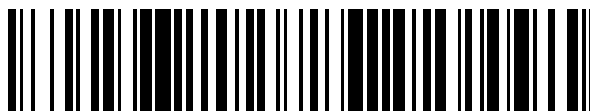


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 640 065**

51 Int. Cl.:

C02F 3/30

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.04.2014** **PCT/NL2014/050204**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.10.2014** **WO14171819**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.04.2014** **E 14717501 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.06.2017** **EP 2986568**

54 Título: **Proceso para eliminación biológica de nitrógeno de aguas residuales**

30 Prioridad:

16.04.2013 EP 13163989

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

31.10.2017

73 Titular/es:

PAQUES I.P. B.V. (100.0%)
Tjalke de Boerstrjitte 24
8561 EL Balk, NL

72 Inventor/es:

HENDRICKX, TIM LUCAS GEORGE;
LOTTI, TOMMASO;
VAN LOOSDRECHT, MARINUS CORNELIS MARIA
y
KRUIT, JANS

74 Agente/Representante:

TOMAS GIL, Tesifonte Enrique

ES 2 640 065 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).

5 DESCRIPCIÓN

Proceso para eliminación biológica de nitrógeno de aguas residuales

10 Campo de la invención

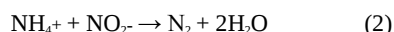
[0001] La invención se refiere a un procedimiento para la eliminación biológica de nitrógeno de aguas residuales en un reactor que contiene residuos granulados que comprenden gránulos que tienen un núcleo de bacteria anammox y un borde externo de bacterias de oxidación de amoníaco a temperaturas inferiores a 25 °C.

15 Antecedentes de la invención

[0002] Un proceso para la nitrificación y la oxidación anaeróbica de amonio (anammox) combinadas de aguas residuales se conoce en la técnica y se usa normalmente para el tratamiento de corrientes de agua residuales ricas en amonio a temperaturas mesofílicas, es decir en el rango de 25 a 40 °C. En este proceso, la mitad del amonio se oxida primero mediante bacterias de oxidación de amoníaco para formar nitrito según la siguiente ecuación de reacción:



El amonio y el nitrito resultantes se convierten entonces en gas dinitrógeno mediante bacterias anammox según la siguiente ecuación de reacción:



Se sabe cómo llevar a cabo ambas etapas del proceso en un único reactor donde las bacterias de oxidación de amoníaco y las bacterias anammox forman gránulos de residuo compacto con un núcleo de bacterias anammox y un borde externo de bacterias de oxidación de amoníaco. Tal proceso se describe por ejemplo en J.R. Vázquez-Padín et al., Water Science & Technology (2011), p. 1282-1288.

[0003] Las bacterias anammox tienen una tasa de crecimiento lenta y por lo tanto, la nitrificación y la oxidación anaeróbica de amonio combinadas de aguas residuales se aplica principalmente para corrientes de aguas residuales que tienen una temperatura de alrededor de 30 °C. Además, a temperaturas mesofílicas, la tasa máxima de crecimiento de bacterias de oxidación de amoníaco es mayor que la tasa máxima de crecimiento de bacterias de oxidación de nitrito, evitando así la oxidación no deseada de nitrito a nitrato.

[0004] De cualquier modo, esto sería ventajoso si la nitrificación y la oxidación anaeróbica de amonio combinadas de aguas residuales se pudieran realizar a una temperatura más baja, es decir a menos de 25 °C, preferiblemente entre 10 y 20 °C, ya que las aguas residuales domésticas están normalmente disponibles a tales temperaturas inferiores. Se ha propuesto una nitrificación y una oxidación anaeróbica de amonio combinadas de aguas residuales a bajas temperaturas. En J.R. Vázquez-Padín et al., Water Science & Technology (2011), p. 1282-1288, se han estudiado las condiciones adecuadas para la nitrificación y la oxidación anaeróbica de amonio combinadas de corrientes de aguas residuales diluidas a bajas temperaturas en una configuración de dos unidades y en una configuración de monounidad. Se ha observado que resulta posible llevar a cabo una nitrificación y una oxidación anaeróbica de amonio combinadas en un solo reactor a 20 °C. El reactor tiene una proporción de altura/diámetro de 5,5. Bajo las condiciones del proceso se forman los gránulos de residuo compacto aplicados con un núcleo de bacterias anammox y un borde externo de bacterias de oxidación de amoníaco. El proceso que se divulga en Vázquez-Padín et al. se acciona en modo por lotes.

