

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 756 754**

51 Int. Cl.:

C02F 3/30

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.04.2016 PCT/SK2016/050005**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.11.2016 WO16175710**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.04.2016 E 16728751 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.09.2019 EP 3288903**

54 Título: **Método y dispositivo para el tratamiento de aguas residuales mediante un proceso de lodos activados con eliminación mejorada de nitrógeno y fósforo**

30 Prioridad:

28.04.2015 SK 500412015 U

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

27.04.2020

73 Titular/es:

PÉNZES, LADISLAV (33.3%)

Bac 57

Bac 930 30, SK;

CSÉFALVAY, JURAJ (33.3%) y

AQUATEC VFL S. R. O. (33.3%)

72 Inventor/es:

PÉNZES, LADISLAV y

CSÉFALVAY, JURAJ

74 Agente/Representante:

CASTELLET I TORNE, Mari Angels

ES 2 756 754 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

Método y dispositivo para el tratamiento de aguas residuales mediante un proceso de lodos activados con eliminación mejorada de nitrógeno y fósforo

5

Área técnica

[0001] La solución técnica se refiere a un método para el tratamiento de aguas residuales utilizando lodo activado con eliminación mejorada de nitrógeno y fósforo, en particular, para sistemas de tratamiento de aguas residuales individuales y descentralizados.

10

Antecedentes del invento

[0002] El tratamiento individual o descentralizado de las aguas residuales es un método de eliminación de aguas negras y aguas residuales municipales procedentes de viviendas individuales o grupos de viviendas, hoteles, restaurantes, pequeñas fábricas, parques industriales y otros pequeños generadores en su lugar de origen, que se aplica en particular si, por razones técnicas o económicas, no es posible conectarse al alcantarillado público con su planta central de tratamiento de aguas residuales.

15

[0003] El objetivo de los sistemas de tratamiento de aguas residuales individuales o descentralizados, desde un punto de vista higiénico y ambiental, es la descarga satisfactoria del agua tratada a las aguas superficiales, o su absorción en el suelo, o el reciclaje y la reutilización del agua tratada con una calidad satisfactoria en el lugar donde se producen las aguas residuales. Las plantas de tratamiento de aguas residuales pequeñas o domésticas que sirven para el tratamiento individual o descentralizado de las aguas residuales se centran principalmente en el tratamiento de la contaminación orgánica y, posiblemente, en la oxidación de nitrógeno de amonio (nitrificación). Cada vez se destaca más la necesidad de eliminar el nitrógeno y el fósforo de las aguas residuales vertidas y también de las fuentes individuales o pequeñas, ya que tienen un efecto de eutrofización de las aguas superficiales, especialmente en zonas sensibles. Muchos países tienen límites estrictos para el vertido a las aguas superficiales y subterráneas de aguas residuales que contienen nitrógeno (N <10 mg/l) y fósforo (P <1,0 mg /L) , ya sea en general o solo en zonas sensibles. Las variaciones diarias, semanales o estacionales de la contaminación orgánica en el agua que llega a los sistemas descentralizados, individuales o pequeños, de tratamiento de aguas residuales influye significativamente en la eficiencia de la eliminación del nitrógeno y fósforo porque, para realizar su función, los microorganismos desnitrificadores y acumuladores de fósforo necesitan suficiente sustrato orgánico fácilmente degradable.

20

25

30

[0004] El proceso de eliminación biológica del nitrógeno y fósforo mediante el proceso de activación es uno de los métodos más utilizados para reducir el nitrógeno y fósforo en el proceso de tratamiento de aguas negras y aguas residuales municipales. En particular, para eliminar el nitrógeno es necesario centrarse en un método de eliminación biológico, porque se ha demostrado que otros métodos químicos o fisicoquímicos son muy poco económicos. La eliminación química del fósforo está muy extendida, pero se están haciendo esfuerzos por reducir el consumo de sustancias químicas y, por lo tanto, se prefiere la eliminación biológica del fósforo, aunque sea parcialmente. Para la eliminación biológica del nitrógeno y fósforo es necesario crear condiciones anaerobias, anóxicas y óxicas alternas para el lodo activado en el reactor biológico. Las condiciones anaerobias, anóxicas y óxicas a menudo se caracterizan por el potencial de oxidación-reducción (POR), donde el valor típico para un ambiente anaerobio es de entre -250 y -400 mV, para el ambiente anóxico de entre -50 mV y +50 mV, y para el ambiente óxico de entre + 100 y +250 mV. Normalmente, son sistemas de un lodo en los que el lodo activado contiene poblaciones de microorganismos heterótrofos (desnitrificación y oxidación) y también autótrofos (nitrificación). Parte del lodo activado vuelve al proceso como lodo de recirculación o permanece en el volumen de reacción, y la parte excedente que se elimina, con un mayor contenido de fósforo, se somete a procesamiento adicional, almacenamiento o eliminación. Para la recirculación y evacuación del lodo o agua tratada se pueden utilizar bombas mecánicas, o hacerse neumáticamente mediante bombas de aire comprimido. El primer método es más habitual en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, con mayor capacidad, mientras que el uso de bombas de aire comprimido es más típico de plantas de tratamiento de aguas residuales individuales o más pequeñas. Para la aireación de la zona óxica, lo más utilizado son elementos de aireación de burbuja fina, que es una forma de aireación económicamente eficiente. El mezclado en las zonas anaerobia y anóxica puede hacerse mediante agitadores mecánicos (en particular en las plantas de tratamiento centrales de gran capacidad) o mediante agitado intermitente con aire comprimido o agitadores hidráulicos utilizando la recirculación del licor mezcla (especialmente en plantas de tratamiento pequeñas o individuales).

35

40

45

50

55

[0005] En las últimas décadas se han desarrollado diversas modificaciones del proceso de activación que consiguen una mayor eliminación biológica de nitrógeno y fósforo y alcanzan los estrictos niveles de nitrógeno y fósforo deseados. Las instalaciones individuales y descentralizadas para el tratamiento de aguas residuales procedentes de fuentes pequeñas tienen unos requisitos específicos, a la vez que deben mantener una elevada eficiencia de eliminación de nitrógeno y fósforo:

- mantener una elevada eficiencia en la eliminación de nitrógeno y fósforo a pesar de que la generación de aguas residuales de fuentes pequeñas de contaminación está sujeta a grandes fluctuaciones durante el día y durante el año,
- flexibilidad de adaptación de la recirculación y aireación a cambios cuantitativos y cualitativos en las aguas residuales y a otros factores que afectan a la eficiencia del proceso de tratamiento, posibilidad de control y monitorización remotos.
- pocas demandas operativas,
- baja demanda energética.

[0006] Todas las expectativas mencionadas están asociadas al método para controlar los procesos de recirculación y aireación del licor mezcla, ya que estos procesos son los que más influyen en la eficiencia final de la eliminación del nitrógeno y del fósforo y en el consumo de energía. También es importante que el método de control de la aireación y recirculación exija el mínimo de experiencia y conocimientos para su operación y mantenimiento, sobre todo en el caso de los sistemas descentralizados más pequeños (viviendas y pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales).

[0007] La configuración de los reactores biológicos en los que se produce el proceso de activación puede dividirse en:

- reactores o zonas completamente agitadas,
- reactores o zonas con flujo gradual (de pistón),
- reactores en cascada o zonas que consisten en varios reactores más pequeños completamente mezclados (selectores) conectados en serie,

donde cada configuración de reactores puede influir positiva o negativamente en los procesos de biodegradación del nitrógeno y del fósforo.

[0008] En lo que se refiere al funcionamiento y formación de condiciones anaerobias, anóxicas y óxicas alternas para el lodo activado, podemos dividir los sistemas de activación modificada existentes en:

- sistemas con flujo de entrada y salida de aguas residuales continuo con zonas anaerobia, anóxica y óxica físicamente separadas y zona de sedimentación final físicamente separada para la separación del lodo activado y el agua tratada dentro del reactor biológico, y recirculación del licor mezcla entre las distintas zonas y áreas,
- sistemas con flujo de entrada y salida discontinuo con separación en el tiempo de las fases de separación anaerobia, anóxica y óxica en el reactor biológico sin zona de sedimentación final físicamente separada (sistemas SBS, o de reactor por lotes secuenciales), que no requieren recirculación del licor mezcla,
- sistemas mixtos, combinados e híbridos que utilizan algunos elementos de los dos sistemas anteriores en diferentes combinaciones para eliminar las desventajas de los sistemas estrictamente continuos o estrictamente discontinuos.

[0009] La característica común de los sistemas continuos es un flujo de entrada y de salida continuo en los reactores biológicos, un nivel de agua más o menos constante en todas las zonas del proceso y un tanque de sedimentación o zona para separar el lodo activado del agua tratada físicamente delimitado. Para la eliminación biológica del nitrógeno, en el proceso de purificación por lodo activado se incluyen, además de la zona óxica, zonas anóxicas físicamente delimitadas; las zonas anóxicas suelen ser prezonas anóxicas (por ejemplo, proceso de Ludzack-Ettinger) con una recirculación anóxica interna desde la zona óxica a la zona anóxica, o desde la zona de sedimentación final a la zona anóxica (lo que se denomina «recirculación de NOx»). Si hace falta biodegradación del fósforo, se añade una zona anaerobia (p. ej., «proceso UCT») con recirculación interna del licor mezcla desde la zona anóxica a la zona anaerobia (recirculación interna del licor mezcla, que se denomina «recirculación interna de MLSS» (sólidos en suspensión en el licor mezcla)). El lodo activado sedimentado de la zona de sedimentación final vuelve al proceso de purificación mediante la «recirculación de lodos de retorno».

[0010] La recirculación influye mucho en la eficiencia de eliminación de nitrógeno, porque cuanto mayor es la ratio de recirculación entre la «recirculación de NOx» y la descarga media diaria de aguas residuales (Qd), mayor es la eficiencia de eliminación del nitrógeno. No obstante, un valor demasiado alto de «recirculación de NOx» se relaciona con un mayor consumo de energía para bombeo, pero también con una homogeneización del gradiente de concentración que se necesita para la eliminación de organismos filamentosos, y con la introducción de nitratos y oxígeno disuelto en la zona anaerobia y anóxica, lo que reduce la eficiencia de degradación del nitrógeno y fósforo. Se ha indicado como límite económico para la «recirculación de NOx» un valor igual a $4x Q_p$, es decir, una ratio 4:1. Una «recirculación de NOx» típica es de entre 2:1 y 4:1, y la «recirculación interna de MLSS» de entre 1:1 y 3:1. Para las plantas de tratamiento de aguas residuales individuales o pequeñas en las que el flujo de aguas residuales se produce durante entre 10 y 12 horas al día, resulta más útil calcular el índice de recirculación utilizando la descarga máxima por hora $Q_{máx,h}$. Otra característica clave es el tiempo de retención hidráulica en las distintas zonas del proceso de activación, que pone en relación el volumen de las distintas zonas delimitadas con la descarga media diaria Qd teniendo en cuenta procesos biológicos o cinéticos. Los tiempos típicos de retención en el proceso UCT son de 1-2 horas en la zona anaerobia, 2-4 horas en la zona anóxica y 4-12 horas en la zona óxica, es decir, que la ratio volumétrica aproximada entre la zona anaerobia y las zonas anóxica y óxica es de entre 1:2:4 y 1:2:6. Las ratios volumétricas típicas de las distintas zonas para los otros sistemas de activación modificada continuos son del orden de entre 1:2:4 y 1:2:8.

[0011] La eficiencia y estabilidad de la eliminación del nitrógeno y fósforo de las aguas residuales se ven muy afectadas por el contenido de sustancias orgánicas fácilmente degradables en las aguas residuales, siendo su principal componente los ácidos grasos inferiores (ácidos grasos volátiles o «AGV»), que se originan principalmente de la fermentación de los ingredientes orgánicos de las aguas residuales brutas debido a los microorganismos de fermentación. Los ácidos grasos inferiores son también un sustrato adecuado para los organismos desnitrificadores y mejoran la eficiencia de la eliminación del nitrógeno. En caso de que falten, se reduce la eficiencia de la eliminación biológica del fósforo. Según el estado de la técnica, una posibilidad para mejorar la eficiencia de la eliminación biológica del fósforo es añadir AGV en forma de sustrato externo a la zona anaerobia del reactor biológico o producir AGV in situ en el lado de la corriente tecnológica que sale de la línea principal del tratamiento biológico, p. ej., en las instalaciones de gestión de lodos (el tanque primario de espesamiento del lodo), y enriquecer el flujo de entrada al reactor biológico con los AGV producidos. En el proceso de «Phostrip», las condiciones anaerobias se crean dando al lodo de retorno un tiempo de retención hidráulica suficientemente largo en el tanque de espesamiento por gravedad de TRH= 8-12 h (TRH: tiempo de retención hidráulica), donde el lodo activado de retorno fermenta y se producen AGV, los AGV utilizan organismos acumuladores de fósforo «OAF». El lodo del fondo del tanque de espesamiento por gravedad se envía a la entrada de las zonas anóxica y óxica, donde los OAF acumulan fósforo en condiciones anóxicas y óxicas. La extracción del fósforo liberado se ve ayudada por la recirculación del lodo del fondo hacia la entrada del tanque de espesamiento por gravedad. La desventaja de este proceso es que cuando el periodo de retención es largo (4-6 días) se produce la liberación secundaria de fósforo, que no está relacionada con la acumulación de sustancias de almacenamiento intracelular PHA (poli-β-hidroxialcanoato) necesarias para los organismos acumuladores de fósforo (OAF), y hay que precipitar químicamente este fósforo liberado. Otra desventaja es que el proceso Phostrip requiere de un tanque adicional fuera del reactor biológico. Según el estado de la técnica, no es deseable la producción in situ de AGV directamente en el reactor biológico, en la zona anaerobia, porque la ampliación del tiempo de retención hidráulica TRH >3 horas en una zona de fermentación anaerobia con el propósito de fermentar las sustancias orgánicas y el lodo activado resulta en la mencionada liberación secundaria de fósforo. Por lo que respecta al tiempo de retención del lodo (TRL), lo recomendable es alrededor de 1 día. Si se alarga el tiempo de retención hidráulica en la fase anaerobia sin llevar el lodo a suspensión y mezclándolo con el licor mezcla, es necesario, al menos a corto plazo, solucionar el posible problema de olores en el caso de que la descomposición de las sustancias orgánicas y del lodo activado entre en una fase anaerobia profunda, caracterizada por un POR de -450 mV o inferior, cuando se forma sulfuro de hidrógeno y otros gases fétidos. Se han hecho esfuerzos por introducir la producción in situ de AGV en el reactor biológico, como, por ejemplo, en WO2005/028373A2, pero la concentración media de fósforo final conseguida fue de solo 3 mg/L P, probablemente debido a la liberación secundaria de fósforo por dicha configuración del reactor biológico y el control del proceso, que se basa en procesos de difusión y en el efecto de succión de las bombas situadas más arriba cuando se introduce la circulación entre las zonas anaerobia, anóxica y óxica, donde la zona del lodo no entra en suspensión y no forma parte del proceso de activación. En la solución de US2010/0101995A1 se divulga un proceso similar de mezclado.

[0012] Los principios cinéticos de los procesos microbiológicos determinan la velocidad de desnitrificación y de otros procesos asociados a la utilización del sustrato. Es bien conocido que la velocidad de utilización del sustrato aumenta cuando aumenta la concentración de sustrato en el reactor para una concentración dada de biomasa. Por debajo de un determinado valor crítico de concentración del sustrato, la velocidad de utilización del sustrato se reduce casi

linealmente. Hay una dependencia similar con la asimilación de otros sustratos, por ejemplo, un sustrato aceptor de electrones (oxígeno, nitrógeno en forma de nitrato), lo que significa que, además de la concentración del sustrato para asimilación —sustancias orgánicas fácilmente degradables—, la velocidad de los procesos de asimilación del sustrato fácilmente disponible en ausencia de oxígeno y en presencia de nitrógeno en nitrato (desnitrificación en la zona anóxica) o la asimilación en presencia de oxígeno (nitrificación y oxidación en la zona óxica) también se ve afectada por la concentración de sustrato aceptor de electrones —nitrógeno en forma de nitrato en la zona anóxica u oxígeno en la zona óxica—. Por tanto, se están haciendo esfuerzos para mantener una elevada velocidad operativa de las reacciones bioquímicas en el sistema para aumentar la eficiencia de la eliminación del nitrógeno mediante un control automático de los periodos de encendido-apagado (ON/OFF) de la aireación del licor mezcla, por ejemplo, en CS9101653 A3, pero el control de la recirculación y mezclado del licor mezcla no está resuelto.

[0013] Modificando continuamente los procesos de activación con la eliminación biológica de nitrógeno y fósforo se puede conseguir una concentración de nitrógeno total $N_{total} > 10$ mg/L y de fósforo total $P_{tot} > 1$ mg /L, pero se necesita un control de los procesos de aireación y recirculación del licor mezcla para eliminar el nitrógeno y el fósforo, además de plantear más exigencias a la tecnología de automatización y necesitar dispositivos de medición en línea y analizadores de los diversos parámetros que caracterizan la ratio oxidación-reducción, concentración de oxígeno y formas de nitrógeno y fósforo, etc., además de experiencia y conocimientos necesarios para la operación y control, algo que solo resulta rentable para grandes plantas municipales de tratamiento de aguas residuales o plantas centralizadas de tamaño medio.

