(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 905 129**

(51) Int. CI.:

C02F 3/12 (2006.01)
C02F 3/32 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.10.2013 E 13190139 (9)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.11.2021 EP 2724988**

(54) Título: **Tratamiento de las aguas residuales energéticamente eficiente con la ayuda de microalgas**

(30) Prioridad:

24.10.2012 FR 1260123

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.04.2022

(73) Titular/es:

SAUR (100.0%)
11 Chemin de Bretagne
92130 Issy-les-Moulineaux, FR

(72) Inventor/es:

REVEAU, GUILLAUME

(74) Agente/Representante:

CURELL SUÑOL, S.L.P.

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

Tratamiento de las aguas residuales energéticamente eficiente con la ayuda de microalgas

Campo de la invención

La presente invención se refiere al campo de los procedimientos e instalaciones de tratamiento de las aguas residuales y más particularmente tiene por objetivo reducir el consumo energético de dichos procedimientos.

Estado de la técnica

El tratamiento de las aguas residuales es una condición esencial para la preservación de la calidad de nuestros recursos naturales. Realizado normalmente en unas plantas de depuración, el tratamiento de las aguas residuales tiene por objetivo eliminar las materias orgánicas contaminantes de las aguas residuales urbanas e industriales. Después del tratamiento, las aguas deben satisfacer unas normas químicas y sanitarias, en particular con respecto a la demanda química de oxígeno. Además, en las regiones particularmente sensibles a la eutrofización, las tasas de nitrógeno y de fósforo están estrictamente controladas.

El tratamiento de las aguas residuales en una planta de depuración consiste generalmente en una sucesión de etapas de tratamientos, conocidos con el nombre de tratamientos primarios, secundarios y terciarios. Antes del tratamiento, las aguas residuales se pueden pretratar mediante cribado, desarenado y/o desengrasado. Estos pretratamientos permiten retirar de las aguas residuales los desechos insolubles, arenas y grasas.

El tratamiento primario consiste en una decantación que permite suprimir la mayoría de las materias en suspensión.

El tratamiento secundario permite la eliminación de las materias orgánicas contaminantes, así como la eliminación del nitrógeno y del fósforo. Se puede realizar así por vía biológica o por vía fisicoquímica, siendo la primera vía la más extendida.

El tratamiento terciario permite afinar el tratamiento de las aguas residuales y en particular, eliminar determinados elementos patógenos. Se puede realizar por coagulación-floculación o desinfección con cloro o con ozono.

El tratamiento secundario por vía biológica de las aguas residuales se realiza principalmente por medio de microorganismos. Estos microorganismos utilizan las materias orgánicas como fuente de carbono y de energía. Este tratamiento se puede realizar mediante un procedimiento denominado de "lodos activados". La eliminación de las materias orgánicas contaminantes está asegurada por la puesta en contacto de las aguas residuales con una mezcla rica en bacterias que degradan las materias orgánicas en suspensión o disueltas. La degradación de estas materias orgánicas provocará un desarrollo de los microorganismos aerobios y una liberación de dióxido de carbono y de agua. El tratamiento mediante "lodos activados" permite asimismo el tratamiento del nitrógeno por nitrificación-desnitrificación. En presencia de oxígeno, unas bacterias autótrofas nitrificantes transforman iones de amonio en nitratos. Estos nitratos pueden ser convertidos a continuación en nitrógeno gaseoso por unas bacterias heterótrofas desnitrificantes en medio de anoxia.

El tratamiento de las aguas residuales mediante lodos activados se realiza en unos tanques de aireación. Con el fin de mantener la actividad de las bacterias y así la degradación de las materias orgánicas y el tratamiento del nitrógeno, es necesaria una aireación significativa del sistema. Esta aireación puede estar asegurada en superficie por unas turbinas, o en el fondo por unas rampas de distribución de burbujas de aire alimentadas por unos sobrealimentadores o compresores de aire.

La patente US 3,586,625 divulga un procedimiento de tratamiento de las aguas residuales mediante lodos activados. Se utilizan unas algas en un separador API aceite/agua que sirve para el pretratamiento de las aguas residuales.

El tratamiento de las aguas residuales representa aproximadamente el 34% del coste global del agua, es decir una parte no despreciable de su coste. La alimentación eléctrica de los dispositivos necesarios para la aireación de los tanques de tratamiento representa lo esencial de la parte energética del tratamiento de las aguas residuales para las pequeñas plantas de depuración de tamaños inferiores a 2000 equivalentes habitantes, que significa el 80% de los costes del tratamiento de las aguas residuales.

Existen unos procedimientos de tratamiento de agua que demandan menos energía. Los lagunajes, por ejemplo, se basan en unos fenómenos de autodepuración natural. Una mezcla de bacterias y de algas asegura el tratamiento de las aguas residuales. Las bacterias aerobias degradan la materia orgánica y producen gas carbónico, unos metabolitos sencillos y sales minerales que se añaden a las ya presentes en las aguas residuales. Las algas presentes en el agua utilizarán la luz solar y se multiplicarán asimilando el gas carbónico, el nitrógeno y el fósforo liberados por las bacterias. Este ciclo se autosostiene mientras el sistema reciba energía solar y materia orgánica. Generalmente, se necesitan varios tanques que funcionan en serie para asegurar el tratamiento de las

aguas residuales. Un primer tanque sirve esencialmente para destruir la carga orgánica, un segundo tanque permite la eliminación del nitrógeno y del fósforo mientras que un tercer tanque afina el tratamiento. Ventajosamente, el lagunaje permite la producción de algas que, tras la recogida, se podrán aprovechar en otras industrias. Sin embargo, incluso si el lagunaje presenta la ventaja de ser sencillo y asegurar buenas prestaciones de depuración, la gran huella en el suelo de los tanques, la necesidad de un largo tiempo de estancia de las aguas residuales y la sensibilidad del procedimiento a las condiciones climáticas frenan la generalización del lagunaje al tratamiento de las aguas residuales. Resulta asimismo que las recogidas de algas no son suficientemente masivas para ser de una buena rentabilidad económica.