[0005] En WO2011/110905 se divulga un proceso para la purificación biológica de aguas residuales que contienen amonio en un tanque de aireación a una concentración de oxígeno baja (menos de 1,0 mg/L de oxígeno disuelto) a temperaturas entre 7 y 25 °C, donde el residuo en exceso formado en la desamonificación de agua de residuo a partir de un digestor a una temperatura por encima de 25 °C se alimenta en el tanque de aireación para aumentar continuamente la cantidad de bacterias anammox en el tanque de aireación. En el proceso de WO2011/110905, parte del residuo se recicla sobre el tanque de aireación sin eliminación de residuo no granulado.

[0006] Existe una necesidad en la técnica de un proceso mejorado para nitrificación y oxidación anaeróbica de amonio combinadas a bajas temperaturas que pueda llevarse a cabo a escala industrial y para corrientes de aguas residuales no diluidas y donde no se necesita ningún aumento continuo con bacterias anammox.

65 Resumen de la invención

[0007] Se acaba de descubrir que mediante la operación de una nitrificación combinada y un proceso de oxidación anaeróbico de amonio en un único reactor que comprende residuo granuloso con bacterias de oxidación de amonio y anammox en tales condiciones que el tiempo de retención del residuo granuloso es al

menos diez veces el tiempo de retención hidráulica y donde el tiempo de retención de cualquier residuo no granulado formado en el reactor es como máximo tres veces el tiempo de retención hidráulica y donde el tiempo de retención hidráulica está en el rango de 0,5 horas a 1,5 días, el proceso se puede accionar a temperaturas inferiores a 25 °C, incluso en un reactor con una altura relativamente baja para la proporción del diámetro e incluso sin aumento con bacterias anammox.

Las condiciones donde el tiempo de retención del residuo granulado es sustancialmente superior al tiempo de retención hidráulica y donde el tiempo de retención de residuo no granulado no es muy superior o similar al tiempo de retención hidráulica se obtienen separando el efluente de reactor de líquido en una fracción que comprende el residuo granulado y nada o cantidades muy pequeñas de residuo no granulado, y una fracción que comprende residuo no granulado. Tal separación puede por ejemplo obtenerse utilizando un decantador de placas inclinadas y operando a una velocidad relativamente alta en ascenso del efluente de reactor. El residuo granulado separado se recicla en el reactor y el residuo no granulado se retira del proceso.

[0008] Por consiguiente, la invención proporciona un proceso para la eliminación biológica de nitrógeno de aguas residuales que comprende:

- (a) proporcionar un flujo de aguas residuales que comprende amonio;
- (b) suministro continuo del flujo de aguas residuales a un reactor que contiene residuos granulosos que comprende gránulos con un núcleo de bacterias anammox y un borde externo de bacterias oxidantes de amoníaco;
- (c) someter las aguas residuales en el reactor a oxidación de amonio bajo condiciones de oxidación de amonio que comprenden una temperatura en el rango de 5 a 25 °C, una concentración de oxígeno disuelto en las aguas residuales en el rango de 0,4 mg/L a 4,0 mg/L, y un tiempo de retención hidráulica de las aguas residuales en el reactor en el rango de 0,5 horas a 1,5 días, para obtener un flujo gaseoso que comprende nitrógeno y una dispersión de residuo granulado y residuo no granulado en aguas residuales tratadas; y
- (d) separación continua de la dispersión obtenida en un flujo que comprende residuos granulados y un flujo que comprende aguas residuales tratadas y residuos no granulados y que recicla el flujo que comprende residuos granulados en el reactor y que descarga el residuo no granulado del proceso,

donde el residuo granulado tiene un tiempo de retención en el reactor de al menos diez veces el tiempo de retención hidráulica, y donde el tiempo de retención de cualquier residuo no granulado en el reactor es igual a o como máximo tres veces el tiempo de retención hidráulica.

[0009] Es una ventaja del proceso según la invención que las bacterias oxidantes de nitrito y las bacterias de oxidación heterotrófica se quiten del reactor de manera selectiva mientras el tiempo de retención del residuo granulado con bacterias anammox y bacterias de oxidación de amoníaco se aumenta. Como resultado, se minimiza la oxidación de nitrito no deseado a nitrato. Además, la eliminación selectiva de bacterias de oxidación de nitrito y bacterias de oxidación heterotróficas permite que el proceso se opere en una concentración de oxígeno disuelto relativamente alta, que es ventajosa para la tasa de conversión en la etapa de nitrificación. Otra ventaja del proceso es que cualquier sólido influente también se separa normalmente del reactor efluente líquido con el residuo no granulado.