[0014] La gestión del proceso de activación consiste principalmente en la gestión del encendido-apagado de la aireación o de la intensidad de la aireación y el control de la intensidad de recirculación, a saltos o de forma gradual. El control de la aireación se basa en diversos modos de temporización de encendido o apagado de los ventiladores en diferentes intervalos de tiempo que alternan entre una mayor o menor frecuencia de giro de los dispositivos de aireación o un cambio continuo de la intensidad de la aireación mediante convertidores de frecuencia para los ventiladores o regulando unas válvulas posicionables en los ramales de aire comprimido. Cuando los ventiladores se apagan durante un periodo prolongado, es necesario asegurar que el lodo activado se mantenga en suspensión activando los agitadores mecánicos o conectando brevemente el ventilador de vez en cuando. El encendido/apagado de los ventiladores o la reducción/aumento de la frecuencia de giro de los motores de los ventiladores se controlan mediante modos sencillos de tiempos fijos en función de la previsión de carga o afluencia diaria en el reactor biológico (normalmente en sistemas individuales o pequeños) que se programan en un temporizador, o midiendo los parámetros que caracterizan la concentración de oxígeno, nitrógeno y fósforo disuelto, el potencial de oxidación-reducción y similares (normalmente en grandes plantas de tratamiento de aguas residuales centrales) y evaluando en línea las cantidades medidas mediante algoritmos de control según diferentes estrategias de control basadas en la cinética de los procesos de oxidación de las formas de nitrógeno, cambios en las condiciones redox en el licor mezcla y similares, y ajustando la duración de los periodos de encendido/apagado de la aireación en función de las cantidades medidas y los valores objetivo para las cantidades medidas. Basándose en las señales medidas y su evaluación, la unidad de control controla las válvulas ajustables de los ramales de aire de los elementos de aireación o el convertidor de la frecuencia de giro del ventilador.

[0015] La intensidad de recirculación se puede regular a saltos conectando o desconectando diversas bombas de recirculación conectadas en paralelo, aumentando a saltos la frecuencia de giro de los dispositivos de recirculación o regulando gradualmente la frecuencia de giro de los ventiladores o dispositivos de recirculación en función de las mediciones de los valores que caracterizan el flujo de aguas residuales y el flujo de corrientes recirculadas, la medición de la concentración de sólidos en suspensión en la corriente recirculada, la concentración de contaminación orgánica en el flujo de entrada, la medición del potencial de oxidación-reducción POR, las concentraciones de nitratos (p. ej. US6254778B1) y la evaluación en línea de las cantidades medidas utilizando algoritmos de control según diferentes estrategias de gestión.

[0016] En las grandes plantas de tratamiento de aguas residuales, el mezclado del licor mezcla en las zonas anaerobia y anóxica es continuo o predominan los periodos prolongados de funcionamiento continuo, interrumpidos por breves periodos de parada por motivos principalmente económicos de ahorro de electricidad. En las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o pequeñas, el mezclado en las zonas anaerobia y anóxica se realiza mediante aireación de burbuja gruesa o aireación corta de burbuja fina, o hidráulicamente mediante la recirculación del licor mezcla. En principio, en estas plantas pequeñas el mezclado se interrumpe, y a menudo se realiza en paralelo a la recirculación del licor mezcla.

[0017] La patente US2003/0183572 A1 divulga un método y aparato para el tratamiento continuo de aguas residuales mediante un proceso de activación con eliminación de nitrógeno y fósforo. En WO2007022899A1 se divulgan mejoras adicionales a este proceso para la homogenización de los flujos variables mediante el controlador de flujo y la zona de retención integral con el objetivo de utilizar un proceso continuo de activación modificada en soluciones individuales y descentralizadas para que no sea necesaria tanta experiencia y conocimientos para la operación y control.

[0018] Un proceso para la purificación de aguas residuales según US2003/0183572 A1 y WO2007022899A1 incluye una cámara activada con una zona de fermentación anaerobia no aireada, una zona de desnitrificación y una zona de nitrificación aireada, y una zona de sedimentación final en un reactor biológico, donde la zona de fermentación anaerobia y la zona de desnitrificación de la cámara activada están separadas por deflectores superiores e inferiores en la dirección del flujo continuo formando un laberinto vertical para el flujo, con recirculación desde la zona de desnitrificación a la zona de fermentación anaerobia y recirculación del lodo de retorno desde la zona de sedimentación final a la zona de desnitrificación. La recirculación del licor mezcla en la zona de fermentación anaerobia y en la zona anóxica también contribuye al mezclado del licor mezcla. El tiempo de retención y la concentración del lodo activado en una zona de fermentación anaerobia, la zona de desnitrificación, la zona de nitrificación y la zona de sedimentación final se controlan cambiando la intensidad de recirculación del licor mezcla a la zona de fermentación anaerobia y del lodo de retorno a la zona de desnitrificación, o alternando el funcionamiento continuo y la recirculación intermitente en cortos periodos en los intervalos fijos que se correspondan con las fluctuaciones diarias en la carga del flujo de entrada al reactor biológico. El ventilador proporciona aire a presión a los elementos de aireación utilizados para mezclar y airear la zona de nitrificación (óxica) y para la recirculación del licor mezcla utilizando bombas de aire comprimido que funcionan con el aire comprimido del ventilador. El funcionamiento del ventilador se controla con la unidad de control, que incluye un conjunto preconfigurado de intervalos de funcionamiento intermitente y continuo a lo largo del día, es decir, que se alternan intervalos de funcionamiento intermitente y continuo, y dicha alternancia se adapta según la producción diaria de aguas residuales procedentes de una fuente individual. La recirculación y la aireación del licor mezcla se realizan simultáneamente, de manera que durante el funcionamiento continuo del ventilador se realiza el mezclado de las zonas de fermentación anaerobia, anóxica y óxica y se homogeneiza la concentración del lodo en las distintas zonas.

[0019] El dispositivo para distribución de aire según US2003/0183572 A1 consiste en un ventilador y en una unidad de distribución de aire con válvulas manuales que se utilizan para ajustar la distribución del aire en los distintos elementos —bombas de aire comprimido y elemento de aireación— mediante tubos de distribución de aire para homogeneizar los efectos de las diferentes pérdidas de presión en los distintos elementos y ajustar la intensidad adecuada de recirculación y aireación. El dispositivo para el control del aire en los distintos elementos mediante válvulas manuales requiere tener experiencia y conocimientos sobre cómo ajustar la distribución de aire a los distintos elementos. Una configuración correcta influye significativamente en la eficiencia del tratamiento y la funcionalidad de la planta de tratamiento de aguas residuales. Un cambio de las válvulas manuales accidental o por inexperiencia puede impedir el funcionamiento de los distintos elementos, reduciendo la eficiencia del tratamiento. Otra gran desventaja es que las válvulas manuales no se pueden modificar remotamente en caso necesario, solo manualmente in situ, o que la única opción es modificar remotamente el modo de funcionamiento de los ventiladores. El ventilador debe tener suficiente capacidad para permitir el suministro simultáneo de aire a las bombas de aire comprimido y al sistema de aireación. Cuanta mayor capacidad tenga el ventilador, mayor será el coste de la inversión y el consumo de electricidad. La tabla n.º 1 muestra los resultados de pruebas a largo plazo de la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales doméstica basada en los métodos de tratamiento de aguas residuales según la patente US2003/0183572 A1. Esta tabla muestra que el dispositivo no alcanzó la concentración Ntotal requerida inferior a 10 mg/L, que la concentración media de fósforo total estaba por encima de 3 mg/L, la eficiencia de eliminación de nitrógeno fue de alrededor del 60 % y la del fósforo solo alcanzó alrededor del 50 %. El consumo de energía fue de 0,28 kWh / EH,d (EH: equivalente habitante conectado).

Tabla 1

Parámetros	BSK5		Ntotal+		Ptotal	
	Concentración mg/L	Eficiencia del tratamiento en %	Concentración mg/L	Eficiencia del tratamiento en %	Concentración mg/L	Eficiencia del tratamiento en %
Aguas residuales brutas	250	-	39,2	-	7,0	-
Aguas residuales tratadas	7,0	97,2	15,0	61,7	3,7	47,4

+ si la temperatura del licor mezcla ≥ 12 °C

[0020] En los sistemas de tratamiento de aguas residuales discontinuos (proceso SBR y versiones modificadas del proceso SBR, como CASS™ o ICEAS™), los distintos procesos también se ejecutan cíclicamente encendiendo y apagando los ventiladores y agitadores a medida que los lodos activados alcanzan las condiciones de cultivo anaerobio, anóxico y óxico o utilizando el mezclado hidráulico aprovechando la afluencia de aguas residuales brutas (proceso ICEAS™). Lo característico de estos sistemas es que no necesitan recirculación del lodo activado (sistemas SBR convencionales), solo extraer el exceso de lodo y el agua tratada, o solo necesitan una pequeña cantidad de recirculación (un reactor CAAS™ o un reactor según la patente WO98/30504), porque la aireación y separación del lodo activado se realizan en el mismo volumen del reactor. En los sistemas SBR, la reducción del nitrógeno y fósforo se consigue introduciendo una fase de mezclado durante la entrada de las aguas residuales y/o encendiendo/apagando cíclicamente la aireación durante la fase de aireación.

[0021] Las fases típicas del proceso SBR son las siguientes:

- Fase 1, «entrada»: frecuentemente mediante la bomba de aire comprimido, durante la fase inactiva, dura unos 90 minutos.
- Fase 1a, «fase anaerobia»: durante la fase inactiva, junto a la entrada de las aguas residuales brutas que contienen sustancias orgánicas fácilmente descomponibles, puede combinarse con un agitado ocasional utilizando brevemente un aireador de burbuja gruesa o un agitador mecánico.
- Fase 2, «aireación»: ciclo de 180 minutos, la aireación puede ser intermitente, por ejemplo, 4 minutos encendida y 6 minutos apagada, duración de los ciclos: 10 minutos.
- Fase 3, «fase anóxica»: puede combinarse con agitado ocasional utilizando brevemente un aireador de burbuja fina o agitador mecánico, dura unos 60 minutos.
- Fase 4, «fase de sedimentación»: dura al menos 90 minutos.
- Fase 4a, «extracción de aguas residuales tratadas»: utilizando bomba de aire comprimido durante la fase de sedimentación.
- Fase 4b, «extracción del exceso de lodo»: se bombean 30-40 cm desde el fondo utilizando la bomba de aire comprimido durante la fase de sedimentación.

[0022] El número típico de ciclos es de 6 ciclos al día.

Resumen de la invención

[0023] La solución técnica presentada conforme a la presente invención se define en las reivindicaciones y, en particular, en la reivindicación independiente 1 para el método, y en la reivindicación independiente 5 para el dispositivo. La invención tiene como resultado una eficiencia de eliminación de nitrógeno y fósforo significativamente mejorada en condiciones de gran fluctuación diaria, semanal y estacional de la carga de materia orgánica e hidráulica, a la vez que se reducen significativamente las demandas de energía y operativas mediante un método de tratamiento de aguas residuales mejorado en comparación con US2003/0183572 A1, utilizando procesos que tienen lugar en una zona anaerobia, en una zona anóxica y en una zona óxica, y en una zona de sedimentación final con aireación, recirculación y mezclado controlados de los sólidos en suspensión en el licor mezcla (MLSS) mediante funcionamiento intermitente. En las pruebas a largo plazo, hemos observado que el factor clave para aumentar la eliminación biológica del nitrógeno y fósforo es que la aireación, recirculación y mezclado de los MLSS sean intermitentes, de manera que se alternen cortos periodos de aireación con cortos periodos de recirculación y mezclado. A raíz de esta observación empezamos a desarrollar un nuevo método de control de la aireación, recirculación y mezclado de los MLSS y observamos que la eficiencia del proceso de tratamiento aumentaba si los cortos periodos de aireación y los cortos periodos de recirculación y mezclado no eran simultáneos, donde un periodo de aireación y un periodo de recirculación y mezclado formaban un ciclo que se repetía entre 80 y 320 veces al día, siendo el intervalo preferible de entre aproximadamente 160-310 veces al día.

[0024] Basándonos en la experiencia de las pruebas de aireación, recirculación y mezclado intermitentes, determinamos la duración óptima conforme a esta solución de los periodos de aireación y de recirculación y mezclado que se incluye en esta solución tecnológica: la duración del periodo de aireación es de entre 0,5 y 7 minutos, preferiblemente entre 3 y 5 minutos; y la duración del periodo de recirculación y mezclado es de entre 0,5 y 14 minutos, preferiblemente entre 1 y 5 minutos.

[0025] La duración de los periodos se puede adaptar al tipo y capacidad específicos de los ventiladores y de las unidades de recirculación y mezclado, donde al seleccionar la duración de los periodos de aireación, recirculación y mezclado es importante tener en cuenta que durante el corto periodo sin recirculación ni mezclado en las zonas anaerobia y anóxica, o sin aireación ni mezclado en la zona óxica, las partículas floculadas del lodo activado nunca deberían sedimentarse del todo para que el lodo activado siga estando parcialmente en suspensión tanto en la zona óxica como en las zonas anaerobia y anóxica, y que durante los periodos de recirculación y mezclado en las zonas anaerobia y anóxica el gradiente de concentración entre las concentraciones de los MLSS en el fondo y en la superficie no se vea demasiado perturbado, lo que se puede conseguir alternando cortos periodos de recirculación y mezclado de los MLSS en la zona anaerobia y en la zona anóxica con periodos de aireación y mezclado de los MLSS en la zona óxica, y donde durante los periodos de recirculación y mezclado de los MLSS en las zonas anaerobia y anóxica no hay aireación ni mezclado de los MLSS en la zona óxica, y durante los periodos de aireación y mezclado de los MLSS en la zona óxica no hay recirculación ni mezclado de los MLSS en las zonas anaerobia y anóxica.

[0026] La cinética de los procesos de desnitrificación en la zona anóxica que exceden del sustrato de ácidos grasos volátiles fácilmente degradables (AGV) es suficientemente rápida debido a una mayor actividad metabólica de la biomasa y a las rápidas reacciones enzimáticas en los MLSS que se suministran a pulsos desde la zona óxica a la zona anóxica. El rápido progreso de desnitrificación en unos minutos se ve ayudado tanto por el exceso de un sustrato de AGV fácilmente degradables como por el aumento puntual a corto plazo de la concentración de un sustrato aceptor de electrones (nitrógeno en forma de nitrato de la recirculación de NO_x). La formación in situ de sustrato de AGV excesivamente degradables en el reactor biológico se ve ayudada por la estratificación del manto de lodo si la corta duración del periodo de recirculación y mezclado no perturba la considerable mayor densidad del manto de lodo en el fondo de la zona anaerobia con bajo potencial de oxidación-reducción, creando unas condiciones óptimas para la acumulación de compuestos de almacenamiento intracelular en las bacterias acumuladoras de fósforo; el proceso solo dura unos minutos. La amplitud de la dosificación en pulsos del licor de recirculación durante el día está determinada por la máxima capacidad útil de las unidades de recirculación, pudiendo el valor mínimo de la amplitud ser cero o un valor mínimo específico, por ejemplo, en el intervalo entre 5 y 49 % del valor de la amplitud. La amplitud de los cortos periodos de aireación está determinada por la máxima capacidad útil del ventilador(es), pudiendo el valor reducido de la amplitud ser igual a cero o un valor reducido específico, por ejemplo, entre el 5 y 49 % de la amplitud de la aireación.

[0027] La dosificación en pulsos del licor de recirculación durante la recirculación puede hacerse apagando la unidad de recirculación o cambiando gradualmente la frecuencia de giro del motor eléctrico de la unidad de recirculación con un convertidor de frecuencia, un arrancador suave u otro dispositivo con una finalidad similar. La activación breve del mezclador en las zonas anaerobia y anóxica durante el periodo de recirculación y mezclado puede hacerse encendiendo/apagando el mezclador o cambiando gradualmente la frecuencia de giro del motor eléctrico del mezclador con un convertidor de frecuencia, un arrancador suave u otro dispositivo con una finalidad similar. El encendido/apagado breve del aireador puede hacerse directamente encendiendo/apagando el ventilador o cambiando gradualmente la frecuencia de giro del motor eléctrico del ventilador con un convertidor de frecuencia, un arrancador suave u otro dispositivo con una finalidad similar.

[0028] Se prefiere el mezclado en las zonas anaerobia y anóxica utilizando recirculación de los MLSS y una serie de deflectores superiores e inferiores que forman un laberinto de flujo vertical en las zonas anaerobia y anóxica con flujo de pistón, ya que esto conduce a la estratificación natural del manto de lodo y formación de un gradiente de concentración de los MLSS entre el fondo y la superficie del reactor biológico en las zonas anaerobia y anóxica y permite un lavado efectivo de las sustancias orgánicas fácilmente degradables del manto de lodo mediante el flujo vertical de los MLSS desde el fondo hacia la superficie a través de las capas estratificadas del manto de lodo.

[0029] Preferiblemente, la adaptación de los parámetros de carga del reactor biológico a los cambios en la cantidad y calidad de las aguas residuales afluentes o en otros parámetros (temperatura de los MLSS, efecto inhibitor de componentes presentes en las aguas residuales afluentes, etc.) que influyen en la efectividad y eficiencia del proceso de tratamiento biológico también puede hacerse simplemente cambiando el programa de ciclos diarios con duración predefinida para los periodos de aireación y de recirculación y mezclado o la duración del periodo inactivo por ciclo, donde este cambio entre programas de ciclos diarios puede hacerse manualmente en función de la mayor o menor carga esperada (p. ej., un aumento puntual de la producción de aguas residuales debido a la presencia de visitantes, o un descenso durante las vacaciones en el caso de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas), o automáticamente basándose en parámetros medidos (POR, concentraciones de oxígeno, compuestos de nitrógeno,

fósforo) en plantas de tratamiento de aguas residuales más grandes, pudiendo realizarse estos cambios también por control remoto. Los distintos programas difieren en el tiempo total de recirculación y aireación por día, p. ej., ratio de recirculación y duración de la fase óxica.