Los procedimientos de tratamiento de las aguas residuales por lagunaje de alto rendimiento algal permiten paliar los inconvenientes descritos anteriormente. Estos sistemas, desarrollados en la década de los años 1990, permiten al mismo tiempo reducir la superficie ocupada en el suelo e incrementar la producción de biomasa.

Unos procedimientos habituales de lagunaje de alto rendimiento algal se describen por ejemplo en la patente US 3,954,615 o en la solicitud de patente EP 0 687 653 A1.

Al igual que el lagunaje descrito anteriormente, el lagunaje de alto rendimiento algal se basa en un tratamiento de las aguas residuales por una mezcla de bacterias y de algas que funcionan en simbiosis. Se trata de un sistema artificial en medio abierto, construido generalmente en forma de serpentín con varios canales, por el que circula agua a poca profundidad. Esta agua es puesta en circulación generalmente por medio de una rueda de álabes. El agua circula lentamente de manera que asegure la puesta en suspensión de las algas y favorezca los intercambios gaseosos. La descontaminación de las aguas residuales se realiza mediante unos mecanismos similares a los mecanismos utilizados en los tanques de lagunaje habituales. Sin embargo, los lagunajes de alto rendimiento algal no permiten alcanzar completamente los objetivos reglamentarios de las aguas residuales. En efecto, el lagunaje de alto rendimiento, aunque trata una parte del nitrógeno, no permite alcanzar, por ejemplo, las normas reglamentarias de emisiones para el nitrógeno.

Existe por lo tanto la necesidad para desarrollar un procedimiento de tratamiento de las aguas residuales que requiera menos energía y permita al mismo tiempo obtener una calidad y una cantidad de efluentes estables en el tiempo.

Los inventores han desarrollado así un procedimiento de tratamiento de las aguas residuales que permite reducir entre el 20 y el 80% los costes energéticos del tratamiento de las aguas residuales, en particular reducir entre el 20 y el 80% los costes energéticos relacionados con la aireación de los tanques de aireación en los procedimientos que implican un tratamiento mediante lodos activados. El procedimiento según la presente invención utiliza la sinergia desarrollada entre las algas en cultivo y las bacterias para obtener una ganancia energética y por lo tanto una ganancia en el coste global del tratamiento de las aguas residuales. Ventajosamente, el procedimiento según la invención permite una recogida masiva de algas que se podrán aprovechar en numerosas industrias.

Resumen de la invención

La invención se refiere a un procedimiento de tratamiento de las aguas residuales que comprende secuencialmente:

a. un pretratamiento que comprende por lo menos una etapa de cribado;

b. un tratamiento de las aguas pretratadas en un tanque abierto de lagunaje de alto rendimiento algal por el que circulan las aguas pretratadas en circuito cerrado y en el que está presente una mezcla de bacterias y de algas cultivadas, comprendiendo el tanque una altura de agua que varía entre 10 y 70 cm;

c. un tratamiento en un tanque de aireación mediante unos lodos activados; y

d. una separación de los lodos y de las aguas tratadas, preferentemente por clarificación.

Además, la invención se refiere a una instalación de tratamiento de las aguas residuales que comprende, desde aguas arriba hacia aguas abajo:

a. una unidad de pretratamiento de las aguas residuales que comprende por lo menos un medio de cribado;

a'. opcionalmente un tanque primario de decantación;

b. un tanque abierto de lagunaje de alto rendimiento algal por el que circulan las aguas pretratadas en circuito cerrado y en el que está presente una mezcla de bacterias y de algas en cultivo, comprendiendo el tanque una altura de agua que varía entre 10 y 70 cm;

b'. opcionalmente, una unidad de separación de las algas y de las aguas tratadas por lagunaje;

c. un tanque de aireación con lodos activados;

d. un dispositivo de separación de las aguas tratadas y de los lodos, preferentemente un clarificador.

Descripción de las figuras

La figura 1 representa de manera esquemática un tanque de lagunaje de alto rendimiento algal.

La figura 2 representa de manera esquemática un modo de realización del procedimiento según la presente invención. Las etapas enmarcadas en líneas de puntos son opcionales.

La figura 3 representa de manera esquemática un modo de realización del procedimiento según la presente invención. Las etapas enmarcadas en líneas de puntos son opcionales.

Descripción detallada de la invención

El procedimiento de tratamiento de las aguas residuales según la presente invención comprende un pretratamiento de las aguas residuales seguido por un tratamiento secundario de las aguas residuales pretratadas. El tratamiento secundario de las aguas residuales pretratadas comprende un tratamiento en un tanque de lagunaje de alto rendimiento algal, tal como el ilustrado por ejemplo en la figura 1, seguido por un tratamiento de los efluentes en un tanque de aireación mediante lodos activados y por último, una separación de los lodos y de las aguas tratadas, tal como una clarificación. Las figuras 2 y 3 representan esquemáticamente unos procedimientos de tratamiento de las aguas residuales según la presente invención.

Pretratamiento (etapa a) y tratamiento primario (etapa a')

El pretratamiento de las aguas residuales comprende una etapa de cribado y eventualmente las etapas de desarenado y/o desengrasado de las aguas residuales. Las aguas residuales pretratadas así obtenidas pueden ser dirigidas directamente hacia el tanque de lagunaje de alto rendimiento algal o pueden ser decantadas previamente. El tratamiento primario de las aguas residuales pretratadas por decantación permite eliminar el 80% de las materias en suspensión y reducir la carga orgánica. El tratamiento primario por decantación permite así mejorar entre el 10 y el 30% las prestaciones del lagunaje de alto rendimiento algal sobre la eliminación del nitrógeno y la demanda química de oxígeno. Se obtiene así una transmitancia del agua suficiente para el buen funcionamiento del lagunaje de alto rendimiento algal. Los lodos primarios obtenidos después de la decantación pueden ser dirigidos hacia unos procedimientos habituales de tratamiento de los lodos, tales como los procedimientos que integran un encalado (figura 2) o una digestión anaerobia (figura 3) o un procedimiento de secado de lodos tal como el lecho de secado optimizado por ejemplo.