[0010] Preferiblemente, el proceso según la invención se acciona bajo condiciones de cizalladura alta en el reactor de la etapa (c). Tal cizalladura alta tiene la ventaja de que el crecimiento de no granulado, es decir flucolante, biomasa en los gránulos de residuo se evita o se minimiza y con eso favorece la separación entre residuo granulado y no granulado en la etapa (d). Alternativamente, el efluente líquido del reactor de oxidación de amonio en la etapa (c) se puede someter para cizallar fuera del reactor por ejemplo entre las etapas (c) y (d) o durante etapa de separación (d).

Descripción detallada de la invención

[0011] En el proceso según la invención un flujo de aguas residuales que comprende amonio se proporciona en la etapa (a). El flujo de aguas residuales proporcionado tiene preferiblemente un contenido de nitrógeno por debajo de 100 mg/L, más preferiblemente en el rango de 25 a 75 mg/L. El flujo de aguas residuales contiene materia orgánica, expresada como demanda biológica de oxígeno (BOD). Aquí se define BOD como la cantidad de oxígeno disuelto (en mg) que se necesita por litro de aguas residuales por microorganismos aerobios para descomponer materia orgánica presente en las aguas residuales a 20 °C sobre 5 días de incubación. Preferiblemente, el flujo de aguas residuales proporcionado tiene una BOD de como máximo 100 mg/L, más preferiblemente como máximo 70 mg/L, aún más preferiblemente como máximo 50 mg/L. Preferiblemente, el flujo de aguas residuales proporcionado tiene un contenido en BOD y nitrógeno tal como un cociente de BOD y el contenido de nitrógeno por debajo de 2,0, preferiblemente debajo de 1,5, más preferiblemente en el rango de 0,5 a 1,0.

[0012] En la etapa (b), el flujo de aguas residuales se suministra de manera continua a un reactor que contiene residuo granulado que comprende gránulos que tienen un núcleo de bacterias anammox y un borde externo de bacterias de oxidación de amonio.

5

[0013] En la etapa (c), las aguas residuales se someten entonces en el reactor a oxidación de amonio bajo condiciones de oxidación de amonio. Las condiciones de oxidación de amonio comprenden una temperatura en el rango de 5 a 25 °C, una concentración de oxígeno disuelto en aguas residuales en el rango de 0,4 mg/L a 4,0 mg/L y un tiempo de retención hidráulica en el rango de 0,5 horas y 1,5 días. Bajo estas condiciones, parte del amonio se oxidará por bacterias de oxidación de amoníaco para nitrito según la ecuación (1) y el nitrito formado reaccionará con amonio para formar dinitrógeno. Bajo estas condiciones normalmente también crecerán algunas bacterias de oxidación de nitrito que oxidan parte del nitrito en nitrato y las bacterias de oxidación heterotrófica oxidarán BOD en dióxido de carbono. En esta etapa de oxidación de amonio, se obtienen un flujo de gas que comprende nitrógeno, dióxido de carbono y oxígeno y una dispersión de residuo granulado y residuo no granulado en aguas residuales tratadas. El residuo granulado comprende los gránulos que tienen un núcleo de bacterias anammox y un borde externo de bacterias de oxidación de amoníaco, mientras que las bacterias de oxidación de nitrito y las bacterias de oxidación heterotróficas estarán presentes normalmente como residuo no granulado, es decir flucolante. El flujo gaseoso normalmente separa la fase líquida en el reactor, opcionalmente mediante un separador de gas/líquido incorporado en o justo debajo del reactor. El flujo gaseoso se retira del reactor.

10

15

20

25

30

[0014] En otra etapa (d), la dispersión de residuo granulado y residuo no granulado en aguas residuales tratadas obtenidos en la etapa (c) se separa de manera continua en un flujo que comprende residuo granulado y un flujo que comprende aguas residuales tratadas y residuos no granulados. El flujo que comprende los residuos granulados obtenidos de este modo comprende preferiblemente nada o solo una pequeña cantidad de residuos no granulados, más preferiblemente comprende como máximo 5 % de residuos no granulados basados en el peso total del residuo en ese flujo, aún más preferiblemente como máximo 1 % de residuos no granulados, todavía más preferiblemente como máximo 0,5 % del peso. El flujo que comprende residuos granulados se recicla en el reactor para mantener un tiempo de retención relativamente grande del residuo granulado. Preferiblemente, el flujo entero que comprende residuos granulados se recicla en el reactor.