5 **[0030]** En la solución preferida, la adaptación a los cambios en los parámetros de carga del reactor biológico (cambios en la cantidad y calidad de las aguas residuales afluentes) o cambios en otros parámetros (temperatura de los MLSS, efecto inhibitor de componentes presentes en las aguas residuales afluentes, etc.) que influyen en la efectividad y eficiencia del proceso de tratamiento biológico también puede hacerse variando la duración del periodo de aireación y del periodo de recirculación y mezclado, o del periodo inactivo por ciclo, y utilizando un algoritmo integral determinado de acuerdo con la estrategia de control elegida para alcanzar las concentraciones de nitrógeno y fósforo deseadas en las aguas residuales tratadas en función de los valores medidos de los MLSS (POR, concentración de oxígeno, concentración de compuestos de nitrógeno, concentración de fósforo), donde la medición y evaluación de los parámetros medidos se realiza en línea e influye directamente en la duración real de los periodos de recirculación y mezclado y de los periodos de aireación en intervalos definidos de periodos de recirculación y mezclado y periodos de aireación, o periodos inactivos, donde la estrategia de control elegida también puede controlarse de forma remota.

10 **[0031]** La configuración del reactor biológico, cuya sección, con la zona anaerobia y la zona anóxica, tiene predominantemente flujo vertical y de pistón, es crítica para la implementación del nuevo método de control de la aireación, recirculación y mezclado de los MLSS para reducir al mínimo las perturbaciones de la estratificación del manto de lodo por la recirculación de los MLSS y aguas residuales afluentes y conseguir un lavado efectivo del sustrato producido fácilmente conseguible en forma de ácidos grasos de cadena corta y para evitar la liberación secundaria de fósforo. Una duración suficiente del tiempo de retención hidráulica en la zona anaerobia y en la zona anóxica es un parámetro significativo para la producción in situ de un exceso de AGV en el reactor biológico en una capa estratificada de lodo y para la desnitrificación completa, que puede expresarse por la condición de una ratio volumétrica entre las zonas anaerobia, anóxica y óxica físicamente separadas de entre 1:1:1 y 1:2:4, preferiblemente entre 1:1:1,5 y 1:1:2, y/o de un tiempo mínimo de retención hidráulica en la zona anaerobia de entre 7 y 15 horas, preferiblemente entre 9 y 13 horas.

20 **[0032]** Básicamente, no habrá liberación secundaria de fósforo debido a la rapidez con que se repiten los procesos cíclicos de recirculación y mezclado, durante los que las partículas floculadas sedimentadas de lodo activado vuelven a quedar en suspensión y los microorganismos entran a formar parte de los MLSS recirculados y se ven repetidamente expuestos a una secuencia rápida de condiciones anaerobias, anóxicas y óxicas en ciclos que van de 80 a 320, preferiblemente 160-310 ciclos al día.

30 **[0033]** Para la formación de la capa de lodo estratificado y la producción in situ de un exceso de AGV en el reactor biológico, en la presente solución tecnológica es importante, en contraste con la solución de US2003/0183572 A1 y el estado actual de la técnica, que en la programación diaria o en el algoritmo de control no se incluyan fases prolongadas continuas de aireación, recirculación y mezclado de los MLSS, y aireación, que la recirculación y mezclado se efectúen de forma no simultánea o que antes del periodo de recirculación y el periodo de mezclado haya un periodo inactivo durante el que no hay aireación, recirculación ni mezclado. La nueva solución para controlar la aireación, la recirculación y el mezclado de los MLSS evita la recirculación y aireación paralelas de los MLSS, lo que reduce significativamente la entrada de oxígeno disuelto en la corriente de recirculación de NOx desde la zona óxica a la zona anóxica cuando, al no haber aireación, la concentración del oxígeno disuelto en la zona óxica cae rápidamente debido a la asimilación, es decir, uso del oxígeno disuelto disponible como sustrato aceptor de electrones. Este proceso se mejora aún más si incluye el periodo inactivo después del periodo de aireación o antes del periodo de recirculación y mezclado. Permitir la fermentación en la capa estratificada del manto de lodo en la zona anaerobia y la formación de un exceso de AGV in situ acelera la dinámica del proceso de desnitrificación, que depende del acceso a una cantidad suficiente de sustrato fácilmente degradable y a una cantidad suficiente de sustrato aceptor de electrones, que, en la desnitrificación, significa compuestos de nitrógeno oxidado de la recirculación de NOx. A cambio, permitir la fermentación favorece un ambiente anaerobio en el fondo de la zona anaerobia porque la recirculación interna de los MLSS no mueve los compuestos de nitrógeno oxidados de la zona anóxica a la zona anaerobia. Los compuestos de nitrógeno oxidado dificultan la actividad de las bacterias acumuladoras de fósforo (OAF) y de las bacterias fermentadoras, que solo son efectivas si el valor POR es suficientemente bajo y no hay compuestos de nitrógeno oxidados. Las pruebas de efectividad a largo plazo han demostrado que la efectividad de eliminación de nitrógeno y fósforo no se ve reducida ni aun habiendo sobrecarga o baja carga de la planta de tratamiento durante periodos simulados de baja y alta carga y periodos sin entrada de aguas residuales, lo que indicó la configuración de la duración óptima de los periodos de aireación, recirculación y mezclado y

para que se forme un sustrato suficiente de ácidos grasos de cadena corta fácilmente disponibles. Unas reservas suficientes de sustancias orgánicas en el fondo del manto de lodo estratificado, procedentes de las aguas residuales afluentes en periodos de carga normal o incrementada y de la descomposición del exceso de lodo activado producido durante los periodos de carga normal o incrementada, tienen un efecto tampón que evita que se reduzca la efectividad de la eliminación de fósforo debido a fluctuaciones en la cantidad y calidad de las aguas residuales, ya que garantizan una producción suficiente de AGV incluso en periodos de carga reducida o sin entrada de aguas residuales.

[0034] Una ventaja de las plantas de tratamiento de aguas residuales individuales o pequeñas con control de la aireación y recirculación de los MLSS con bombas de aire comprimido según esta solución es que no hay que ajustar la intensidad de recirculación manualmente para cada bomba de aire comprimido de recirculación y para cada elemento de aireación utilizando válvulas manuales ni ajustando las diversas pérdidas de presión de aire entre las bombas de aire comprimido y el elemento de aireación, ya que el aire a presión se dirige o al circuito del elemento de aireación o al circuito de las bombas de aire comprimido de recirculación. Si fuera necesario adaptar la recirculación o la aireación a cambios en la calidad y cantidad de las aguas residuales (visitas prolongadas, vacaciones, etc.), simplemente se puede cambiar a un programa diferente sin necesidad de volver a configurar las válvulas manuales, y este cambio también puede hacerse de forma remota si la planta de tratamiento cuenta con un módulo de comunicaciones apropiado, por ejemplo, un módulo GSM. Los cortos periodos de aireación y recirculación, de unos minutos de duración, permiten cambios flexibles, preferiblemente de aproximadamente entre 160 y 300 ciclos al día, a diferencia del estado actual de la técnica, donde los ciclos duran varias horas, por ejemplo, un ciclo de 4 horas, es decir, 6 ciclos al día.

[0035] Los procesos no simultáneos de aireación y recirculación de los MLSS usando el aire a presión del ventilador permiten ahorrar energía en el funcionamiento del ventilador y utilizarlo a menor capacidad para producir el aire a presión en Nm³/h incluso en sistemas continuos con lodo activado, lo que reduce los costes de inversión y operativos.

[0036] Los procesos no simultáneos de aireación y recirculación de los MLSS usando el aire a presión del ventilador también mejoran la efectividad de la eliminación de nitrógeno y fósforo, porque el periodo de aireación no coincide con la duración del periodo de recirculación, lo que puede optimizar la ratio de recirculación de las bombas de recirculación de NO_x desde la zona óxica a la zona anóxica y recirculación interna de los MLSS entre la zona anóxica y la zona anaerobia independientemente de si se necesita un periodo de aireación suficientemente largo dentro de la zona óxica durante 6-21 horas al día, lo que es imposible si los procesos de aireación y recirculación de MLSS son paralelos debido al aire a presión del ventilador.

[0037] Preferiblemente, el periodo inactivo se integra antes del periodo de recirculación apagando el ventilador, la aireación y la recirculación, lo que puede mejorar aún más la efectividad de la estratificación del manto de lodo en la zona anaerobia y en la zona anóxica, reducir la concentración de oxígeno en el lodo de retorno y en la recirculación de NO_x, y reducir el consumo de electricidad. La duración del periodo inactivo puede variar entre 0,5 y 15 minutos, preferiblemente entre 2 y 6 minutos.

[0038] Para sistemas individuales de tratamiento de aguas residuales es preferible repartir el aire a presión alternativamente en un tubo para aireación y en un tubo para recirculación utilizando una sola válvula electromagnética de tres vías con un puerto de salida conectado al tubo de aire para aireación y el otro puerto de salida conectado al tubo de aire para recirculación de los MLSS.

[0039] Los dispositivos para redireccionar el aire a presión de manera alterna entre los tubos de aireación y los de recirculación pueden incluir diversas válvulas y actuadores eléctricos, electromagnéticos o hidráulicos, y su número puede variar dependiendo del tamaño de la planta de tratamiento de aguas residuales y el número de líneas paralelas de tecnología de tratamiento. La unidad de recirculación también puede estar representada por una o más bombas de diferentes tipos (especialmente en grandes plantas de tratamiento de aguas residuales) y la alternancia entre periodos de aireación y de recirculación puede hacerse conectando y desconectando los ventiladores y las unidades de recirculación, o disminuyendo y aumentando la frecuencia de giro de los motores eléctricos que accionan los ventiladores para el suministro de aire a presión y las bombas para la recirculación de los MLSS. Las tablas 2, 3 y 4 ofrecen una comparación de los parámetros tecnológicos del método para el control de la recirculación y aireación de acuerdo con el estado de la técnica y de acuerdo con la solución técnica presentada para los sistemas de activación continua y discontinua:

ES 2 756 754 T3

Tabla n.º 2: Control de recirculación y aireación: comparación entre el estado de la técnica y la solución técnica presentada.

	Estado de la técnica	Solución técnica presentada
5	1. Tipo de sistema de activación	Continua con recirculación del licor mezcla
		Continua o híbrida-discontinua, cíclica con recirculación del licor mezcla
10	2. Método de recirculación	Continua, paralela a la aireación (PTAR de tamaño medio o grande). Continua e intermitente, paralela a la aireación (PTAR pequeñas o domésticas).
		Pulsos intermitentes, alternando (no simultáneos) con la aireación.
15	3. Método de aireación	Continua y/o intermitente, paralela a la recirculación.
		Pulsos intermitentes, alternando (no simultáneos) con la recirculación.
	4. Método de control de la recirculación y aireación	
20	4.1 Control mediante temporizador	Fases fijas de funcionamiento continuo e intermitente, recirculación paralela a la aireación (PTAR pequeñas o domésticas).
		Periodos cortos fijos de recirculación alternando (no simultáneamente) con periodos cortos de aireación
25	4.1.1 Dispositivo controlado	Ventilador (PTAR pequeñas o domésticas).
		Válvula(s) electromagnética(s) o de otro tipo en los tubos de aire (PTAR medianas, pequeñas o domésticas) Dispositivo de recirculación (bomba(s) y ventilador(es) (PTAR grandes) a saltos o gradualmente mediante convertidor de frecuencia y dispositivo similar
30	4.1.2 Duración del periodo de recirculación ON	>15 min (PTAR pequeñas o domésticas)
		0,5-14 minutos
35	4.1.3 Duración del periodo de recirculación OFF	>15 min (PTAR pequeñas o domésticas)
		0,5-7 minutos
40	4.1.4 Duración del periodo de aireación ON	>10 min
		0,5-7 minutos
45	4.1.5 Duración del periodo de aireación OFF	>10 min
		0,5-14 minutos
50	4.1.6 Número de ciclos de recirculación ON-OFF al día	<48 (PTAR pequeñas o domésticas)
		>80

(continuación)

	Estado de la técnica	Solución técnica presentada
5	4.2 Control de cantidades medidas	Medición en línea de la concentración de oxígeno y/o formas de nitrógeno, potencial de oxidación-reducción u otras cantidades, aumento o reducción automáticos de la intensidad de aireación o recirculación en función de los valores críticos establecidos para las mediciones
10		Medición en línea de la concentración de oxígeno y/o formas de nitrógeno, potencial de oxidación-reducción u otras cantidades, aumento o reducción automáticos de la duración del periodo de recirculación y del periodo de aireación en función de los valores críticos establecidos para las mediciones en intervalos de periodos cortos de recirculación y aireación
15	4.2.1 Dispositivo controlado	Recirculación: Dispositivo de recirculación (bomba(s)) Aireación: Ventilador(es)
20	4.2.2 Duración del periodo de recirculación ON	Recirculación y aireación: Válvula(s) electromagnética(s) o de otro tipo en los tubos de aire (PTAR medianas, pequeñas o domésticas) Recirculación: Dispositivo de recirculación (bomba(s)) (PTAR grandes) Aireación: Ventilador(es) (PTAR grandes)
25	4.2.2 Duración del periodo de recirculación OFF	Dependiendo de las cantidades medidas, en intervalos de mín. 0,5 minutos y máx. 14 minutos
30	4.2.3 Duración del periodo de aireación ON	-
35	4.2.4 Duración del periodo de aireación OFF	Dependiendo de las cantidades medidas, en intervalos de mín. 0,5 minutos y máx. 7 minutos
40	4.2.5 Número de ciclos de recirculación ON-OFF al día	Dependiendo de las cantidades medidas, en intervalos de mín. 10 minutos y máx. 90-300 minutos
		Dependiendo de las cantidades medidas, en intervalos de mín. 0,5 minutos y máx. 14 minutos
		-
		>80

Tabla n.º 3: Control de recirculación y aireación: comparación entre el estado de la técnica y la solución técnica presentada

	Estado de la técnica	Solución técnica presentada
45	1. Tipo de sistema de activación	Híbrida discontinua, cíclica
		Híbrida discontinua o continua, cíclica
50	2. Método de recirculación	Estado de la técnica
		Solución técnica presentada
55	3. Método de aireación	Sistemas SBR: Sin recirculación Sistemas de activación cíclica: Continua durante algunas fases (p. ej.: fase de ejecución - aireación)
		Pulsos intermitentes, alternando (no simultáneamente) con aireación.
		Continua y/o intermitente en fases de aireación de sistema cíclico
		Pulsos intermitentes, alternando (no simultáneamente) con recirculación.

ES 2 756 754 T3

(continuación)

	Estado de la técnica	Solución técnica presentada
5	4. Método de control de la recirculación y aireación	
10	4.1 Control mediante temporizador	Control de la recirculación: Sistemas SBR - sin recirculación Control de la aireación: Sistemas SBR: periodos fijos de funcionamiento continuo y/o intermitente durante la fase de aireación, duración fija sin aireación durante las fases de entrada y fase anóxica (PTAR pequeñas o domésticas)
15		Periodos cortos fijos de recirculación alternando (no simultáneamente) con periodos cortos de aireación
20	4.1.1 Dispositivo controlado	Válvula(s) electromagnética(s) o de otro tipo en los tubos de aire (PTAR pequeñas o domésticas)
25	4.1.2 Duración del periodo de recirculación ON	Válvula(s) electromagnética(s) o de otro tipo en los tubos de aire (PTAR medianas, pequeñas o domésticas) Dispositivo de recirculación (bomba(s) y ventilador(es) (PTAR grandes)
30	4.1.3 Duración del periodo de recirculación OFF	-
35	4.1.4 Duración del periodo de aireación ON	0,5-14 minutos
40	4.1.5 Duración de la aireación OFF	-
45	4.1.6 Número de ciclos de recirculación ON-OFF al día	0,5-7 minutos
50	4.2 Control de cantidades medidas	Durante la fase de aireación, 4 min.
55		0,5-7 minutos
60	3.2.1 Dispositivo controlado	Durante la fase de aireación 6 min. Durante la fase anóxica 60 min.
65	4.2.2 Duración del periodo de recirculación ON	0,5-14 minutos
		>80
		Medición en línea de la concentración de oxígeno y/o formas de nitrógeno, potencial de oxidación-reducción u otras cantidades, aumento o reducción automáticos de la duración del periodo de recirculación y del periodo de aireación en función de los valores críticos establecidos para las mediciones en el intervalo de periodos cortos de recirculación y aireación
		Válvula(s) electromagnética(s) o de otro tipo en los tubos de aire (PTAR medianas, pequeñas o domésticas) Dispositivo de recirculación (bomba(s)) (PTAR grandes)
		Dependiendo de las cantidades medidas, en intervalos de mín. 0,5 minutos y máx. 14 minutos
		Sistemas SBR - sin recirculación Sistemas de activación cíclica: Dependiendo de las cantidades medidas, reducción o ampliación de la fase de entrada-aireación 2,4 h

(continuación)

5		Estado de la técnica	Solución técnica presentada
10	4.2.2	Sistemas SBR - sin recirculación	Dependiendo de las cantidades medidas, en intervalos de mín. 0,5 minutos y máx. 7 minutos
	Duración del periodo de recirculación OFF	Sistemas de activación cíclica: Dependiendo de las cantidades medidas, reducción o ampliación de la fase de entrada-aireación 2,4 h	
15	4.2.3	Dependiendo de las cantidades medidas, reducción o ampliación de la fase anaerobia, anóxica y óxica	Dependiendo de las cantidades medidas, en intervalos de mín. 0,5 minutos y máx. 7 minutos
	Duración del periodo de aireación ON		
20	4.2.4	Dependiendo de las cantidades medidas, reducción o ampliación de la fase anaerobia, anóxica y óxica	Dependiendo de las cantidades medidas, en intervalos de mín. 0,5 minutos y máx. 14 minutos
	Duración del periodo de aireación OFF		
25	4.2.5	-	>80
	Número de ciclos de recirculación ON-OFF al día		

Tabla n.º 4: Tiempo de retención hidráulica en la zona anaerobia y ratio volumétrica entre la zona anaerobia, anóxica y óxica - comparación entre estado de la técnica y la solución técnica presentada

30		Estado de la técnica	Solución técnica presentada
	Tipo de sistema de activación	Continua	Continua
	Tiempo de retención hidráulica en la zona anaerobia	<3 horas	7-15 horas
35	Ratio volumétrica entre la zona anaerobia, anóxica y óxica	entre 1:2:4 y 1:2:8	entre 1:1:1 y 1:2:4

40 **[0040]** La ventaja de la solución tecnológica según este modelo de utilidad en comparación con el actual estado de la técnica es la mejora significativa de la efectividad del tratamiento de las aguas residuales en el reactor biológico, es decir, la mejora significativa de la efectividad de la eliminación del nitrógeno y fósforo en condiciones de gran fluctuación diaria, semanal y estacional de la carga de materia orgánica e hidráulica, a la vez que se reducen significativamente las demandas de energía y operativas.

