la que tiene lugar la sedimentación puede ser relativamente corta.

5

TABLA 1

Concentraciones de agua residual modelo tratada y sin tratar

10

Valores medios	Agua residual modelo	Agua residual tratada	Eficiencia de eliminación
Acetato (mM)	6,3	0	100%
NH ₄ ⁺ (mM)	3,6	0	97%
NO ₃ ⁻ (mM)	0	0,1	
NO ₂ ⁻ (mM)	0	0	
PO ₄ (mM)	0,6	0,04	94%

15

20

Uno de los factores que contribuyen al crecimiento granular está en la alimentación de agua residual con una concentración de nutrientes lo más alta posible a los gránulos de lodo. Por esta razón es conveniente evitar la mezcla entre el agua residual tratada en el reactor y el agua residual suministrada de nuevo. En aquellos casos en los que prevalece una concentración de nutriente baja en el agua residual durante muchos ciclos, por ejemplo, más de 10, se pueden añadir nutrientes al agua residual si es necesario. Una opción sería utilizar abono líquido.

25

La presente invención se puede poner en práctica de diversas maneras. Por ejemplo, en vez de utilizar un reactor es propicio utilizar tres reactores, haciéndose funcionar los tres reactores fuera de fase. Es decir, mientras que el agua residual se alimenta a un reactor, la etapa de aireación se lleva a cabo en un segundo reactor, mientras que en el tercer reactor tiene lugar la sedimentación y posiblemente la descarga del agua purificada. Esto mantiene los gastos de capital para bombas, especialmente con respecto a sus capacidades máximas requeridas, dentro de unos límites. El agua residual tratada se libera gradualmente y esto es ventajoso si esta agua residual necesita experimentar otro tratamiento, dado que entonces es suficiente también un reactor más pequeño para el tratamiento posterior. Si se compara con el experimento descrito anteriormente, en la práctica los reactores serán relativamente más altos, la sedimentación durará más. Esto significa que la alimentación puede durar un tercio del tiempo, y la aireación y la sedimentación conjuntamente dos tercios del tiempo. De este modo, se evita un tanque intermedio para el almacenamiento temporal del agua residual que se va a tratar y los tres reactores de funcionamiento por lotes hacen posible el funcionamiento continuo. La presente invención se ilustra por medio de un reactor de arrastre, pero la presente invención se puede realizar con cualquier otro tipo de reactor, tal como un reactor de columna de burbujas.

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

5 1. Método para el tratamiento del agua residual que comprende un nutriente orgánico, en el que el agua residual se pone en contacto con partículas de lodo que comprenden microorganismos, se alimenta un gas que comprende oxígeno a las partículas de lodo, y el método comprende además la sedimentación del lodo y la descarga del agua residual libre de nutrientes orgánicos, **caracterizado** porque

10 - en una primera etapa el agua residual se alimenta a los gránulos de lodo, en condiciones anaeróbicas;
- después del suministro de agua residual que se va a tratar se introduce un gas que comprende oxígeno en una segunda etapa, en la que la concentración de oxígeno es menor de 5 mg/ml, estando los gránulos en una condición fluidificada y al final de la segunda etapa o al principio de la tercera etapa se eliminan los gránulos de lodo.

15 - en una tercera etapa, una etapa de sedimentación, se dejan sedimentar los gránulos de lodo.

2. Método, según la reivindicación 1, **caracterizado** porque el agua residual se introduce en una cantidad del 50 al 110%, preferentemente del 80 al 105% y lo más preferente del 90 al 100% del volumen del lecho vacío.

20 3. Método, según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** porque la introducción del agua residual está seguida de un intervalo de tiempo antes de comenzar la segunda etapa.

25 4. Método, según la reivindicación 3, **caracterizado** porque el intervalo de tiempo es suficientemente largo para la eliminación, como mínimo, del 50%, preferentemente, como mínimo, del 75% y lo más preferente, como mínimo, del 90% del nutriente orgánico del agua residual.

30

35

40

45

50

55

60

65

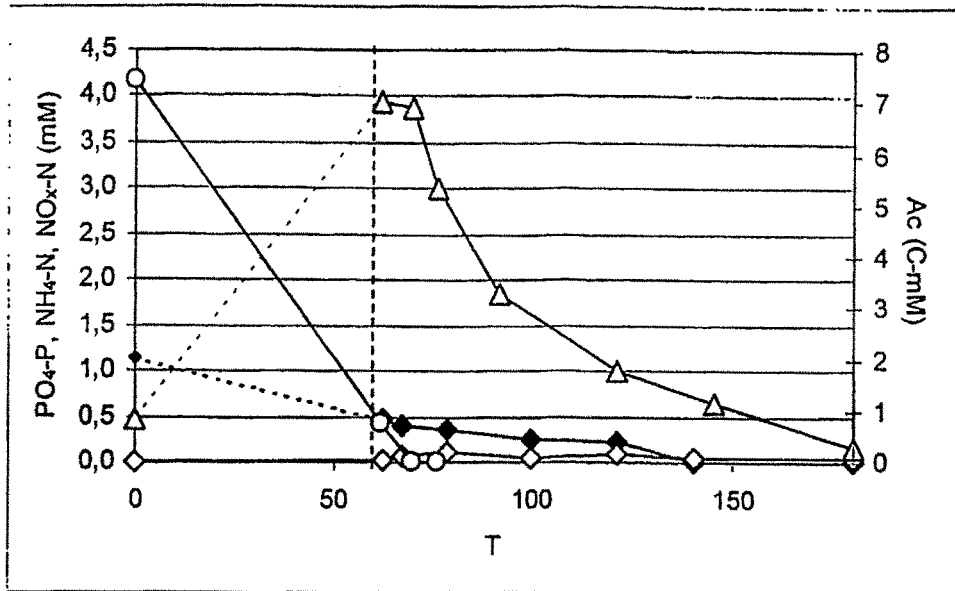


Fig. 1

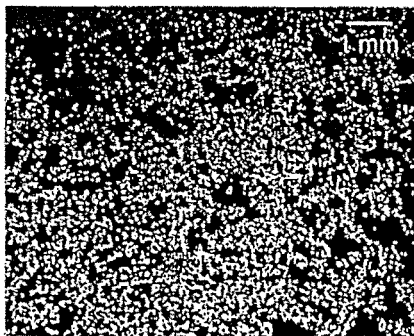


Fig. 2a

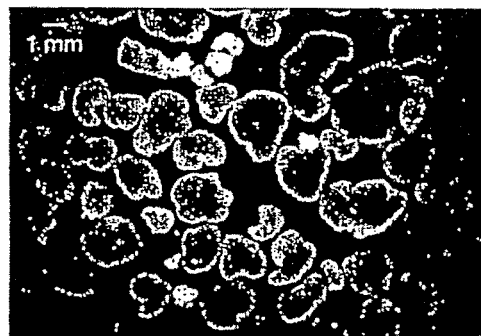


Fig. 2b