35

[0015] El flujo que comprende las aguas residuales tratadas y los residuos no granulados comprende preferiblemente nada o únicamente pequeñas cantidades de residuos granulados. Más preferiblemente, este flujo comprende menos del 5% del volumen del residuo granulado basado en el volumen total del flujo, más preferiblemente menos del 1% del volumen, aún más preferiblemente menos del 0,5% del volumen.

40

[0016] El residuo no granulado se retira del proceso, opcionalmente después de haberse separado del flujo que comprende aguas residuales tratadas y residuos no granulados. En caso de tal separación, las aguas residuales tratadas que están esencialmente libres de residuos no granulados pueden reciclarse parcialmente a la etapa (c) o en una etapa de pretratamiento, por ejemplo una etapa de presedimentación, para el tratamiento previo de aguas residuales que se deben proporcionar en la etapa (a).

45

50

[0017] En el proceso según la invención, la separación y reciclaje en la etapa (d) se opera de manera que el residuo granulado tenga un tiempo de retención en el reactor de al menos diez veces el tiempo de retención hidráulica y el tiempo de retención de cualquier residuo no granulado en el reactor es igual o como máximo tres veces el tiempo de retención hidráulica. Preferiblemente, el tiempo de retención del residuo granulado es al menos 30 veces el tiempo de retención hidráulica, más preferiblemente al menos 50 veces, aún más preferiblemente al menos 100 veces. El tiempo de retención del residuo granulado puede ser tan elevado como 200 veces, o incluso 500 veces o más del tiempo de retención hidráulica. Preferiblemente, el tiempo de retención del residuo granulado está en el rango de 10 a 100 días, más preferiblemente de 20 a 80 días, aún más preferiblemente de 40 a 60 días.

55

[0018] El tiempo de retención de cualquier residuo no granulado en el reactor está preferiblemente en el rango de 1 a 2 veces el tiempo de retención hidráulica, más preferiblemente en el rango de 1,0 a 1,5 veces. De forma más preferible el tiempo de retención del residuo no granulado está próximo al tiempo de retención hidráulica como practicable.

60

[0019] Para evitar un crecimiento extenso de oxidación de nitrito y bacterias oxidantes heterotróficas en el reactor, el tiempo de retención hidráulica no es superior a 1,5 días, preferiblemente no es superior a 1 día, más preferiblemente no es superior a 12 horas. Para conseguir una eliminación de nitrógeno suficiente, el tiempo de retención hidráulica es de al menos 0,5 horas, preferiblemente al menos 1 hora, más preferiblemente al menos 2 horas. Preferiblemente, el tiempo de retención hidráulica está en el rango de 1 hora a 1 día, más preferiblemente de 2 horas a 12 horas.

65

[0020] El tiempo de retención hidráulica hace referencia al periodo de permanencia de las aguas residuales en el reactor.

70

[0021] Los tiempos de retención deseadados para residuos granulados y no granulados se consigue al efectuar una separación aguda entre residuos granulados y residuos no granulados en la etapa (d) de manera que la mayor parte del residuo granulado, preferiblemente al menos 90%, más preferiblemente al menos 95%, aún más

5 preferiblemente al menos 99% se puede reciclar en el reactor, mientras que la mayor parte del residuo no granulado, preferiblemente al menos 90%, más preferiblemente al menos 95%, aún más preferiblemente al menos 99 % en peso se retira del proceso.

10 [0022] Para efectuar tal separación aguda se puede utilizar cualquier separador de líquido/sólido adecuado. Preferiblemente, la separación en la etapa (d) se realiza utilizando un decantador de placas inclinadas. Un decantador de placas inclinadas comprende una multitud de placas inclinadas de manera paralela entre las que fluye un líquido hacia arriba. Los sólidos en el líquido se pueden instalar en las placas inclinadas paralelas y se deslizan en un recipiente, por ejemplo una tolva, colocado en el fondo del decantador. Se ha descubierto que si la etapa (d) se realiza en un decantador de placas inclinadas a un flujo relativamente elevado hacia arriba del líquido, se consigue una separación aguda entre residuos granulados y residuos no granulados. Preferiblemente, por lo tanto, la etapa (d) comprende la separación de la dispersión en un decantador de placas inclinadas que comprende una multitud de placas inclinadas paralelas, donde la dispersión es fluida entre las placas inclinadas a un rango de velocidad ascendente de 3 a 15 m/h, más preferiblemente de 4 a 12 m/h, aún más preferiblemente de 5 a 9 m/h.