Tratamiento secundario (etapas b, c y d)

Las aguas pretratadas, y opcionalmente decantadas, son dirigidas a continuación a un tanque de lagunaje de alto rendimiento algal (etapa b). Los tanques de lagunaje de alto rendimiento algal son muy conocidos por el experto en la materia. Normalmente, los tanques de lagunaje de alto rendimiento algal son unos tanques por los que circulan las aguas en circuito cerrado. Los tanques según la presente invención son abiertos (en la superficie del tanque, las aguas están en contacto con el aire y se distinguen así de los recintos cerrados, tales como los biorreactores). Las dimensiones del tanque se eligen en función del volumen de aguas residuales a tratar. La profundidad del tanque es tal que la altura del agua pueda variar entre 10 y 70 cm. La altura de agua se elige de manera que la difusión de los rayos siga siendo óptima. La relación longitud/anchura del tanque varía generalmente entre 6 y 10 pero puede alcanzar hasta 20. La superficie en el suelo ocupada por el tanque varía generalmente entre el 0.5 y el 8 m^2 por equivalente habitante.

En el tanque, está presente una mezcla de bacterias y de algas para asegurar la descontaminación de las aguas residuales. Las especies de algas en cultivo se eligen normalmente por su productividad elevada a partir de una fuerte carga de materias orgánicas, nitrógeno amoniacal y de fosfato, su buena tolerancia a las variaciones diarias y estacionales, su capacidad para autoagregarse para facilitar su cosecha posterior y sus combinaciones. Las algas cultivadas incluyen preferentemente las algas que pertenecen a las clases de las clorofíceas, euglenofíceas, diatomeas, cianofíceas, y muy particularmente las algas del género chlorella, coelestrum y scenedesmus. Se prefieren las especies de algas clorofillianas, ya que son muy activas en los procedimientos de descontaminación.

En el tanque, las aguas a tratar están generalmente agitadas. Normalmente, la potencia de agitación varía entre 2 y 10 W/m^3. La agitación de las aguas se puede realizar por medio de una rueda de álabes o de una bomba o de un aerogenerador acoplado a un sistema de agitación de agua. Se preferirá este último sistema en algunos casos por motivos de ahorro de energía.

Las velocidades de flujo y de agitación en el tanque se eligen normalmente de manera que se evite la

sedimentación de la materia orgánica y que se mantenga una agitación de las algas para que el conjunto de la masa algal tenga acceso a la superficie del tanque y por lo tanto a la luz.

Como las algas pueden soportar más gas carbónico que la pequeña parte contenida en la atmósfera (0.036%), es posible así aportar gas carbónico al tanque de lagunaje con el fin de aumentar el crecimiento algal. En la práctica, la inyección de CO_2 gaseoso en el sistema provoca una acidificación del medio. En estos casos, no será preciso que el pH del medio descienda por debajo de 7.

Un ejemplo de tanque de lagunaje de alto rendimiento algal está ilustrado en la figura 1. El tanque 1 presenta una llegada 2 de las aguas residuales y una salida 3 de las aguas residuales tratadas parcialmente en mezcla con las algas. Las aguas se agitan por medio de una rueda de álabes. 4. Se aporta al tanque gas carbónico 5.

Uno o varios dispositivos de control se pueden colocar en el tanque con el fin de ajustar, incluso aumentar, las prestaciones del lagunaje de alto rendimiento algal. El dispositivo, o los dispositivos de control pueden permitir ajustar la altura de agua y/o el tiempo de estancia hidráulica en el sistema y/o controlar y regular la concentración en ciertos micro o macroelementos esenciales para el crecimiento de las algas o para la eliminación de los contaminantes en el tanque de lagunaje de alto rendimiento algal.

La altura de agua en el tanque de lagunaje de alto rendimiento algal se puede adaptar en particular en función de las condiciones climáticas, y muy particularmente en función de la intensidad luminosa. El control de la altura de agua en el tanque permite controlar la actividad fotosintética. Por ejemplo, la altura de agua en el tanque se puede aumentar con el fin de evitar alcanzar el punto de saturación de la actividad fotosintética más allá del cual aparece una fotoinhibición que provoca una degradación de las actividades bioquímicas y un descenso de la productividad. La altura de agua en el tanque varía entre 10 cm y 70 cm. Como media, es de 30 cm.

Las concentraciones en macro y microelementos en el tanque se pueden medir y ajustar de manera que satisfagan las necesidades del sistema. Muy particularmente, las concentraciones en bicarbonatos, magnesio, potasio y eventualmente calcio se pueden controlar y regular en el tanque. Así, cuando las concentraciones en bicarbonatos, magnesio, potasio y eventualmente calcio descienden por debajo de los valores umbral preestablecidos, estos elementos se podrán añadir al tanque con el fin de responder a las necesidades del sistema.

Los bicarbonatos son necesarios para la actividad fotosintética de las algas. Así, asegurándose de que la concentración en bicarbonatos es siempre superior a una concentración umbral de 150 mg/l, se mantiene la actividad fotosintética de las algas y aumentan los rendimientos de eliminación del nitrógeno. Preferentemente, la concentración en bicarbonatos es superior a 150 mg/l, es decir 12,3ºf en Título Alcalimétrico Completo (TAC). Varía normalmente entre 150 mg/l y 300 mg/l.