45 **[0041]** Los signos de referencia sirven para una aclaración detallada de la solución tecnológica, y no limitan el ámbito de protección; de la misma forma, los ejemplos indicados tampoco son un límite para el ámbito de protección.

Resumen de ilustraciones y dibujos

50 **[0042]** La naturaleza de la solución tecnológica se explica en más detalle en los ejemplos de implementación, que se describen basándose en los dibujos adjuntos que representan lo siguiente:

Figura 1: Control de la recirculación y aireación - Ejemplo n.º 1

Figura 2: Periodo de aireación (aireación ON, recirculación OFF) - Ejemplo n.º 1

55 Figura 3: Periodo de recirculación (recirculación ON, aireación OFF) - Ejemplo n.º 1

Figura 4: Control de la recirculación y aireación - Ejemplo n.º 2

- Figura 5: Periodo inactivo (recirculación OFF, aireación OFF) - Ejemplo n.º 2
 Figura 6: Control de la recirculación y aireación - Ejemplo n.º 3
 Figura 7: Periodo de aireación (aireación ON, recirculación Ymín) - Ejemplo n.º 3
 Figura 8: Periodo de recirculación (recirculación Ymáx, aireación OFF) - Ejemplo n.º 3
 5 Figura 9: Periodo de aireación (aireación Ymáx, recirculación Ymín) - Ejemplo n.º 3
 Figura 10: Periodo de recirculación (recirculación Ymáx, aireación Ymín) - Ejemplo n.º 3
 Figura 11: Control de la recirculación y aireación - Ejemplo n.º 4
 Figura 12: Periodo de aireación (aireación ON, recirculación OFF) - Ejemplo n.º 4
 Figura 13: Periodo de recirculación (recirculación ON, aireación OFF) - Ejemplo n.º 4
 10 Figura 14: Control de la recirculación y aireación - Ejemplo n.º 5
 Figura 15: Control de la recirculación y aireación - Ejemplo n.º 6
 Figura 16: Distribución de la concentración de fósforo en la entrada y en la salida del reactor biológico 1 en las pruebas a largo plazo
 15 Figura 17: Distribución de la concentración de compuestos de nitrógeno en la entrada y en la salida del reactor biológico 1 en las pruebas a largo plazo

Ejemplos de realizaciones

Ejemplo n.º 1

20 [0043] El reactor biológico 1 para el tratamiento de aguas residuales utilizando un proceso de lodo activado con eliminación mejorada de nitrógeno y fósforo para soluciones individuales y descentralizadas, con una unidad para el control de la aireación, recirculación y mezclado de los MLSS, se muestra en el diagrama esquemático de las figuras 2, 3. La figura 1 muestra tres programas diarios fijos (programas diarios 1 a 3) integrados en la unidad de control 22. En la
 25 unidad de control 22 se pueden integrar más programas diarios fijos adaptados a la capacidad de los reactores biológicos 1 y a la capacidad de los ventiladores 20 y las unidades de recirculación 9, 14 del tipo utilizado en dispositivos domésticos de tratamiento de aguas residuales. Los factores decisivos para seleccionar el programa diario para el funcionamiento del reactor biológico 1, son la ratio de recirculación calculada y la cantidad calculada de aire utilizado para la aireación, mezclado y recirculación. La ratio de recirculación se calcula a partir del caudal máximo diseñado por hora y la capacidad
 30 máxima de las bombas de recirculación 9, 14, donde el programa diario estándar se selecciona de tal manera que la ratio de recirculación calculada sea aproximadamente de entre 3 y 4. La cantidad de aire requerida se calcula según las fórmulas de cálculo establecidas para la eliminación de contaminación orgánica teniendo en cuenta los efectos de la nitrificación y desnitrificación y del cálculo del volumen requerido para el funcionamiento de las bombas de aire comprimido 9, 14 u otros consumidores de aire no mostrados en los esquemas del reactor biológico 1; para la capacidad
 35 del ventilador 20, el programa diario debe cumplir la condición de suministrar la cantidad de aire que necesiten todos los periodos de aireación al día.

40 [0044] El tanque del reactor biológico 1 contiene la zona anaerobia 2, la zona anóxica 3, la zona óxica 4 y la zona de sedimentación final 5, estando las zonas anaerobia 2 y anóxica 3 separadas en la dirección del flujo mediante deflectores inferiores 6 y deflectores superiores 7 que forman un laberinto de flujo vertical 8.

[0045] Las aguas residuales que contienen impurezas gruesas fluyen hacia la parte inicial de la zona anaerobia 2 del laberinto de flujo vertical 8, donde tiene lugar el pretratamiento mecánico utilizando una cesta extraíble para las impurezas más grandes que no se muestra en la figura. La parte inicial de la zona anaerobia 2 está conectada a la salida de la recirculación interna de los MLSS desde la parte terminal de la zona anóxica 3 utilizando la unidad de recirculación —la bomba de aire comprimido 9—, que provoca recirculación interna y mezclado en el laberinto de flujo vertical 8. Las aguas residuales pretratadas mecánicamente pasan por el laberinto de flujo vertical 8, donde los deflectores inferiores 6 y los deflectores superiores 7 dirigen la corriente de MLSS hacia arriba y hacia abajo, es decir, que la dirección del flujo es principalmente vertical y la distancia entre las particiones se elige de manera que el flujo de MLSS entre las
 45 particiones siga predominantemente un régimen de flujo de pistón. Desde el laberinto de flujo vertical 8, los MLSS fluyen hacia la zona óxica 4. En la zona óxica 4, hay unos elementos de aireación de burbuja fina 13 en la parte inferior 12, que airean y mezclan los MLSS. Los MLSS fluyen desde la zona óxica 4 a la zona de sedimentación final 5, donde el lodo activado se separa del agua tratada y el agua tratada fluye hacia la salida del reactor biológico 1. Una parte del lodo activado del fondo de la zona de sedimentación final 5 se bombea hacia la zona óxica 4 como recirculación de lodo de retorno, y otra parte vuelve a la zona anóxica 3 del laberinto de flujo vertical 8 como recirculación de NOx utilizando el
 50 dispositivo de recirculación —la bomba de aire comprimido 14—. Dependiendo de la carga del reactor biológico 1, una

o dos veces al año se bombea y elimina el exceso de lodo cuando este alcanza una concentración elevada en el reactor biológico 1.

5 [0046] El aire a presión para la aireación de la zona óxica 4 y el funcionamiento de las bombas de aire comprimido 9, 14 lo suministra el ventilador 20 a través de una válvula solenoide de tres vías 21. El ventilador 20 sopla continuamente el aire a través de un tubo de aire 38 hacia la válvula solenoide de tres vías 21 que tiene un puerto de entrada 23 y dos puertos de salida 24, uno de ellos conectado al tubo de aire 25 y el otro al ramal 26 de aire para aireación. La válvula solenoide de tres vías 21 está controlada por la unidad de control 22 a través de una conexión por cable 39. La unidad de control 22 tiene programas diarios fijos según la figura 1 y envía la señal para cambiar la posición de la válvula solenoide de tres vías 21 de acuerdo con el programa de tiempos activado a través de la conexión por cable 39 que dirige el flujo de aire al tubo de aire 25 o al ramal 26 de aire para aireación. El tubo de aire 25 está conectado a una unidad de distribución de aire 27 que reparte el aire a los ramales 29, 30 de aire para recirculación y a las bombas de aire comprimido 9, 14. El ventilador 20 funciona continuamente y no está controlado por la unidad de control 22.

15 [0047] Parámetros básicos del tipo de reactor biológico 1 probado para 6 EH (equivalente habitante):

- Carga orgánica diaria nominal: 0,36 kg DBO5/d
- Caudal hidráulico diario nominal: 0,90 m3/d

20

[0048] Dimensiones del tipo de reactor biológico probado para 6 EH:

25	- Volumen de la zona anaerobia 2		480 litros
	- Volumen de la zona anóxica 3		480 litros
	- Volumen de la zona óxica 4		930 litros
	- Volumen de la zona de sedimentación final 5		260 litros
	- Tiempo de retención hidráulica en la zona anaerobia 2	TRH _{anaer}	12,8 horas
	- Tiempo de retención hidráulica en la zona anóxica 3	TRH _{anóx}	12,8 horas
30	- Tiempo de retención hidráulica en la zona óxica 4	TRH _{óx}	24,8 horas
	- Tiempo de retención del lodo en la zona anaerobia 2	TRL _{anaer}	20,8 d
	- Concentración media de lodo en el fondo <u>12</u> de la zona anaerobia <u>2</u>		22,5 kg/m ³
	- Concentración media de lodo en la superficie <u>11</u> de la zona anaerobia <u>2</u>		3,5 kg/m ³
35	- Capacidad de la bomba de aire comprimido <u>9</u> para recirculación interna de MLSS		22,4 L/min
	- Capacidad de la bomba de aire comprimido <u>14</u> para recirculación de lodo de retorno y de NOx		22,4 L/min
	- Capacidad del ventilador <u>20</u>		64 L/min
	- Programa óptimo seleccionado		«1»
	- Número de ciclos del programa «1»		288
40	- Duración del periodo de aireación		4 minutos
	- Duración del periodo de recirculación		1 minuto
	- Duración del ciclo		5 minutos
	- Duración total de la aireación al día		19,2 horas

45 [0049] Un método para el tratamiento de aguas residuales con lodo activado en el reactor biológico 1 usando el programa diario n.º 1 que se muestra en la figura 1 se caracteriza por los siguientes procesos:

- Durante un corto periodo de aireación (Fig. 2) de duración T₂ = 4 minutos se produce la aireación y mezclado de los MLSS en la zona óxica 4 cuando el aire a presión del ventilador 20 es redirigido a la zona óxica 4, a los elementos de aireación 13, mientras se detiene la recirculación y mezclado de MLSS cerrando el tubo de aire 25 que va a las bombas de aire comprimido de recirculación 9, 14. En la zona óxica 4 se produce un proceso de oxidación aerobia de las sustancias orgánicas por parte de bacterias heterótrofas aerobias, una rápida nitrificación bioquímica de los iones de amonio y de nitrito por parte de las bacterias quimioautótrofas aerobias y una acumulación de fósforo en las bacterias acumuladoras de fósforo utilizando energía de enlace químico de las sustancias de almacenamiento intracelular de poli-β-hidroxialcanoato (PHA) en presencia del oxígeno disuelto en los MLSS y mientras se realiza un mezclado completo usando el aire comprimido suministrado a través del elemento de aireación 13 en condiciones

55

óxicas. Las condiciones óxicas en la zona óxica 4 se caracterizan por un aumento del potencial de oxidación-reducción (POR) durante este periodo de entre -50 y +50 mV, aproximadamente, a entre +100 y +200 mV, aproximadamente, y de la concentración de oxígeno de 0,5 mg/L, aproximadamente, a más de 1,5 mg/L de O₂. Detener la recirculación y mezclado de los MLSS en el laberinto de flujo vertical 8 con zona anaerobia 2 y zona anóxica 3 favorece la estratificación vertical del manto de lodo, ya que las partículas más pesadas del agua residual no tratada y los flóculos de lodo activado más pesados de los MLSS, con una concentración media de lodo de aproximadamente 15-25 kg/m³, sedimentan en el fondo 12, mientras que las partículas y los flóculos del lodo activado más ligeros, con una concentración media de lodo de aproximadamente 2-5 kg/m³, se quedan más cerca de la superficie 11 del agua, creando así unas condiciones anaerobias óptimas con POR de entre -200 y -450 mV más cerca del fondo 12 de la zona anaerobia 2 y la zona anóxica 3, y POR de entre -50 y -150 mV más cerca de la superficie del agua 11. Más cerca del fondo 12 del laberinto de flujo vertical 8 se produce la hidrólisis y fermentación de las sustancias orgánicas biodegradables sedimentables y coloidales y de las partículas floculadas del lodo activado mediante bacterias fermentadoras, produciéndose in situ en el reactor biológico 1 sustrato fácilmente disponible en forma de ácido graso de cadena corta.

- Durante un corto periodo de recirculación (Fig. 3) de duración T1 = 1 minuto se detiene la aireación y mezclado de la zona óxica 4 redirigiendo el aire a presión del ventilador 20 a las bombas de aire comprimido de recirculación 9, 14, y se produce la recirculación y mezclado de los MLSS en la zona anaerobia 2 y en la zona anóxica 3. Las bombas de aire comprimido de recirculación 9, 14 se encargan de la recirculación de los MLSS: recirculación del lodo de retorno desde la zona de sedimentación final 5 a la zona óxica 4, recirculación de NO_x a la zona anóxica 3 y recirculación interna de los MLSS entre la zona anóxica 3 y la zona anaerobia 2 en el laberinto de flujo vertical 8. En la zona óxica 4, la concentración de oxígeno soluble se reduce por la asimilación de sustancias orgánicas, mientras que el oxígeno disuelto residual es consumido por las bacterias heterótrofas aerobias como sustrato aceptor de electrones. En la zona anóxica 3 se produce un rápido proceso de desnitrificación bioquímica a una elevada concentración a corto plazo de compuestos de nitrógeno oxidados de la recirculación de NO_x mediante reducción por parte de las bacterias heterótrofas desnitrificadoras en presencia de sustrato fácilmente disponible en forma de los ácidos grasos de cadena corta que se produjeron en el manto de lodo estratificado en el fondo 12 de las zonas anaerobia 2 y anóxica 3, y se lavan del manto de lodo estratificado en las zonas anaerobia 2 y anóxica 3 mediante recirculación interna de los MLSS junto con las bacterias fermentadoras, donde los MLSS recirculados mediante la recirculación interna de los MLSS que contienen bacterias fermentadoras inoculan bacterias fermentadoras a las aguas residuales sin tratar y a los MLSS de la recirculación de NO_x. La corta duración del periodo de recirculación no perturba significativamente la estratificación vertical dentro del laberinto de flujo vertical 8, pero proporciona una ratio de recirculación óptima de 3:1, que se logra gracias a los 22,4 L/min de capacidad de las bombas de aire comprimido 14 con una recirculación de NO_x de 288 ciclos al día y un caudal máximo de aguas residuales de Q_{m,h} = 90 L/h, y además proporciona una ratio de recirculación interna de los MLSS de 3:1 dentro del laberinto de flujo vertical 8, determinada por los 22,4 L/min de capacidad de las bombas de aire comprimido 9 con una recirculación interna de los MLSS dentro del laberinto de flujo vertical 8 de 288 ciclos al día y un caudal máximo de aguas residuales de Q_{m,h} = 90 L/h. En la zona anaerobia 2, las bacterias acumuladoras de fósforo realizan una rápida asimilación bioquímica de los ácidos grasos de cadena corta producidos en los compuestos de almacenamiento intracelular con energía de enlace químico.

[0050] En la tabla 5 se indican los resultados de las pruebas de efectividad a largo plazo del reactor biológico 1 utilizando el método de tratamiento de aguas residuales de acuerdo con esta solución tecnológica. La tabla indica que el dispositivo alcanza la concentración requerida N_{total} de menos de 10 mg/L y la concentración total de fósforo P_{total} de menos de 1 mg/L con una efectividad de eliminación de nitrógeno superior al 93 % y una efectividad de eliminación de fósforo superior al 93 %. El consumo de energía fue de 0,17 kWh/d, EH (EH: número de Equivalente Habitante conectado). En las figuras 16 y 17 se muestra la distribución de las concentraciones de compuestos de nitrógeno y fósforo en la entrada y en la salida del reactor biológico 1 en las pruebas a largo plazo.