20 [0023] Se ha descubierto que la separación entre residuos granulados y no granulados y con eso los tiempos de retención deseados para residuos granulados y no granulados también se pueden mejorar aplicando cizalladura a los gránulos de residuo. Tal cizalladura se puede aplicar en el reactor, es decir durante la etapa (c), durante la etapa de separación (d), o entre las etapas (c) y (d), es decir en el efluente líquido del reactor antes del paso de separación (d). Preferiblemente, se aplica la cizalladura a los gránulos de residuos en una tasa de cizalladura en el rango de 50 a 500 s⁻¹, más preferiblemente de 80 a 300 s⁻¹, aún más preferiblemente de 100 a 200 s⁻¹.

30 [0024] La cizalladura se puede aplicar a los gránulos en el reactor durante la etapa (c), por ejemplo mediante el fluido de gas a través de las aguas residuales en el reactor, preferiblemente en dirección ascendente. Preferiblemente, la cizalladura se aplica a los gránulos de residuo mediante el fluido de gas a través de las aguas residuales en el reactor en el rango de velocidad de gas superficial de 3 a 20 m/h, más preferiblemente de 5 a 15 m/h, aún más preferiblemente de 8 a 12 m/h. El gas que fluye a través de las aguas residuales puede ser cualquier flujo de gas adecuado tal como por ejemplo aire. Se apreciará que la cantidad de aire a suministrar al reactor se restringe por el requisito en la concentración de oxígeno disuelto. Para conseguir la cizalladura deseada por el gas que fluye a través de las aguas residuales en el reactor sin sobrepasar la concentración de oxígeno disuelto deseado, parte del flujo de gas obtenido en la etapa (c) se puede reciclar en el reactor para formar al menos parte del gas que fluye a través de las aguas residuales.

40 [0025] Alternativamente, la cizalladura se puede aplicar a los gránulos durante etapa de separación (d) o, más preferiblemente, entre las etapas (c) y (d). La cizalladura se puede aplicar por ejemplo entre las etapas (c) y (d) mediante el gas que fluye a través del efluente de reactor líquido, es decir la dispersión del residuo granulado y del residuo no granulado en aguas residuales tratadas, antes de suministrar la dispersión a un separador en la etapa (d).

45 Si la cizalladura se aplica después de la etapa (c), esto puede hacerse adecuadamente por el aire que fluye a través de la dispersión, ya que la cantidad de oxígeno disuelto no es crítica en esta fase del proceso.

[0026] Una ventaja del proceso según la invención es que la concentración de nitrito oxidante y bacterias oxidantes heterotróficas en el reactor se mantiene baja. Por lo tanto, la concentración de oxígeno disuelto en las aguas residuales en la etapa (c) puede ser más elevada que en un proceso con una concentración más alta de nitrito y bacterias de oxidación heterotrófica, tal como por ejemplo WO2011/110905. La concentración de oxígeno disuelto en la etapa (c) está en el rango de 0,4 a 4,0 mg/L, preferiblemente de 0,5 a 3,5 mg/L, más preferiblemente de 1,0 a 3,0, aún más preferiblemente de 1,2 a 2,5 mg/L.

55 [0027] El reactor puede tener cualquier dimensión adecuada, preferiblemente el reactor tiene una altura para una proporción de diámetro por debajo de 5, más preferiblemente por debajo de 3, aún más preferiblemente por debajo de 1. Una altura relativamente baja para la proporción de diámetro ahorra en costes de construcción para el reactor y se necesita menos presión para cualquier aire suministrado en el reactor.

60 [0028] El flujo de aguas residuales que comprende amonio puede ser cualquier flujo de aguas residuales donde el amonio se debe quitar, por ejemplo aguas residuales domésticas o industriales. En el caso en el que haya que quitar el nitrógeno del flujo de las aguas residuales con un BOD/N relativamente alto, por ejemplo por encima de 2,0 o por encima de 1,0, preferiblemente el proceso comprende además una etapa de pretratamiento para eliminar el BOD de tal flujo, por ejemplo mediante una etapa de presedimentación, para proporcionar las aguas residuales que comprenden amonio y que tienen un BOD/N inferior.