El magnesio es necesario para el desarrollo de las algas ya que se trata de un elemento constitutivo de las clorofilas a, b y d. La clorofila a es un pigmento principal que sirve para la fotosíntesis. Así, asegurándose de que la concentración en magnesio es siempre superior a una concentración umbral de 10 mg/l, se mantiene la actividad fotosintética de las algas y aumentan los rendimientos de eliminación del nitrógeno. Preferentemente, la concentración en magnesio varía entre 10 y 80 mg/l.

La concentración en calcio en el sistema se puede asimismo controlar y ajustar. El calcio interviene en la vía de eliminación del fósforo. Contrariamente al nitrógeno, el fósforo no puede ser eliminado por vía gaseosa y las algas tienen baja demanda de fósforo en comparación con las cantidades presentes en las aguas residuales. La vía de eliminación del fósforo en el sistema es normalmente por precipitación con calcio cuando el pH del medio es superior a 8, lo cual se produce en el sistema todos los días del año gracias a la actividad fotosintética de las algas. Así, asegurándose de que la cantidad de calcio biodisponible está siempre muy en exceso con respecto a las cantidades de fosfatos, el rendimiento de eliminación del fósforo se puede estabilizar incluso aumentar. Preferentemente, la concentración en calcio es superior a 50 mg/l. Normalmente varía entre 50 y 300 mg/l.

En ausencia de grandes concentraciones en CO_2 disuelto en el agua del tanque de lagunaje, el potasio interviene a nivel de las membranas plasmáticas de las microalgas clorofílicas y en particular a nivel del funcionamiento de algunos transportadores de aniones tales como los bicarbonatos por ejemplo. El funcionamiento de estos transportadores necesita al mismo tiempo una energía bioquímica (la ATP: adenosina trifosfato) y potasio para poder transferir estos bicarbonatos al interior de la célula algal. Una vez introducidos en la célula, los bicarbonatos se utilizarán a continuación para la fotosíntesis en el cloroplasto. Se observa así un consumo de potasio por las microalgas en el tanque de lagunaje con alto rendimiento algal. Así, la concentración en potasio en el sistema se puede asimismo controlar y ajustar con el fin de asegurarse de que la concentración en iones potasio no sea un factor limitativo para el crecimiento de las algas. Idealmente, la concentración en iones potasio es superior a 50 mg/l. Normalmente, varía entre 50 y 200 mg/l.

Otros macro y micronutrientes esenciales para el crecimiento de las algas como el zinc, el azufre, el hierro, el manganeso, el silicio, el boro, el molibdeno, el cobre o el cobalto se podrán añadir en el medio en función de las necesidades. Sus concentraciones respectivas se podrán así controlar y regular en el tanque.

Los controles de las concentraciones en micro o macroelementos se pueden realizar de manera puntual, por ejemplo una vez por semana.

El tiempo de estancia hidráulica en el tanque de lagunaje de alto rendimiento algal varía normalmente entre 1 y 12 días, tal como entre 2 y 10 días, entre 3 y 9 días. El tiempo de estancia en el tanque se puede adaptar en función de las condiciones climáticas. Generalmente, el tiempo de estancia será más largo en invierno que en verano ya que las temperaturas influyen en las prestaciones del sistema. El tiempo de estancia será así normalmente de 8 días en invierno y de 4 días en verano. Sin embargo, para librarse al máximo de las variaciones de temperatura del agua y aumentar así la inercia térmica del agua, el tanque de lagunaje está enterrado normalmente.

El tiempo de estancia hidráulica así como la potencia de agitación se pueden reducir sustancialmente eliminando las materias en suspensión en el efluente a tratar. Antes de ser dirigidas al tanque de lagunaje de alto rendimiento algal, las aguas residuales pretratadas se decantan así preferentemente en un decantador primario. Esta decantación permite eliminar el 80% de las materias en suspensión y reducir la carga orgánica. La eliminación de las materias en suspensión permite ventajosamente favorecer la penetración de la luz en el tanque de lagunaje de alto rendimiento algal y aumentar así la actividad del sistema.

El tiempo de estancia hidráulica se puede reducir asimismo cuando se regulan las concentraciones en micro y macroelementos en el tanque de lagunaje.

El lagunaje de alto rendimiento algal permite eliminar entre el 30 y el 40% del nitrógeno que entra en el sistema y entre el 30 y el 40% de la demanda química de oxígeno entrante en el sistema. Además, el lagunaje de alto rendimiento algal permite transformar entre el 30 y el 40% de nitrógeno suplementario oxidando las formas reducidas del nitrógeno (iones amonio en particular), lo cual permitirá un ahorro de energía sustancial en la continuación del tratamiento.

El seguimiento de las concentraciones en micro y/o macroelementos en el tanque de lagunaje de alto rendimiento algal tal como se ha descrito anteriormente, permite generalmente optimizar las prestaciones de tratamiento de las aguas residuales en dicho tanque. Un procedimiento de optimización de las prestaciones de tratamiento de un tanque de lagunaje de alto rendimiento algal comprende así las etapas siguientes:

- medir la concentración en un micro o macroelemento en dicho tanque;
- comparar la concentración medida a una concentración umbral predeterminada para dicho micro o macroelemento;
- añadir el micro o macroelemento con el fin de que la concentración en micro o macroelemento en dicho tanque sea superior a la concentración umbral predeterminada si la concentración medida es inferior a la concentración umbral predeterminada.

El o los micro o macroelementos se seleccionan preferentemente de entre el bicarbonato, el magnesio, el calcio, el potasio, el zinc, el azufre, el hierro, el manganeso, el silicio, el boro, el molibdeno, el cobre y el cobalto. Las concentraciones umbral predeterminadas para el o los macro o microelementos pueden ser tales como las descritas anteriormente. Así, la concentración umbral en bicarbonatos puede ser de 150 mg/l, la concentración umbral en magnesio puede ser de 10 mg/l, la concentración umbral en calcio puede ser de 50 mg/l, o la concentración umbral en potasio puede ser de 50 mg/l. Las concentraciones típicas o preferidas para el o los macro o microelementos pueden ser tales como las descritas anteriormente. La medición de la concentración del micro o macroelemento se puede realizar de manera puntual, tal como una vez por semana.