Tabla 5

Parámetros	BOD5		Ntotal+		Ptotal	
	Concentración mg/L	386	Efectividad del tratamiento %	-	Concentración mg/L	77
Aguas residuales brutas						
Aguas residuales tratadas	5,9		98,5		5,3+	
+ para temperaturas de los MLSS ≥ 12 °C				93,1+	0,6	93,3
					9,0	-

Ejemplo n.º 2

[0051] Reactor biológico 1 conforme al ejemplo n.º 1; la unidad de control 22 utiliza la conexión por cable 39 para controlar la válvula solenoide de tres vías 21 y una conexión por cable 33 para controlar el ventilador 20 con control de la aireación y recirculación basado en tres periodos alternos (ver figura 4: programa diario n.º 4): el periodo de aireación conforme al ejemplo n.º 1, el periodo de recirculación y el periodo inactivo:

- Durante el periodo inactivo (Fig. 5), que dura $T_3 = 2$ minutos, el ventilador 20 se detiene y deja de suministrar aire a presión a las bombas de aire comprimido de recirculación 9, 14, y a los elementos de aireación 13. En la zona óxica 4, las bacterias heterótrofas aerobias asimilan los compuestos orgánicos reduciendo aún más la concentración de oxígeno disuelto, y se produce una desnitrificación dentro de las partículas floculadas de lodo activado, donde la concentración de oxígeno disuelto cae por debajo de 0,5 mg/L. Dentro de las secciones del laberinto de flujo vertical 8 con zona anaerobia 2 y zona anóxica 3 sigue inactiva la recirculación y mezclado de los MLSS y continúa la sedimentación y estratificación vertical adicional del manto de lodo.
- Durante el periodo de recirculación (Fig. 3), que dura $T = 2$ minutos, se reanuda el funcionamiento del ventilador 20 y el aire a presión es redirigido a las bombas de aire comprimido de recirculación 9, 14, que proporcionan recirculación y mezclado de los MLSS en la zona anaerobia 2 y en la zona anóxica 3, y, al mismo tiempo, se cierra el ramal 26 de aire para aireación. Introducir el periodo inactivo antes del periodo de recirculación reduce la concentración del oxígeno disuelto en la recirculación de NOx a la zona anóxica 3, lo que mejora la efectividad de la eliminación del nitrógeno y evita la entrada de nitrógeno nitrificado en la zona anaerobia 2, lo que mejora la efectividad de eliminación de fósforo. La corta duración del periodo de recirculación no perturba significativamente la estratificación principalmente vertical dentro del laberinto de flujo vertical 8, que se ha visto favorecida por el periodo inactivo anterior. El ventilador 20 funciona 18 horas al día. La introducción del periodo inactivo redujo el consumo de energía a 0,13 kWh/d, EH (EH: número de Equivalente Habitante conectado).

Ejemplo n.º 3

[0052] Reactor biológico 1 conforme al ejemplo n.º 1; la unidad de control 22 utiliza la conexión por cable 39 para controlar una válvula solenoide de tres vías 35 que en condiciones normales está cerrada, o utiliza la conexión por cable 33 para controlar el ventilador 20 con control de aireación y recirculación basado en la alternancia de dos o tres periodos (ver Fig. 6: programas diarios n.º 5 y 6); la posible disposición de la distribución del aire se muestra en las figuras 7, 8 o en las figuras 9, 10.

[0053] Las figuras 7, 8 muestran la disposición de la distribución del aire con el programa diario n.º 5 en la figura 6. El aire a presión para la aireación de la zona óxica 4 y para hacer funcionar las bombas de aire comprimido de recirculación 9, 14 es suministrado por el ventilador 20 a través del tubo de aire 38 y la unidad de distribución de aire 27, que distribuye el aire a los ramales 29, 30 de aire para recirculación, a las bombas de aire comprimido 9, 14, y a un ramal 26 de aire para aireación a los elementos de aireación 13. Normalmente, en el ramal de aire comprimido 26 para aireación se encuentra la válvula solenoide bidireccional cerrada 35 con el puerto de entrada 23 y el puerto de salida 24. Los ramales 29, 30 de aire para recirculación que conducen a las bombas de aire comprimido 9, 14 contienen válvulas 37 que controlan el caudal de aire. La válvula solenoide de dos vías 35 está controlada por la unidad de control 22 a través de la conexión por cable 39. La unidad de control 22 tiene integrados unos programas diarios fijos de acuerdo con las figuras 1 o 2, y, en función del programa seleccionado, envía una señal que abre periódicamente durante un corto periodo la válvula solenoide de dos vías 35, donde el aire a presión comienza a fluir hacia el ramal 26 de aire para aireación al mismo tiempo que cae la presión en los ramales 29, 30 de aire para recirculación y, dependiendo del ajuste de las válvulas 37, solo una cantidad mínima de aire llega a las bombas de aire comprimido 9, 14 bajo una presión de aire reducida, lo que reduce la intensidad de recirculación $Y_{mín}$ y de mezclado de los MLSS en las zonas anaerobia 2 y anóxica 3 a aproximadamente el 20 % de la potencia de salida total de las bombas de aire comprimido de recirculación 9 y 14, manteniéndose el gradiente de concentración entre la concentración de MLSS en el fondo 12 y en la superficie 11.

[0054] Cuando la válvula solenoide de dos vías se cierra durante un corto periodo, el aire solo fluye a los ramales 29, 30 de aire para recirculación para alimentar las bombas de aire comprimido 9, 14 para recircular los MLSS con la máxima intensidad $Y_{máx}$, que es igual a la potencia máxima de las bombas de aire comprimido para recirculación 9 y 14. El ventilador 20 puede funcionar de forma continua según el ejemplo n.º 1, o de forma discontinua según el ejemplo n.º 2 con periodo inactivo.

[0055] Las figuras 9, 10 muestran la disposición de la distribución del aire con el programa diario n.º 6 que se muestra en la figura 6. La válvula solenoide de dos vías 35 está conectada a un tubo de aire de derivación 36 a través del cual también es posible suministrar el aire al ramal 26 de aire para aireación si la válvula solenoide 35 está abierta durante el corto periodo de aireación. Las válvulas 37 están dispuestas de manera que durante el periodo de aireación solo una cantidad mínima del aire pasa a los ramales 29, 30 de aire para recirculación, lo que reduce la intensidad de la recirculación Ymín y del mezclado de los MLSS en las zonas anaerobia 2 y anóxica 3 a aproximadamente el 20 % de la potencia de salida total de las bombas de aire comprimido de recirculación 9 y 14, o que durante el periodo de recirculación solo una cantidad mínima de aire pasa al ramal 26 de aire para aireación, lo que reduce la intensidad de la aireación Ymín y de mezclado de los MLSS en la zona óxica 4 a aproximadamente el 20 % de la potencia de salida total del ventilador 20, cumpliéndose la condición de baja intensidad de recirculación y de mezclado de los MLSS durante el periodo de aireación o la baja intensidad de aireación y de mezclado de los MLSS durante el periodo de recirculación.

Ejemplo n.º 4

[0056] El reactor biológico 1 de acuerdo con el ejemplo n.º 1, con recirculación de lodo de retorno desde la zona de sedimentación final 5 a la zona óxica 4, recirculación de NOx desde la zona óxica 4 a la zona anóxica 3, recirculación interna de MLSS desde la zona anóxica 3 a la zona anaerobia 2; el diagrama del reactor biológico 1 con la disposición de la distribución de aire se muestra en las figuras 12 y 13.

[0057] El lodo activado se bombea desde el fondo de la zona de sedimentación final 5 a la zona óxica 4 como lodo de retorno utilizando la unidad de recirculación —una bomba de aire comprimido 15—. De la recirculación de NOx se encarga la unidad de recirculación —una bomba de aire comprimido 16—, que lo envía desde la zona óxica 4 a la zona anóxica 3 del laberinto de flujo vertical 8. El exceso de lodo con un alto contenido de fósforo se bombea a un tanque de lodo aireado que no se muestra en las figuras 12 y 13. El aire a presión para la aireación de la zona óxica 4 y para mover las bombas de aire comprimido 9, 15, 16 es proporcionado por el ventilador 20 controlado por un convertidor de frecuencia 34 para variar gradualmente la frecuencia de giro del motor eléctrico del ventilador 20. El ventilador 20 está conectado al tubo de aire 38 y a la unidad de distribución de aire 27 que distribuye el aire a presión al ramal 26 de aire para aireación, al ramal 31 de aire para recirculación del lodo de retorno, al ramal 32 de aire para recirculación de NOx y al ramal 29 de aire para recirculación interna de los MLSS. Cada ramal (29, 31, 32) de aire para recirculación contiene la válvula solenoide de dos vías 35 controlada por el panel de control 22 a través de la conexión por cable 39 que también controla el funcionamiento del convertidor de frecuencia 34 a través de la conexión por cable 40. El convertidor de frecuencia 34 cambia la frecuencia del motor eléctrico del ventilador 20 para que el arranque y la parada del ventilador 20 sean suaves. Las válvulas solenoides de dos vías 35 se controlan utilizando la unidad de control 22 con un algoritmo integral para cambiar los programas fijos con periodos de aireación, recirculación e inactividad, como los programas diarios n.º 7 o n.º 8 de la figura 11. El reactor biológico 1 contiene sondas 42, 43 para medir el potencial de oxidación-reducción y el nitrógeno en forma de nitrato con las salidas 44 conectadas a la unidad de control 22. El algoritmo integral puede estar basado en la optimización de los valores del potencial redox en la zona anaerobia 2, en la zona anóxica 3 y en la zona óxica 4, y de las concentraciones objetivo de nitrógeno en forma de nitrato en la zona óxica 4, pero es posible utilizar otras sondas de medición o combinar los resultados de las sondas con las mediciones del caudal de aguas residuales y de MLSS recirculados. Según el algoritmo integral, las válvulas solenoides de dos vías 35 permiten que el aire a presión entre alternativamente en el ramal 26 de aire para aireación y en los ramales 29, 31, 32 de aire para recirculación. Del mismo modo, los programas diarios pueden tener distintas duraciones para los cortos periodos de aireación, recirculación y mezclado de MLSS.

[0058] El método de tratamiento de aguas residuales utilizando lodo activado se caracteriza por los siguientes procesos:

- Durante el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales con el programa diario n.º 7 según la figura 11 se produce un aumento de la carga de materia orgánica. Esto provoca una caída del potencial redox en la zona óxica 4, que es interpretada por el algoritmo de la unidad de control 22, que selecciona automáticamente otro programa diario fijo con periodos de aireación más largos y periodos de recirculación más cortos, o un programa con un periodo inactivo más corto. La unidad de control también evalúa la medición de la sonda redox en la zona anaerobia 2 y de la sonda de nitrato en la zona óxica 4 y evalúa la evolución en el tiempo de los parámetros medidos; basándose en las tendencias observadas selecciona otro programa diario con periodos de aireación, recirculación e inactividad más cortos o más largos.
- Cuando se reduce la carga de la planta de tratamiento, por ejemplo, durante la noche, aumenta el potencial redox

en la zona óxica 4, que es evaluado por el algoritmo de la unidad de control 22 que selecciona automáticamente otro programa diario fijo con periodos de aireación más cortos y periodos de recirculación más largos, o un programa con un periodo inactivo más largo. La unidad de control también evalúa la medición de la sonda redox en la zona anaerobia 2 y de la sonda de nitrato en la zona óxica 4 y evalúa la evolución en el tiempo de los parámetros medidos. Basándose en las tendencias observadas selecciona otro programa diario con periodos de aireación, recirculación e inactividad más cortos o más largos.

- Durante un periodo de aireación corto (aireación ON, recirculación OFF, figura 12), que dura T2 = 4 minutos, en la zona óxica 4 se producen la aireación y el mezclado de MLSS al abrirse la válvula solenoide del ramal 26 de aire para aireación, al tiempo que se detiene la recirculación y el mezclado en la zona anaerobia 2 y en la zona anóxica 3 al cerrarse las válvulas solenoides 35 en los ramales 29, 31, 32 de aire para recirculación. En la zona óxica 4 se produce un proceso de oxidación aerobia de las sustancias orgánicas por parte de las bacterias heterótrofas aerobias, una rápida nitrificación bioquímica de los iones de amonio y de nitrito por parte de las bacterias quimioautótrofas aerobias y una acumulación de fósforo en las bacterias acumuladoras de fósforo utilizando energía de enlace químico de las sustancias de almacenamiento intracelular de PHA en presencia del oxígeno disuelto en los MLSS y mientras se realiza un mezclado completo usando el aire comprimido suministrado a través del elemento de aireación 13 en condiciones óxicas. Durante este periodo, las condiciones óxicas en la zona óxica 4 se caracterizan por un aumento del potencial de oxidación-reducción (POR) de entre -50 y +50 mV, aproximadamente, a entre +100 y +200 mV, aproximadamente, y de la concentración de oxígeno de 0,5 mg/L, aproximadamente, a más de 1,5 mg/L de O₂. La interrupción simultánea de la recirculación y mezclado de los MLSS en el laberinto de flujo vertical 8 con zona anaerobia 2 y zona anóxica 3 favorece la estratificación vertical del manto de lodo haciendo que las partículas más pesadas del agua residual no tratada y los flóculos de lodo activado más pesados de los MLSS, con una concentración media del lodo de aproximadamente 15-25 kg/m³, sedimenten en el fondo 12, y las partículas y los flóculos del lodo activado más ligeros, con una concentración media de lodo de aproximadamente 2-5 kg/m³, queden más cerca de la superficie 11 del agua, creando así unas condiciones anaerobias óptimas caracterizadas por un POR de entre -200 y -450 mV más cerca del fondo 12 de la zona anaerobia 2 y la zona anóxica 3, y un POR de entre -50 y -150 mV más cerca de la superficie del agua 11. Más cerca del fondo 12 del laberinto de flujo vertical 8 se produce la hidrólisis y fermentación de las sustancias orgánicas biodegradables sedimentables y coloidales y de las partículas floculadas del lodo activado utilizando bacterias fermentadoras, produciéndose in situ en el reactor biológico 1 el sustrato fácilmente disponible en forma de ácido graso de cadena corta.
- Durante el periodo inactivo (recirculación OFF, aireación OFF), que dura T3 = 2 minutos, se reduce gradualmente la intensidad de la aireación usando el convertidor de frecuencia 34 mientras se abre la válvula solenoide 35 en el ramal 26 de aire para aireación, y la recirculación de MLSS y las válvulas solenoides 35 de los ramales 29, 31, 32 de aire para recirculación siguen desconectadas. En la zona óxica 4 continúa la caída de la concentración de oxígeno disuelto debido a asimilación de los compuestos orgánicos por parte de las bacterias heterótrofas aerobias y la desnitrificación simultánea en las partículas floculadas de lodo activado, lo que reduce la concentración del oxígeno disuelto por debajo de 0,5 mg/L. Dentro de las secciones del laberinto de flujo vertical 8 con zona anaerobia 2 y zona anóxica 3 sigue inactiva la recirculación y mezclado de los MLSS y continúa la sedimentación y estratificación vertical adicional del manto de lodo.
- Durante un corto periodo de recirculación (recirculación ON, aireación OFF, Fig. 13), que dura T1 = 2 minutos, se produce la recirculación de los MLSS debido al arranque gradual del ventilador 20 usando el convertidor de frecuencia 34, cuando el aire a presión es redirigido cuando se cierra la válvula solenoide 35 del ramal 26 de aire para aireación y se abren los ramales 29, 31, 32 de aire para recirculación. Las unidades de recirculación 9, 15, 16 se encargan de la recirculación de los MLSS: recirculación del lodo de retorno desde la zona de sedimentación final 5 a la zona óxica 4, recirculación de NO_x de la zona óxica 4 a la zona anóxica 3 y recirculación interna de los MLSS de la zona anóxica 3 a la zona anaerobia 2 en el laberinto de flujo vertical 8. En la zona óxica 4 se reduce la concentración del oxígeno soluble por la asimilación de las sustancias orgánicas; mientras el oxígeno residual disuelto es consumido por las bacterias heterótrofas aerobias como sustrato aceptor de electrones y, después de agotarse el oxígeno disuelto, principalmente en las partículas floculadas de lodo activado, se produce una desnitrificación simultánea. En la zona anóxica 3 se produce un rápido proceso de desnitrificación bioquímica a una elevada concentración a corto plazo de compuestos de nitrógeno oxidados mediante reducción por parte de las bacterias heterótrofas desnitrificadoras en presencia de sustrato fácilmente disponible en forma de ácidos grasos de cadena corta producidos en el manto de lodo estratificado en el fondo 12 de la zona anaerobia 2 y lavados del manto de lodo estratificado en la zona anaerobia junto con las bacterias fermentadoras mediante recirculación interna de los MLSS, donde los MLSS recirculados mediante la recirculación interna de los MLSS que contienen bacterias fermentadoras inoculan bacterias fermentadoras a las aguas residuales sin tratar y a los MLSS de la recirculación de NO_x. En la zona anaerobia 2, las bacterias acumuladoras de fósforo realizan una rápida asimilación

bioquímica de los ácidos grasos de cadena corta creando energía de enlace químico en forma de compuestos de almacenamiento intracelular.

Ejemplo n.º 5

5

[0059] Reducir la intensidad de recirculación y mezclado o de aireación y mezclado durante periodos cortos puede representar alrededor del 5 % al 49 % de la potencia máxima de salida de la unidad de recirculación o del ventilador; el desarrollo de la aireación y de la recirculación se muestra en la figura 14, programas diarios n.º 8 y 9.

10

Ejemplo n.º 6

15

[0060] En vez de bombas de aire comprimido 9, 14, 15, 16, la recirculación y mezclado de los MLSS pueden hacerse mediante las bombas de recirculación y mezcladores equipados con convertidores de frecuencia u otras unidades que aumenten y reduzcan suavemente las frecuencias de giro de los motores eléctricos utilizados por las bombas y mezcladores, especialmente en plantas de tratamiento de aguas residuales de mayor capacidad. El posible desarrollo de la aireación y de la recirculación se muestra en la figura 15, programas diarios n.º 10 y 11. La alternancia de periodos cortos de recirculación, mezclado y aireación se consigue mediante el control independiente de los ventiladores, las bombas de recirculación y los mezcladores.