65 [0029] La presedimentación para la eliminación de BOD se conoce bien en la técnica y comprende normalmente el paso de las aguas residuales a través de una o más cubetas o decantadores donde las partículas sólidas se instalan en el fondo de la cubeta. Se puede utilizar cualquier proceso de presedimentación adecuado conocido en la técnica. El precipitado sólido comprende una parte grande relativa del BOD de las aguas residuales que se sometieron a presedimentación. En el proceso según la invención, el precipitado sólido, al que normalmente se

- 5 refiere como residuo primario, se somete preferiblemente a digestión anaeróbica para obtener biogás. Otra ventaja de tener una etapa de eliminación de BOD como pretratamiento, es que los compuestos sólidos en el flujo de las aguas residuales que tienen una densidad que es superior o comparable a la densidad del residuo granulado también se eliminan antes de suministrar el flujo de aguas residuales al reactor de oxidación de amonio.

10

5

REIVINDICACIONES

1. Proceso para la eliminación biológica de nitrógeno de aguas residuales que comprende:

- 10 (a) proporción de un flujo de aguas residuales que comprende amonio;
 (b) suministro continuo del flujo de aguas residuales a un reactor que contiene residuos granulados que comprende gránulos con un núcleo de bacterias anammox y un borde externo de bacterias de oxidación de amonio;
 15 (c) sometimiento de las aguas residuales en el reactor a la oxidación de amonio bajo condiciones de oxidación de amonio que comprenden una temperatura en el rango de 5 a 25 °C, una concentración de oxígeno disuelto en aguas residuales en el rango de 0,4 mg/L a 4,0 mg/L, y un tiempo de retención hidráulica de las aguas residuales en el reactor de 0,5 horas a 1,5 días, para obtener un flujo gaseoso que comprende nitrógeno y una dispersión de residuo granulado y residuo no granulado en aguas residuales tratadas; y
 20 (d) separación de manera continua de la dispersión obtenida en un flujo que comprende residuos granulados y un flujo que comprende aguas residuales tratadas y residuos no granulados y que recicla el flujo que comprende residuos granulados en el reactor y que descarga el residuo no granulado desde el proceso, donde el residuo granulado tiene un tiempo de retención en el reactor de al menos diez veces el tiempo de retención hidráulica, y donde el tiempo de retención de cualquier residuo no granulado en el reactor es igual o como máximo tres veces el tiempo de retención hidráulica.

25 2. Proceso según la reivindicación 1, donde el flujo de aguas residuales proporcionado en la etapa (a) tiene una demanda biológica de oxígeno (BOD) y un contenido de nitrógeno, donde el cociente de BOD y el contenido de nitrógeno está por debajo de 2,0.

30 3. Proceso según la reivindicación 1 o 2, donde el tiempo de retención de cualquier residuo no granulado está en el rango de 1 a 2 veces el tiempo de retención hidráulica.

35 4. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde la etapa (d) comprende la separación de la dispersión en un decantador de placas inclinadas que comprende una multitud de placas inclinadas paralelas, donde la dispersión es fluida entre las placas inclinadas en un rango de velocidad ascendente de 3 a 15 m/h.

5. Proceso según la reivindicación 4, donde la dispersión es fluida entre las placas inclinadas a una velocidad ascendente en el rango de 4 a 12 m/h.

40 6. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde durante la etapa (c) o entre las etapas c) y (d) o durante la etapa (d), se aplica la cizalladura en los gránulos de residuos.

45 7. Proceso según la reivindicación 6, donde se aplica la cizalladura a un rango de velocidad de cizalladura de 50 a 500 s⁻¹.

8. Proceso según la reivindicación 6 o 7, donde la cizalladura se aplica para los gránulos de residuo mediante el gas que fluye a través de las aguas residuales en el reactor a una velocidad de gas superficial en el rango de 3 a 20 m/h.

50 9. Proceso según la reivindicación 8, donde el gas se hace fluir a través de las aguas residuales en el reactor a una velocidad de gas superficial en el rango de 5 a 15 m/h.

10. Proceso según la reivindicación 8 o 9, donde el flujo de gas obtenido en la etapa (c) se recicla en el reactor para formar al menos una parte del gas fluido a través de las aguas residuales.

55 11. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el tiempo de retención hidráulica está en el rango de 1 hora a 1 día.

60 12. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde la concentración de oxígeno disuelto en la etapa (c) está en el rango de 1,0 a 3,0 mg/L.

13. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el reactor tiene una altura para una proporción de diámetro por debajo de 5.

65 14. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el flujo de aguas residuales que comprende amonio se proporciona mediante la eliminación de BOD a partir de un flujo de aguas residuales industriales o domésticas.

70 15. Proceso según la reivindicación 14, donde el BOD eliminado de las aguas residuales industriales o domésticas está sujeto a digestión anaeróbica para obtener biogás.