Este procedimiento de optimización de las prestaciones de tratamiento de un tanque de lagunaje de alto rendimiento algal se puede realizar en cualquier procedimiento de tratamiento de las aguas residuales que comprenda un lagunaje de alto rendimiento algal. Las características del tanque de lagunaje pueden ser tales como las descritas anteriormente. Es particularmente ventajoso en un procedimiento de tratamiento de las aguas residuales según la presente invención, es decir un procedimiento que comprende un pretratamiento que comprende por lo menos una etapa de cribado, un tratamiento en un tanque de lagunaje de alto rendimiento algal, un tratamiento en un tanque mediante lodos activados y una separación de los lodos y de las aguas tratadas.

Después del tratamiento por lagunaje de alto rendimiento algal, los efluentes son dirigidos hacia un tanque de aireación en el que son tratados por unos lodos activados (etapa c). Los tanques y los procedimientos de tratamiento de las aguas residuales mediante lodos activados son muy conocidos por el experto en la materia.

Normalmente, los lodos activados contienen una variedad de microorganismos. Las principales especies microscópicas presentes en los lodos son los protozoarios, distribuidos en tres clases: los flagelados, los sarcodinos y los ciliados (incluidos los vorticella); los metazoarios como los rotíferos o los nematodos y las bacterias en el sentido amplio, que pueden ser aerobias o anaerobias estrictas o no. Se observará asimismo la presencia de

bacterias nitrificantes tales como nitrobacter o nitrosomonas, y de bacterias desnitrificantes.

Los efluentes tratados mediante los lodos activados pueden comprender unas algas en suspensión en las aguas residuales parcialmente tratadas o únicamente unas aguas residuales parcialmente tratadas. En efecto, antes de ser dirigidas hacia los tanques de aireación, las aguas residuales parcialmente tratadas y las algas se pueden separar. La separación se puede realizar por medio de un procedimiento de coagulación-floculación-decantación o un procedimiento de coagulación-floculación-flotación. La coagulación-floculación-decantación se puede realizar con cloruro férrico que permite atrapar ventajosamente los fosfatos y completar así el tratamiento del fósforo en las aguas residuales. Las algas recogidas en la separación pueden ser dirigidas hacia una red de tratamiento de algas, estabilizadas y aprovechadas a continuación. Las algas recogidas después de la separación pueden ser dirigidas asimismo hacia una unidad de digestión anaerobia en la que la digestión de estas algas producirá metano.

El tiempo de estancia en el tanque de aireación es normalmente de un día.

En el procedimiento según la invención, el tratamiento mediante lodos activados permite tratar principalmente la demanda química de oxígeno, ya que los efluentes ya han sido liberados de la mayor parte del nitrógeno por el sistema de lagunaje de alto rendimiento algal. El hecho de que el nitrógeno sea eliminado en su mayor parte por el sistema de lagunaje de alto rendimiento algal, y a menor coste, permite inyectar menos aire en el procedimiento de tratamiento mediante lodos activados y realizar así unos ahorros sustanciales. Así, el procedimiento según la presente invención permite reducir entre el 20 y el 80% los costes energéticos relacionados con la aireación de los tanques de aireación. Ventajosamente, el procedimiento según la presente invención permite reducir en por lo menos el 45% el aporte de oxígeno con respecto a un sistema habitual de depuración mediante lodos activados.

En una última etapa, tras el tratamiento mediante lodos activados, las aguas tratadas se separan de los lodos (etapa d). La separación de las aguas tratadas y de los lodos se puede realizar por clarificación (separación por gravedad) o por membranas. Preferentemente, la separación se realiza por clarificación.

El tiempo de estancia en el clarificador es normalmente inferior a un día.

Las aguas tratadas obtenidas después de la separación (por ejemplo después de la clarificación o uso de membranas) satisfacen las normas de emisiones con DBO_5 < 25 mg/l (demanda biológica de oxígeno medida a 5 días), DCO < 125 mg/l (demanda química de oxígeno), MES < 35 mg/l (materias en suspensión), NGL < 10 mg/l (nitrógeno global), Pt < 1 mg/l (fósforo total), y unos rendimientos de destrucción de la contaminación respectivamente del 80% para la DBO_5, del 75% para la DCO, del 90% en MES, del 70% para el nitrógeno total y del 80% para el fósforo total, es decir, los valores del decreto del 22 de junio de 2007 más restrictivos, decreto que fija los valores de umbral a alcanzar a la salida de la planta de depuración. Podrán ser emitidas directamente al medio natural o sufrir unos tratamientos terciarios complementarios.

Los lodos obtenidos tras la separación pueden ser dirigidos hacia unos procedimientos habituales de tratamiento de los lodos, tales como los procedimientos que integran un encalado (figura 2) o una digestión anaerobia (figura 3). Los lodos pueden estar deshidratados, por ejemplo por centrifugación, filtro prensa, filtro de bandas prensadoras y ser aprovechados después en la agricultura por esparcido o compostaje.

Las algas obtenidas tras la separación pueden ser tratadas asimismo por encalado (figura 2) o sufrir una digestión anaerobia (figura 3).