20

Ejemplo n.º 7

25

[0061] En lugar de utilizar válvulas solenoides 21, 35 para alternar automáticamente los periodos cortos de apertura y cierre de los ramales 26 de aire para la aireación y de los ramales 29, 31, 32 de aire para recirculación, se pueden usar otras válvulas con actuadores eléctricos, neumáticos o hidráulicos. En lugar de cambiadores de frecuencia 34, se pueden usar otros dispositivos para cambiar gradualmente las velocidades de giro de los motores eléctricos del ventilador y de la unidad de recirculación, por ejemplo, un arrancador suave o similar.

Ejemplo n.º 8

30

[0062] Los dispositivos de medición 42, 43 para medir los parámetros en línea también pueden incluir, además de las sondas para medir el potencial de oxidación-reducción y las sondas de nitrato, sondas para medir otros compuestos de nitrógeno, fósforo, oxígeno, unidades para medir el caudal de las aguas residuales y flujos de recirculación de MLSS, etc.

35

Aplicabilidad industrial

40

[0063] El método y el dispositivo para el tratamiento de aguas residuales utilizando un proceso de lodos activados con eliminación mejorada de nitrógeno y fósforo según la presente invención se pueden aplicar en plantas de tratamiento de aguas residuales, no solo para pequeñas fuentes aisladas de contaminación, sino también para soluciones descentralizadas de tratamiento de aguas residuales en regiones donde la conexión al sistema de alcantarillado público sería una solución excesivamente costosa. La solución según la presente invención permite la supervisión y el control remotos del proceso de limpieza en las plantas de tratamiento de aguas residuales individuales, y la calidad del agua tratada cumple los estrictos requisitos de eliminación de nitrógeno y fósforo de las aguas residuales, por lo que es posible utilizar estos dispositivos también para la descarga del agua tratada a las aguas superficiales en regiones sensibles amenazadas por la eutrofización de las aguas superficiales, para la descarga en aguas superficiales aptas para el baño y usos recreativos, para la descarga en aguas subterráneas; además, el agua tratada puede usarse también para la cisterna de los inodoros o como agua de servicio. El método de control de la aireación y recirculación del licor mezcla no está limitado solo a las plantas de tratamiento de aguas residuales individuales o pequeñas y a las aguas negras y aguas residuales municipales, sino que también se puede usar en plantas de tratamiento de aguas residuales de tamaño medio y grande con una capacidad de aproximadamente 50.000 equivalentes habitante y para las aguas residuales biodegradables de la industria agroalimentaria.

55

REIVINDICACIONES

1. Un método para el tratamiento de aguas residuales con eliminación mejorada de nitrógeno y fósforo mediante un proceso de lodos activados en un dispositivo para el tratamiento de aguas residuales que comprende un reactor biológico (1) que incluye una zona anaerobia (2), una zona anóxica (3), una zona óxica (4) y una zona de sedimentación final (5), donde la zona anaerobia (2) y la zona anóxica están separadas por deflectores inferiores (6) y superiores (7) dispuestos de manera que la dirección del flujo del licor mezcla sea predominantemente en régimen de flujo de pistón y predominantemente vertical, con bombas de recirculación que proporcionan recirculación de lodo de retorno desde la zona de sedimentación final (5) a la zona óxica (4), recirculación de óxidos de nitrógeno (NOx) desde la zona óxica (4) o la zona de sedimentación final (5) a la zona anóxica (3), y recirculación interna de sólidos en suspensión en el licor mezcla (MLSS) desde la zona anóxica (3) a la zona anaerobia (2), método que incluye control de la aireación, recirculación y mezclado del licor mezcla mediante funcionamiento intermitente de tal manera que se alternan cortos periodos de aireación con cortos periodos de recirculación, y donde un corto periodo de aireación y un corto periodo de recirculación forman un ciclo, en el que:

- dentro de un ciclo, el periodo de aireación dura entre 0,5 y 7 minutos, óptimamente entre 3 y 5 minutos, y el periodo de recirculación dura entre 0,5 y 14 minutos, óptimamente entre 1 y 5 minutos;

- durante el corto periodo de aireación se produce la aireación y mezclado del licor mezcla en la zona óxica (4) al mismo tiempo que se detiene o reduce la intensidad de la recirculación y mezclado del licor mezcla en las zonas anaerobia (2) y anóxica (3) para mantener un gradiente de concentración de licor mezcla entre el fondo (12) y la superficie (11) en la zona óxica (4); en presencia del oxígeno disuelto en el licor mezcla, que es agitado completamente por el aire a presión bajo condiciones óxicas, se produce un proceso de oxidación aerobia de las sustancias orgánicas por parte de bacterias heterótrofas aerobias, un rápido proceso bioquímico de nitrificación de los iones de amonio y de nitrito por parte de las bacterias quimioautótrofas aerobias y una acumulación de fósforo en las bacterias acumuladoras de fósforo utilizando energía de enlace químico de las sustancias de almacenamiento intracelular; simultáneamente, en las zonas anaerobia (2) y anóxica (3) se produce la sedimentación de las partículas más pesadas del agua residual no tratada y de las partículas floculadas de lodo activado más pesadas, en el que se crean condiciones anaerobias más cerca del fondo (12) de las zonas anaerobia (2) y anóxica (3) bajo las cuales tiene lugar un proceso de hidrólisis y fermentación de las sustancias orgánicas biodegradables sedimentarias y coloidales y del lodo activado por parte de las bacterias fermentadoras, en el que se produce in situ en el reactor biológico (1) sustrato fácilmente disponible en forma de ácidos grasos inferiores;

- durante el corto periodo de recirculación, se detiene o se reduce la intensidad de la aireación y mezclado del licor mezcla en la zona óxica (4) para que la concentración final del oxígeno disuelto en el licor mezcla no exceda de 0,5 mg/L y, simultáneamente, en las zonas anaerobia (2) y anóxica (3) tiene lugar la recirculación y mezclado del licor mezcla; en la zona óxica (4), la concentración de oxígeno disuelto disminuye por la asimilación o desnitrificación simultánea en las partículas floculadas del licor mezcla; en la zona anóxica (3) se produce un rápido proceso de desnitrificación bioquímica, en el que las formas oxidadas de nitrógeno con una elevada concentración a corto plazo debido a la recirculación de los óxidos de nitrógeno (NOx) son reducidas utilizando bacterias heterótrofas desnitrificadoras en presencia del sustrato fácilmente disponible en forma de ácidos grasos inferiores que se han producido en una capa estratificada del manto de lodo en el fondo (12) de las zonas anaerobia (2) y anóxica (3), y que se lavan de dicha capa estratificada de lodo por la recirculación interna de los sólidos en suspensión del licor mezcla (MLSS) junto con las bacterias fermentadoras, en el que el licor mezcla recirculado mediante la recirculación interna de los MLSS que contiene bacterias fermentadoras inculca bacterias fermentadoras en el agua no tratada y en el licor mezcla de la recirculación de óxidos de nitrógeno (NOx), y en la zona anaerobia (2) se produce una rápida reacción bioquímica de asimilación de los ácidos grasos inferiores por parte de las bacterias acumuladoras de fósforo que producen energía de enlace químico en forma de materiales de almacenamiento intracelular.

2. El método de tratamiento de aguas residuales según la reivindicación 1, **caracterizado por que** el número de ciclos al día es de entre 80 y 320, óptimamente entre 160 y 310 al día.

3. El método de tratamiento de aguas residuales según cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado por que** un ciclo incluye también al menos un corto periodo inactivo después del periodo de aireación durante el cual no hay ni recirculación ni mezclado del licor mezcla en las zonas anaerobia (2) y anóxica (3), ni aireación y mezclado del licor mezcla en la zona óxica (4), en el que el corto periodo inactivo dura entre 0,5 y 15 minutos, óptimamente

entre 2 y 6 minutos.

- 5
4. El método de tratamiento de aguas residuales según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** la ratio volumétrica entre la zona anaerobia (2), la zona anóxica (3) y la zona óxica (4) es de entre 1:1:1 y 1:2:4, óptimamente entre 1:1:1,5 y 1:1:2, y/o el tiempo de retención hidráulica en la zona anaerobia (2) es de entre 7 y 15 horas, óptimamente de entre 9 y 13 horas.
- 10
5. Un dispositivo para el tratamiento de aguas residuales con el proceso de lodo activado con una mayor eliminación de nitrógeno y fósforo por el método de tratamiento descrito en las reivindicaciones 1 a 4 que comprende un reactor biológico (1) que incluye la zona anaerobia (2), la zona anóxica (3), la zona óxica (4) y la zona de sedimentación final (5), donde las zonas anaerobia (2) y anóxica (3) están separadas mediante deflectores inferiores (6) y superiores (7) dispuestos de tal manera que la dirección de flujo del licor mezcla es predominantemente en régimen de flujo de pistón y predominantemente en vertical, con bombas de recirculación que proporcionan recirculación del lodo de retorno desde la zona de sedimentación final (5) a la zona óxica (4), recirculación de óxidos de nitrógeno (NOx) desde la zona óxica (4) o zona de sedimentación final (5) a la zona anóxica (3), recirculación interna de los sólidos en suspensión en el licor mezcla (MLSS) desde la zona anóxica (3) a la zona anaerobia (2), **caracterizado por que** comprende una unidad de control (22) equipada con al menos un programa diario con cortos periodos de aireación y de circulación de duración fija y, opcionalmente, también cortos periodos inactivos dentro de un ciclo, o equipada con al menos un algoritmo para convertir la duración de los cortos periodos de aireación, de recirculación y, opcionalmente, también de inactividad, dentro de un ciclo en función de las cantidades medidas por medio de dispositivos de medición en línea (42, 43), en el que los cortos periodos de aireación duran entre 0,5 y 7 minutos, y los cortos periodos de recirculación duran entre 0,5 y 14 minutos, y en el que la unidad de control está conectada al menos a una válvula (21, 35) que está controlada por la unidad de control y está colocada en al menos un ramal de aire (26, 29, 30, 31, 32) para el aire a presión.
- 15
- 20
- 25
6. El dispositivo para tratamiento de aguas residuales según la reivindicación 5, **caracterizado por que** la válvula (21, 35) es una válvula de tres vías (21) o una válvula de dos vías (35), y dicha válvula permite redireccionar el aire a presión alternativamente al ramal (26) de aire para aireación y a los ramales (29, 30, 31, 32) de aire para recirculación, o aumentar el flujo de aire hacia el ramal (26) de aire para aireación mientras reduce el flujo de aire hacia los ramales de aire de recirculación (29, 30, 31, 32), y viceversa.
- 30
7. Dispositivo para el tratamiento de aguas residuales con el proceso de lodos activados con mayor eliminación de nitrógeno y fósforo según cualquiera de las reivindicaciones 5 y 6, **caracterizado por que** la válvula (21, 35) es eléctrica, electromagnética, hidráulica o neumática.
- 35

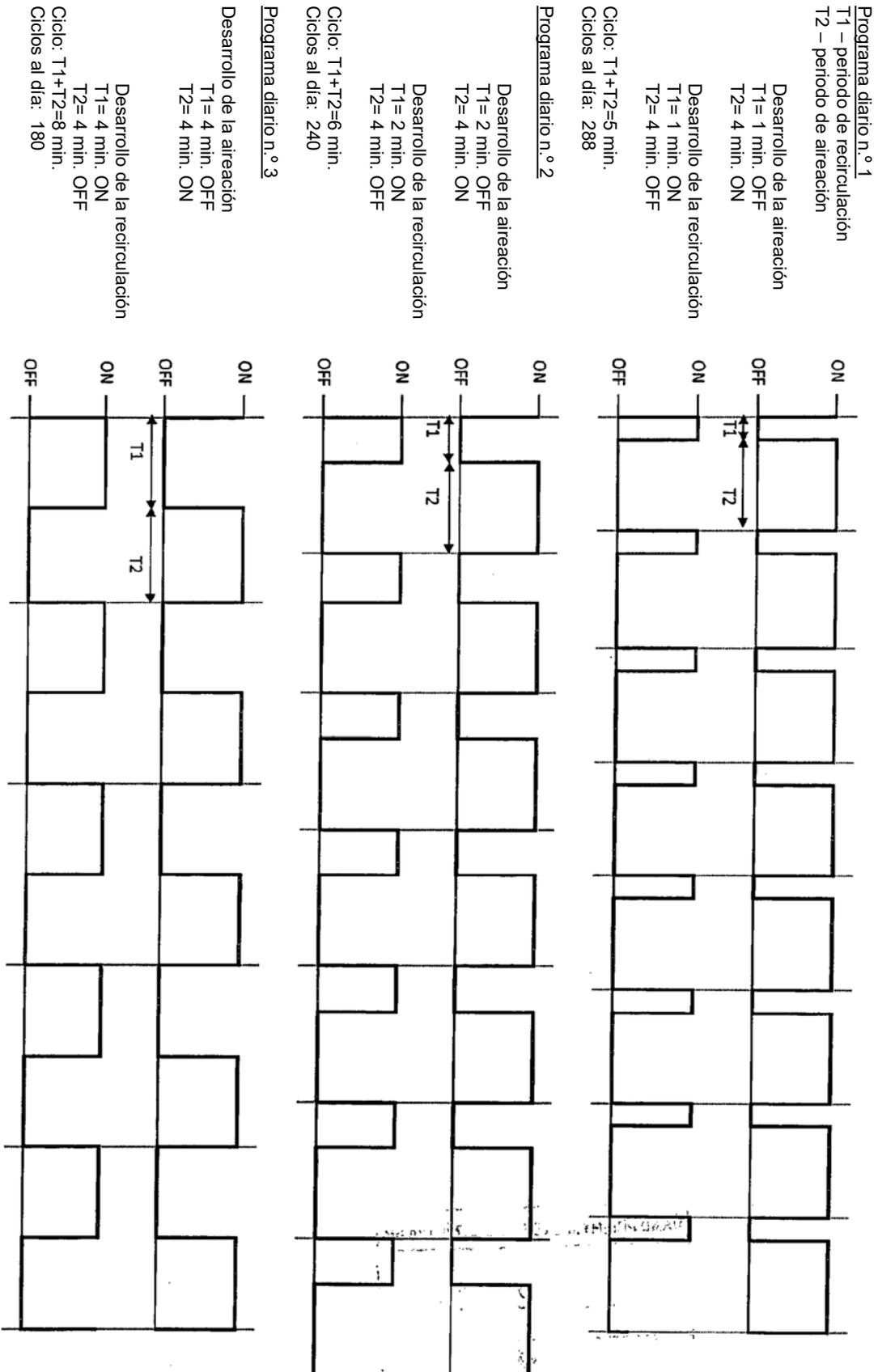


Fig.1

Programa diario n.º 4
 T1 – periodo de recirculación
 T2 – periodo de aireación
 T3 – periodo inactivo