Las figuras 2 y 3 representan unos procedimientos de tratamiento de las aguas residuales según la presente invención. En una primera etapa, las aguas residuales son pretratadas y dirigidas a continuación hacia el tanque de lagunaje de alto rendimiento algal. Antes de ser dirigidas hacia el tanque de lagunaje de alto rendimiento algal, las aguas pretratadas pueden sufrir eventualmente un tratamiento primario. Los lodos recogidos en este tratamiento primario pueden ser dirigidos hacia el tanque de aireación mediante lodos activados. Después del tratamiento por lagunaje de alto rendimiento algal, la mezcla de las aguas parcialmente tratadas y de las algas puede ser dirigida hacia el tanque de aireación mediante lodos activados. Previamente, las aguas y las algas se pueden separar. Las algas recogidas pueden ser tratadas entonces por encalado (figura 2) o sufrir una digestión anaerobia (figura 3) y producir así metano. Después del tratamiento mediante los lodos activados, las aguas y los lodos se separan permitiendo la obtención de las aguas tratadas. Los lodos recogidos pueden ser tratados entonces por encalado (figura 2) o sufrir una digestión anaerobia (figura 3), seguida por ejemplo por una deshidratación y por un secado. Las aguas obtenidas tras la etapa de deshidratación pueden ser redirigidas a la red de tratamiento de las aguas residuales, y sufrir por ejemplo un tratamiento primario.

El procedimiento según la presente invención se puede realizar en una instalación de tratamiento de las aguas residuales que comprende una unidad de pretratamiento de las aguas residuales, opcionalmente un tanque primario de decantación, un tanque de lagunaje de alto rendimiento algal, un tanque de aireación con lodos activados y un dispositivo de separación de las aguas tratadas y de los lodos, preferentemente un clarificador. La instalación de tratamiento de las aguas residuales podrá comprender asimismo una unidad de separación de las aguas tratadas y de las algas a la salida del tanque de lagunaje de alto rendimiento algal. Las algas recogidas

después de la separación podrán ser dirigidas hacia una unidad de digestión anaerobia, que puede formar parte de esta instalación de tratamiento de las aguas residuales, en la que su digestión servirá para la producción de metano.

Ejemplo

Se tratan unas aguas residuales brutas según el procedimiento de la presente invención. En una primera etapa, las aguas residuales brutas son pretratadas por cribado. Después se decantan. Las aguas residuales pretratadas y decantadas son dirigidas a continuación hacia un tanque de lagunaje de alto rendimiento algal. Las configuraciones del lagunaje de alto rendimiento son las siguientes en función de la estación:

	Invierno (diciembre-febrero)	Entretiempo (marzo-mayo y septiembre-noviembre)	Verano
Tiempo de estancia hidráulica (en días)	8	6	4
Altura de agua (cm)	30		
Potencia de agitación (W/m3)	5		

Después de un tiempo de estancia variable según las estaciones en el tanque de lagunaje de alto rendimiento algal, las aguas residuales son tratadas mediante lodos activados y por último las aguas tratadas se separan de los lodos.

Las propiedades de las aguas antes, después del tratamiento por lagunaje de alto rendimiento algal y después del tratamiento mediante lodos activados son tales como las resumidas en la tabla siguiente:

	Aguas residuales brutas	Aguas residuales pretratadas por un cribado y una decantación primaria por el LHRA	Aguas residuales tratadas mediante los lodos activados con aireación prolongada (carga másica <0,1 kg DBO_5/kg MVS/d)
MES tot (mg/l)	250 (entre 100 y 400)	112	<35
DBO_5 (mg/l)	325 (entre 150 y 500)	76	<25
DCO (mg/l)	650 (entre 300 y 1000)	216	<125
NTK (mg/l)	65 (entre 30 y 100)	16.5	<10
$N\text{-}NH_4^+$ (mg/l)	50 (entre 20 y 80)	4.5	<2
$N\text{-}NO_2^-$ (mg/l)	<1	2.2	<1
$N\text{-}NO_3^-$ (mg/l)	<1	8.5	<1
Pt (mg/l)	15 (entre 10 y 25)	4.8	<1

Las aguas obtenidas *in fine* satisfacen las normas reglamentarias en vigor.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de tratamiento de las aguas residuales que comprende secuencialmente:

   a. un pretratamiento de las aguas residuales que comprende por lo menos una etapa de cribado;

   b. un tratamiento de las aguas pretratadas en un tanque abierto de lagunaje de alto rendimiento algal por el que las aguas pretratadas circulan en circuito cerrado y en el que está presente una mezcla de bacterias y de algas en cultivo, comprendiendo el tanque una altura de agua que varía entre 10 y 70 cm;

   c. un tratamiento en un tanque de aireación mediante unos lodos activados; y

   d. una separación de los lodos y de las aguas tratadas, preferentemente por clarificación.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el pretratamiento a) de las aguas residuales comprende además un desarenado y/o desengrasado.

3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en el que se realiza un tratamiento primario a') por decantación antes de dicho tratamiento b) en el tanque de lagunaje de alto rendimiento algal y después de dicho pretratamiento a).

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que se modula la altura de agua del tanque de lagunaje de alto rendimiento algal en función de la intensidad luminosa.

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que las concentraciones en micro o macroelementos necesarios para el crecimiento de las algas o para la eliminación de los contaminantes tales como los bicarbonatos, el potasio, el magnesio y/o el calcio se controlan y se regulan en el tanque para optimizar las prestaciones del lagunaje de alto rendimiento algal.

6. Procedimiento según la reivindicación 5, en el que la concentración en bicarbonatos se regula por adición de bicarbonatos de manera que la concentración en bicarbonatos en el tanque de lagunaje sea superior a 150 mg/l.

7. Procedimiento según la reivindicación 5 o 6, en el que la concentración en magnesio se regula por adición de magnesio de manera que la concentración en magnesio sea superior a 10 mg/l.

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 5 a 7, en el que la concentración en calcio se regula por adición de calcio de manera que la concentración en calcio sea superior a 50 mg/l.

9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el tiempo de estancia hidráulica en el tanque de lagunaje de alto rendimiento algal varía entre 1 y 12 días, normalmente es de ocho días en invierno y de cuatro días en verano.

10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el tanque de lagunaje de alto rendimiento algal comprende unas algas seleccionadas de entre las clorofíceas, euglenofíceas, diatomeas, cianofíceas y sus combinaciones.

11. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que, antes del tratamiento c) de las aguas residuales en el tanque de aireación, se separan las aguas y las algas.

12. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que las algas recogidas cuando tiene lugar la separación son digeridas por vía anaerobia.

13. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el tanque de lagunaje tiene una altura que varía entre 10 y 70 cm y una relación longitud/anchura que varía entre 6 y 10.

14. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que los lodos obtenidos tras la decantación a') y/o separación d) son tratados por un procedimiento que integra un encalado o un procedimiento que integra una digestión anaerobia.

15. Instalación de tratamiento de las aguas residuales que comprende desde aguas arriba hacia aguas abajo:

   a. una unidad de pretratamiento de las aguas residuales que comprende por lo menos un medio de cribado;

   a'. opcionalmente un tanque primario de decantación;

   b. un tanque abierto de lagunaje de alto rendimiento algal por el que las aguas pretratadas circulan en circuito

cerrado y en el que está presente una mezcla de bacterias y de algas en cultivo, comprendiendo el tanque una altura de agua que varía entre 10 y 70 cm;

b'. opcionalmente una unidad de separación de las algas y de las aguas tratadas por lagunaje;

c. un tanque de aireación con lodos activados;

d. un dispositivo de separación de las aguas tratadas y de los lodos, preferentemente un clarificador.