Desarrollo de la aireación
 T1 = 2 min. OFF
 T2 = 4 min. ON
 T3 = 2 min. OFF

Desarrollo de la recirculación
 T1 = 2 min. ON
 T2 = 4 min. OFF
 T3 = 2 min. OFF

Ciclo: T1+T2+T3=8 min.
 Ciclos al día: 180

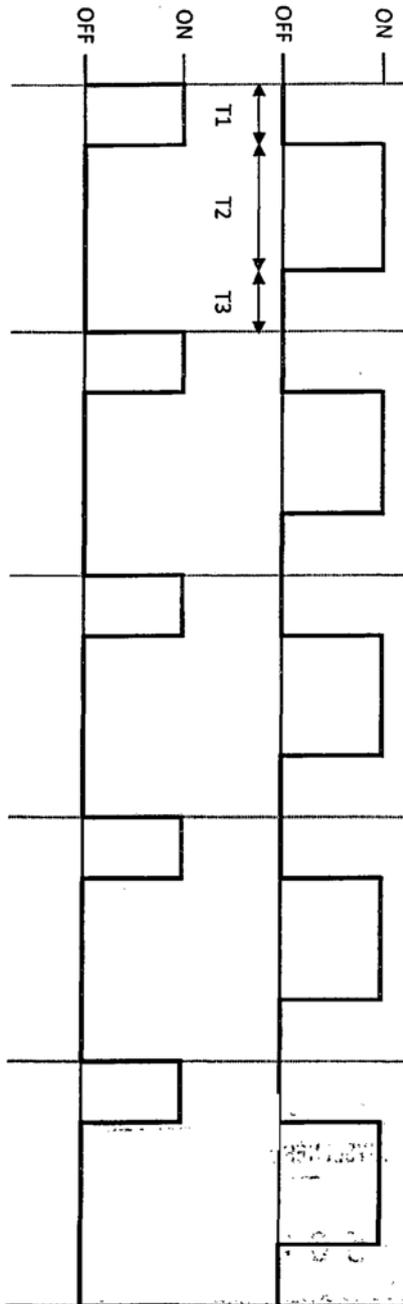


Fig.4

Fig.5

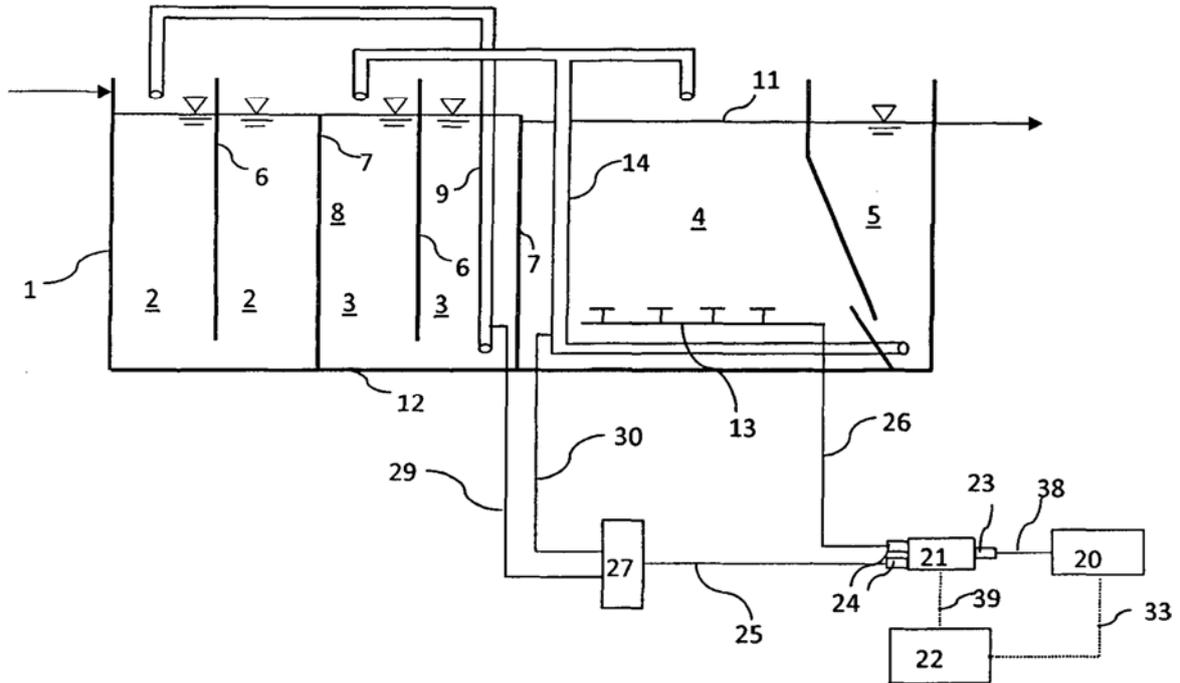


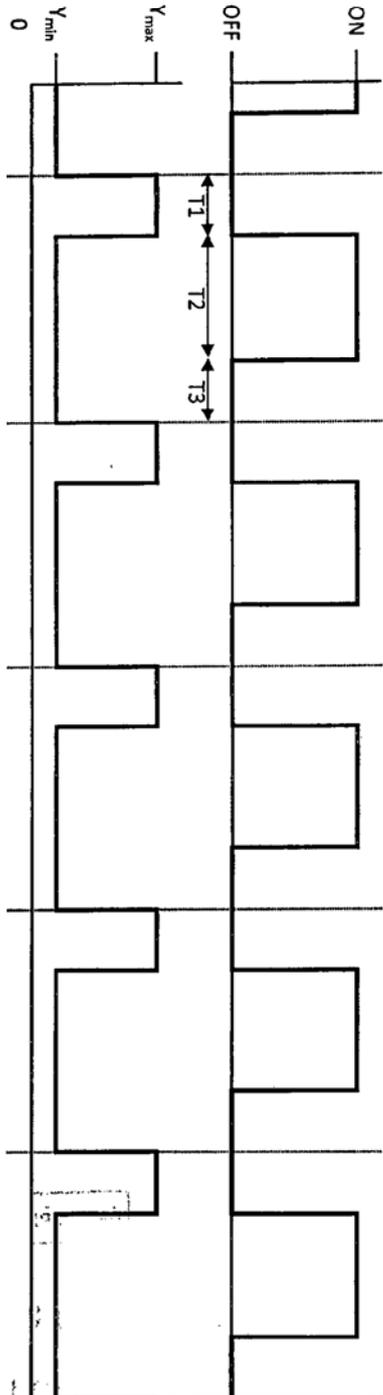
Fig.6

Programa diario n.º 5
 T1 – periodo de recirculación
 T2 – periodo de aireación
 T3 – periodo inactivo

Desarrollo de la aireación
 T1 = 2 min. OFF
 T2 = 4 min. ON
 T3 = 2 min. OFF

Desarrollo de la recirculación
 T1 = 2 min. Ymáx
 T2 = 4 min. Ymín
 T3 = 2 min. Ymín

Ciclo: T1+T2+T3=8 min.
 Ciclos al día: 180



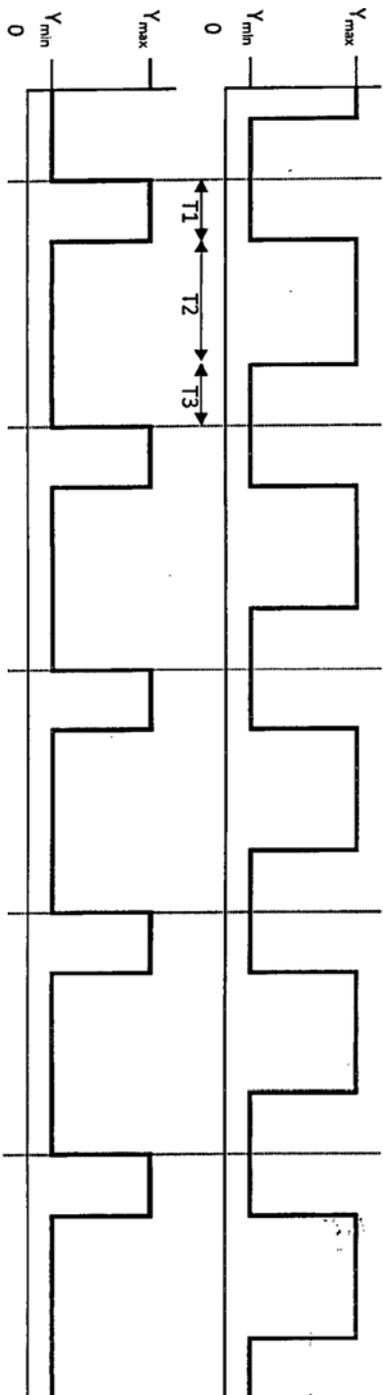
Ymín = 20 % de la potencia de salida total del dispositivo de recirculación
 Ymáx = 100 % de la potencia de salida total del dispositivo de recirculación

Programa diario n.º 6
 T1 – periodo de recirculación
 T2 – periodo de aireación
 T3 – periodo inactivo

Desarrollo de la aireación
 T1 = 2 min. Ymín
 T2 = 4 min. Ymáx
 T3 = 2 min. Ymín

Desarrollo de la recirculación
 T1 = 2 min. Ymáx
 T2 = 4 min. Ymín
 T3 = 2 min. Ymín

Ciclo: T1+T2+T3=8 min.
 Ciclos al día: 180



Ymín = 20 % de la potencia de salida total del dispositivo de recirculación
 Ymáx = 100 % de la potencia de salida total del dispositivo de recirculación

Fig.7

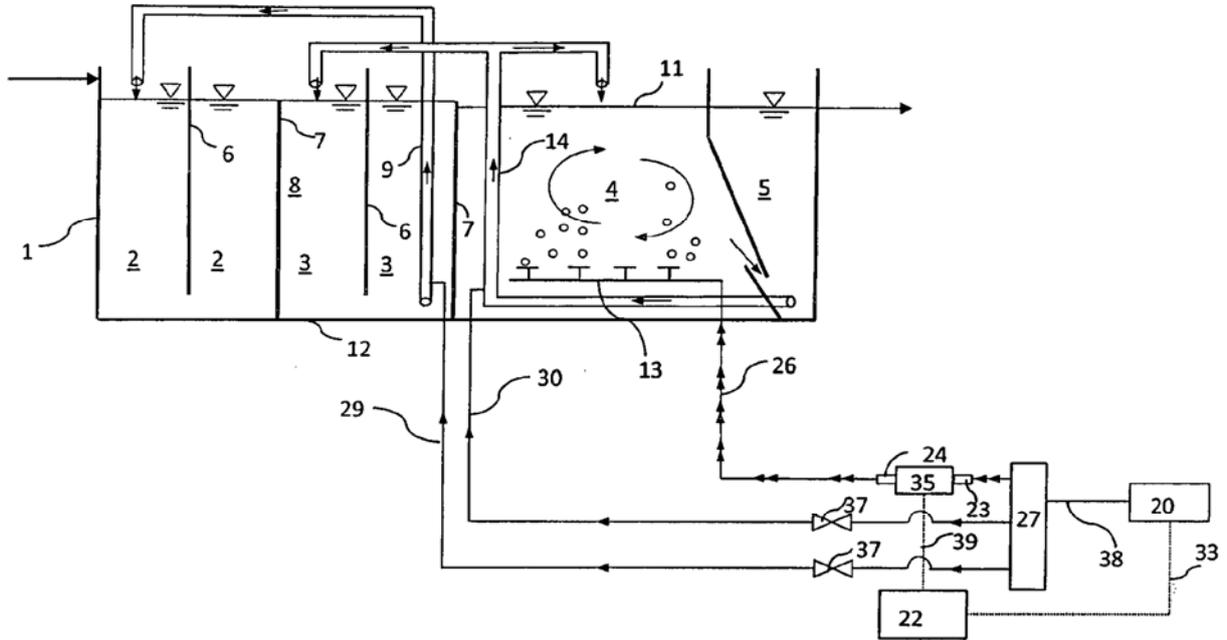


Fig.8

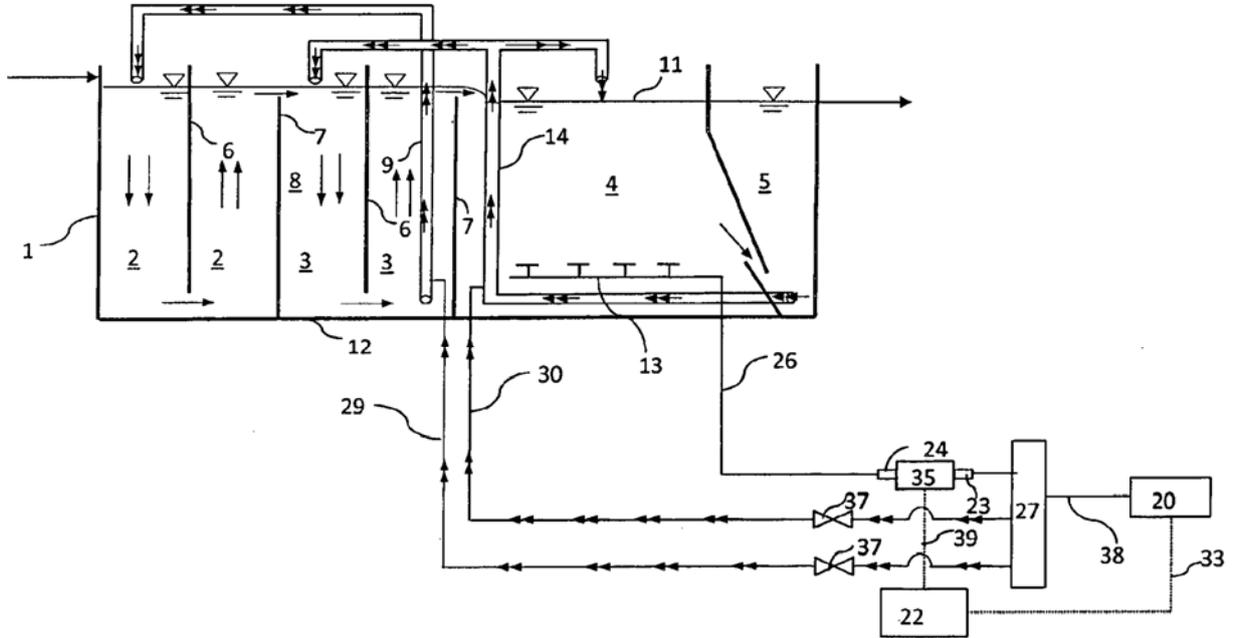


Fig.9

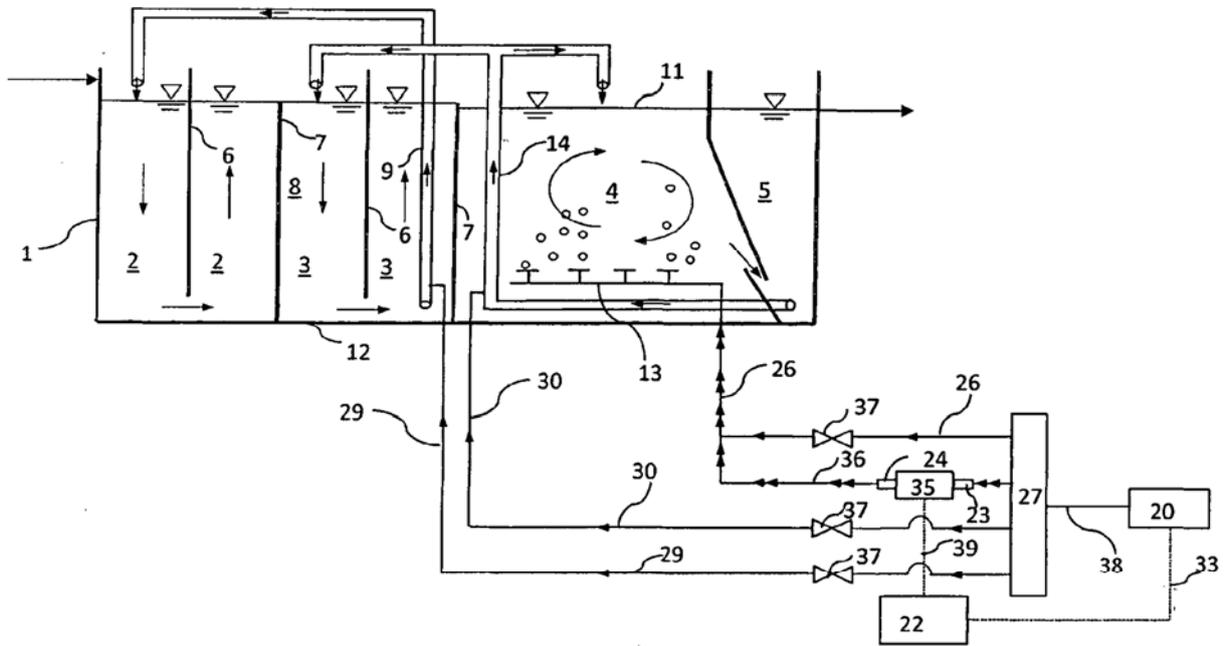
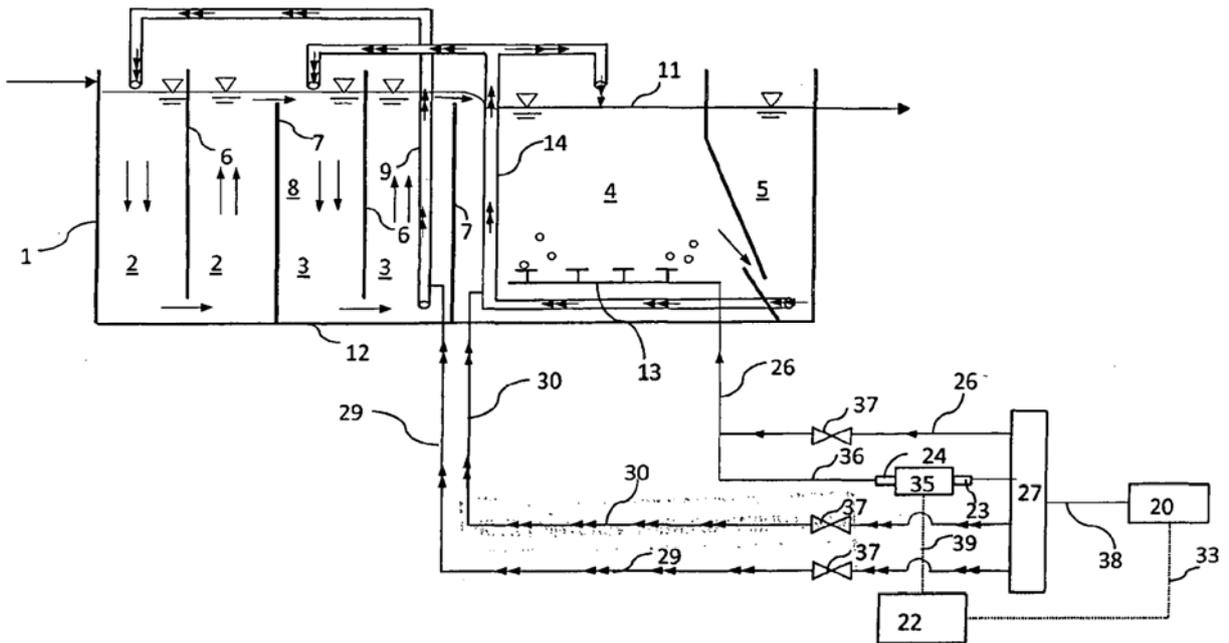


Fig.10



Programa diario n.º 7

Desarrollo de la atracción

- T1= 4 min. OFF
- T2= 4 min. ON
- T3= 2 min. OFF

Desarrollo de la recirculación

- T1= 4 min. ON
- T2= 4 min. OFF
- T3= 2 min. OFF

Ciclo: T1+T2+T3= 10 min.