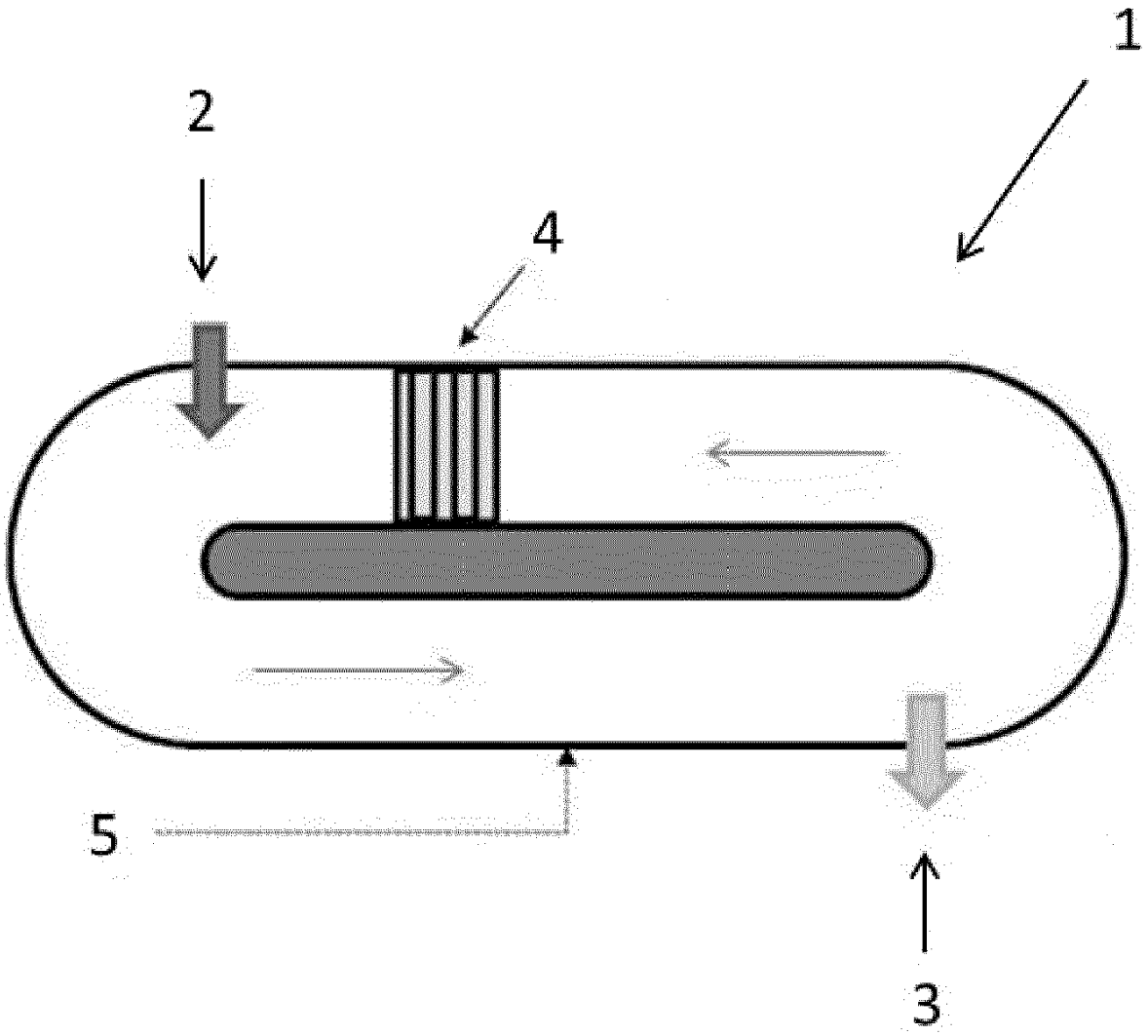


Figura 1

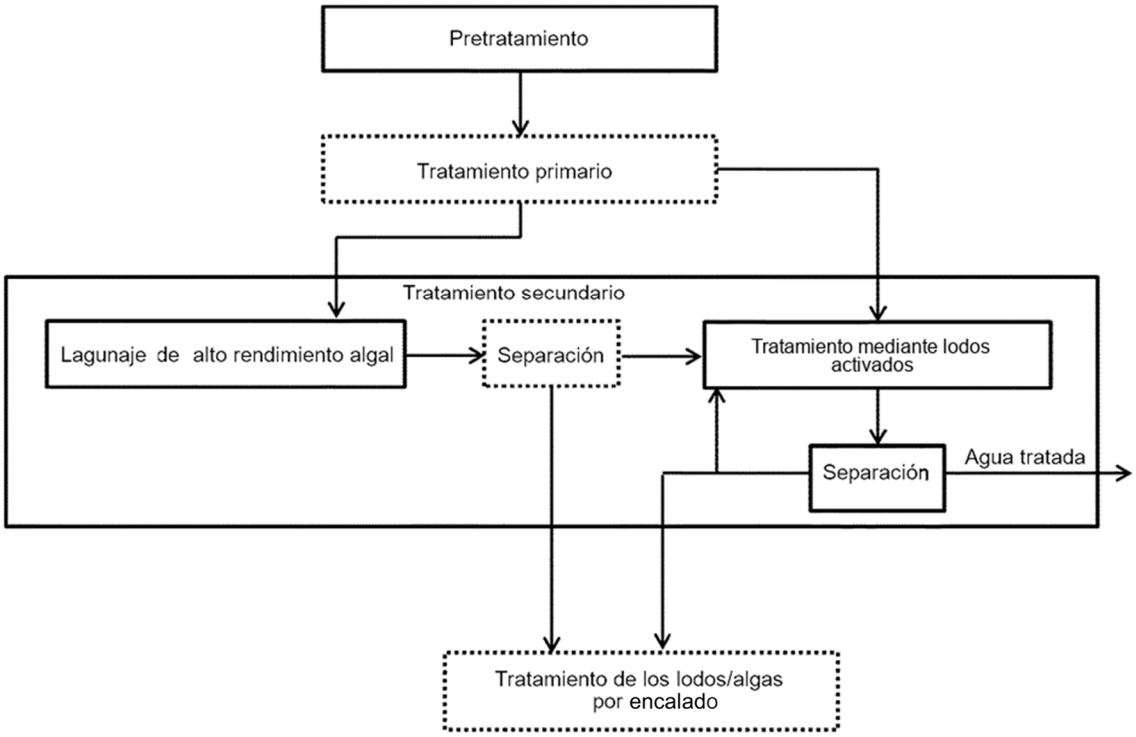

Pretratamiento
Tratamiento primario
Tratamiento secundario
Lagunaje de alto rendimiento algal
Separación
Tratamiento mediante lodos activados
Separación
Agua tratada
Tratamiento de los lodos/algas por encalado

Figura 2

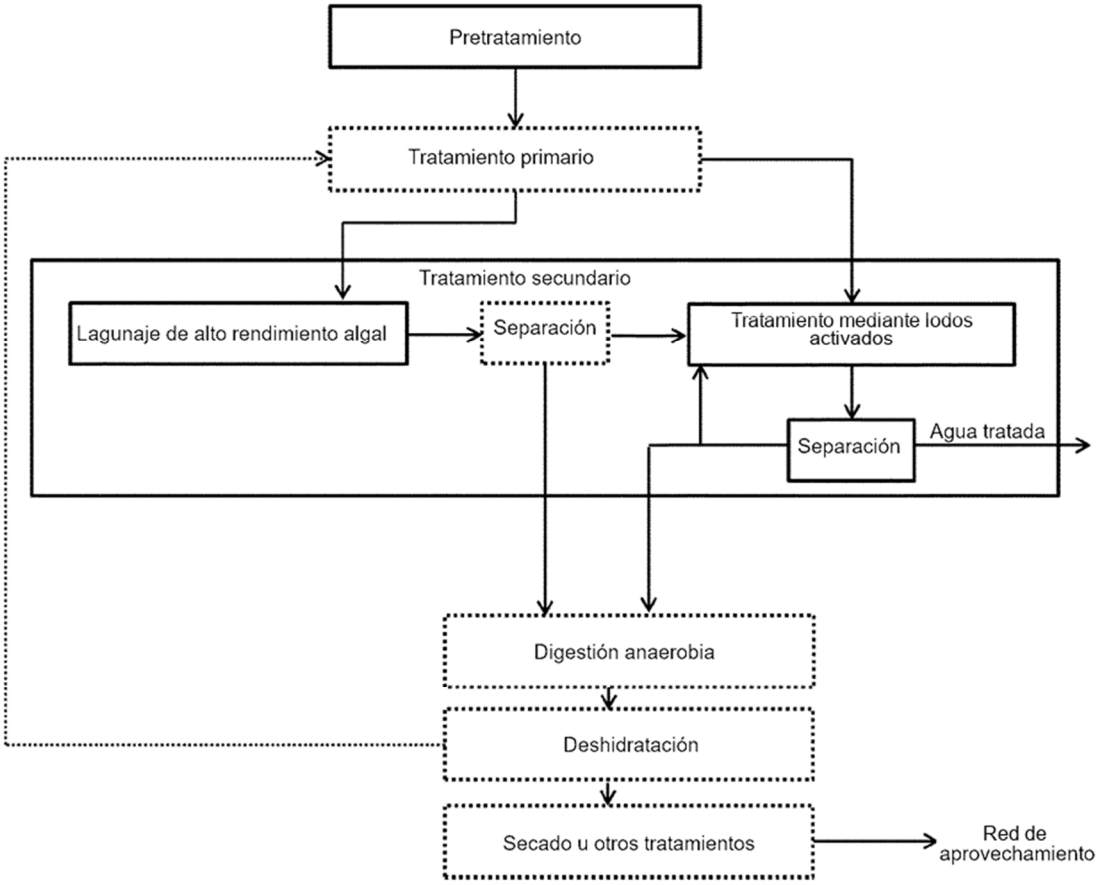

Pretratamiento
Tratamiento primario
Tratamiento secundario
Lagunaje de alto rendimiento algal
Separación
Tratamiento mediante lodos activados
Separación
Agua tratada
Digestión anaerobia
Deshidratación
Secado u otros tratamientos
Red de aprovechamiento

Figura 3