Ciclos al día: 144

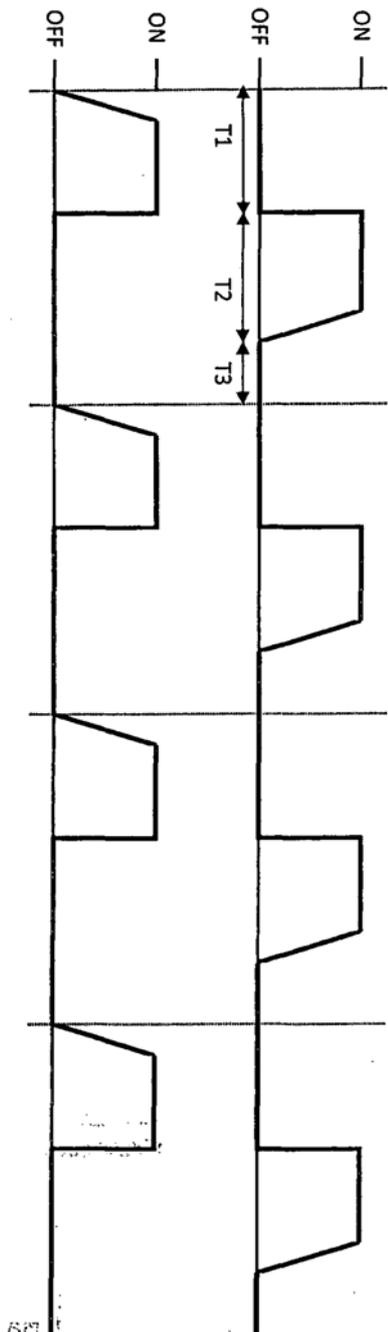
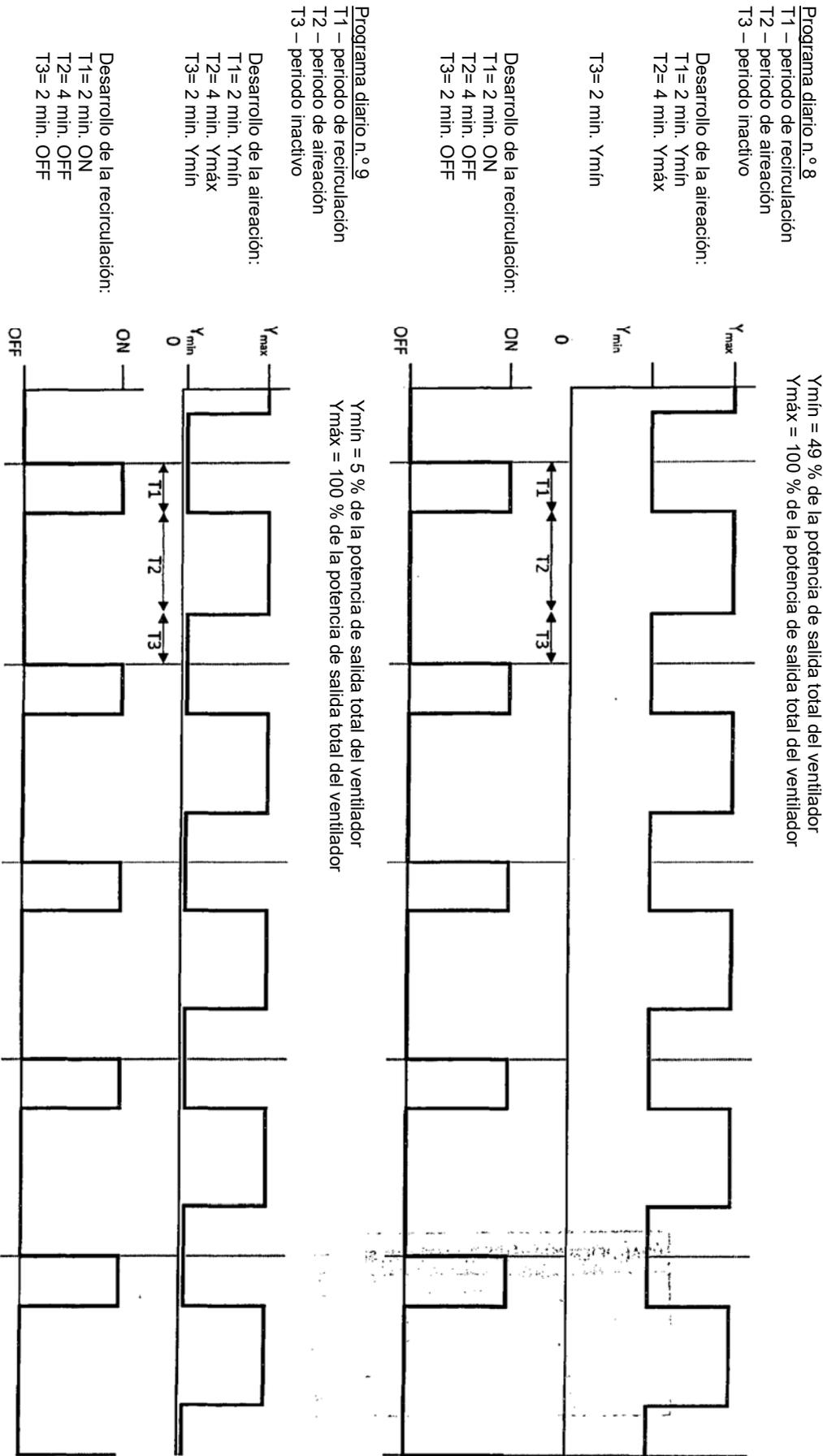


Fig. 11

Fig. 14



Programa diario n.º 10

Desarrollo de la aireación

T1 = 4 min. Y_{mín}
T2 = 4 min. Y_{máx}

Y_{mín} = 20 % de la potencia de salida total del ventilador
Y_{máx} = 100 % de la potencia de salida total del ventilador

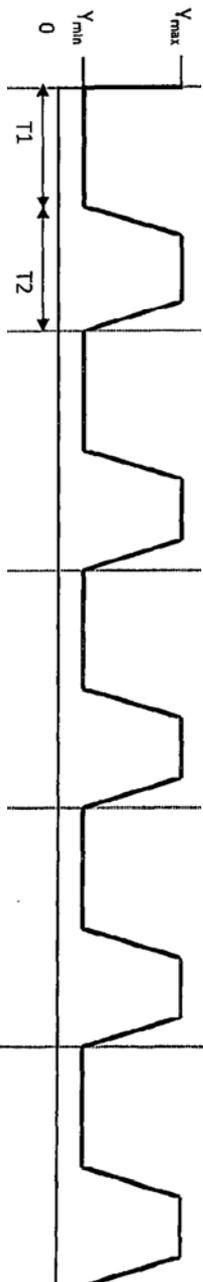
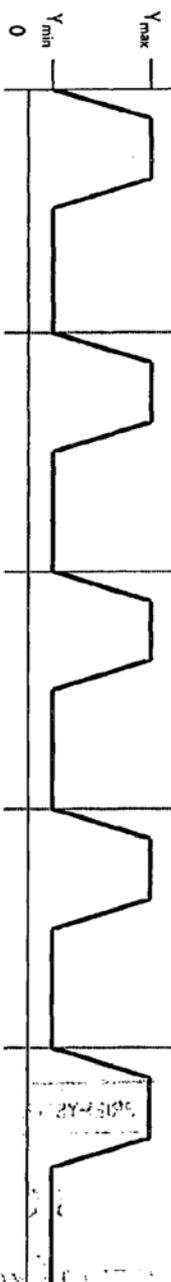


Fig.15

Desarrollo de la recirculación y mezclado

T1 = 4 min. Y_{máx}
T2 = 4 min. Y_{mín}
Ciclo: T1+T2 = 8 min.
Ciclos al día: 180

Y_{mín} = 20 % de la potencia de salida total del dispositivo de recirculación
Y_{máx} = 100 % de la potencia de salida total del dispositivo de recirculación

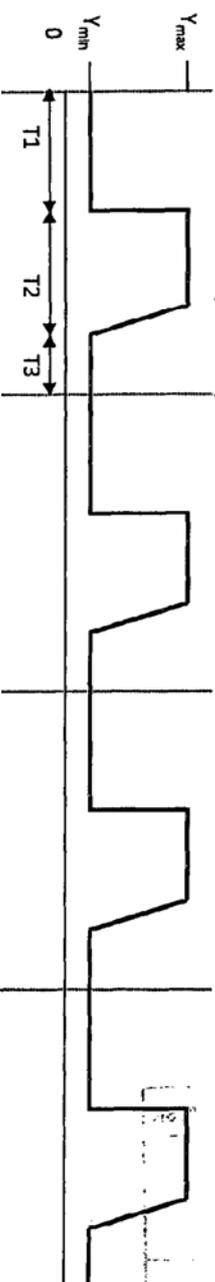


Programa diario n.º 11

Desarrollo de la aireación

T1 = 4 min. Y_{mín}
T2 = 4 min. Y_{máx}
T3 = 2 min. Y_{mín}

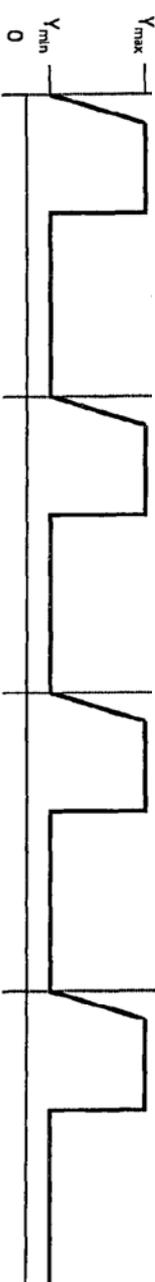
Y_{mín} = 20 % de la potencia de salida total del ventilador
Y_{máx} = 100 % de la potencia de salida total del ventilador



Desarrollo de la recirculación y mezclado

T1 = 4 min. Y_{máx}
T2 = 4 min. Y_{mín}
T3 = 2 min. Y_{mín}

Y_{mín} = 20 % de la potencia de salida total del dispositivo de recirculación
Y_{máx} = 100 % de la potencia de salida total del dispositivo de recirculación



Ciclo: T1+T2+T3=10 min.
Ciclos al día: 144

Concentraciones de fósforo en los flujos de entrada y de salida

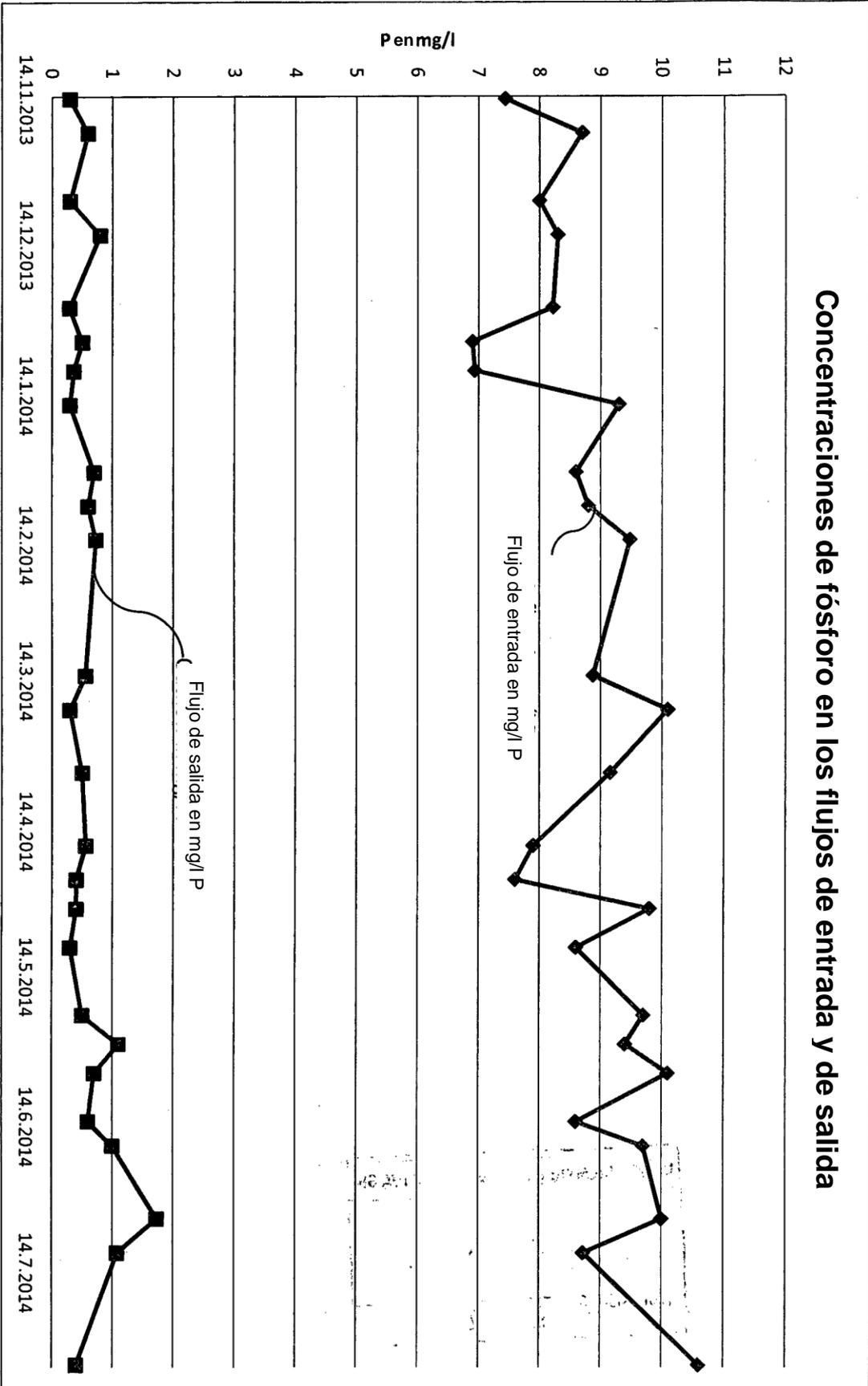


Fig. 16

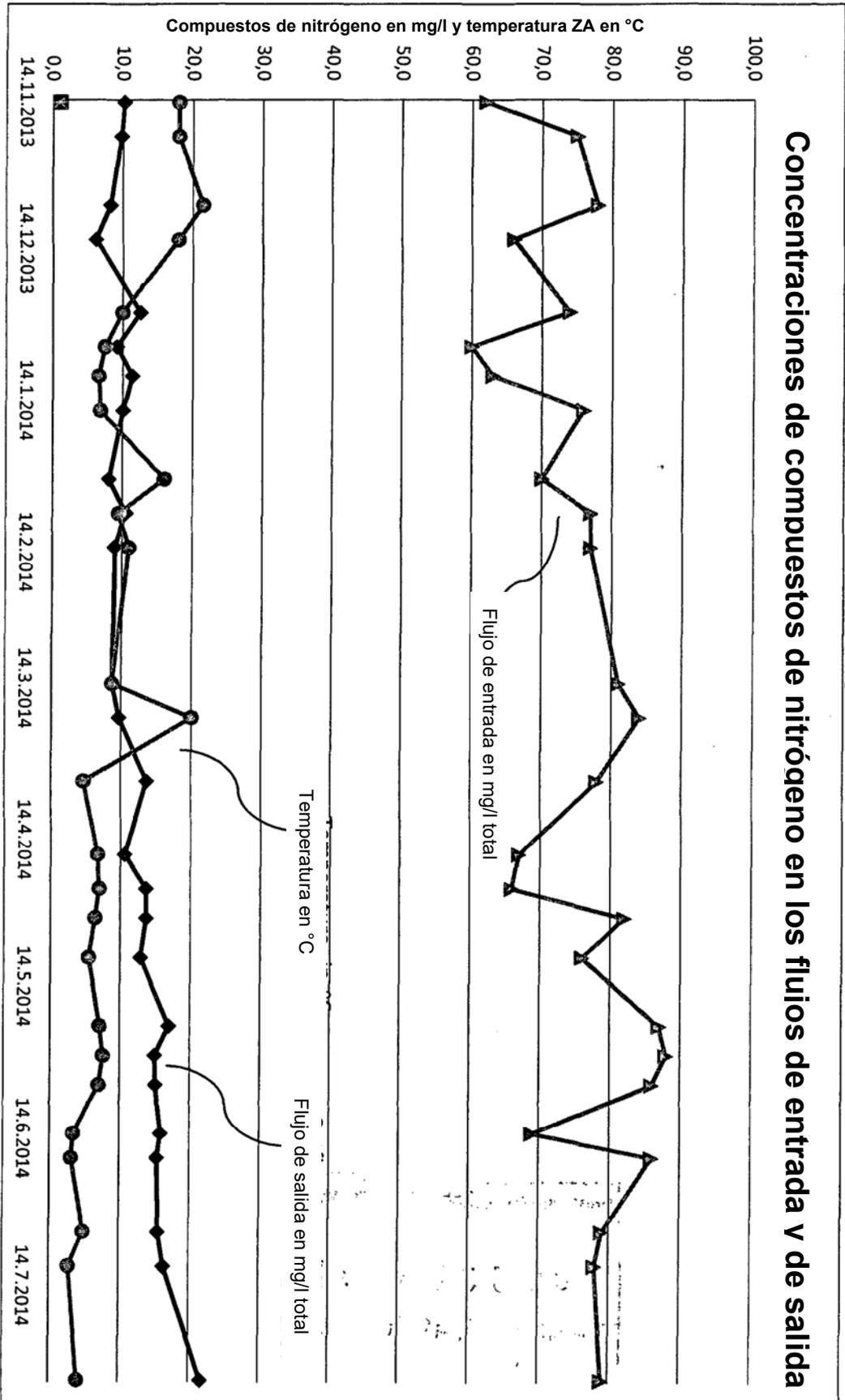


Fig. 17

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

La lista de referencias citadas por el solicitante se incluye únicamente para comodidad del lector. No forma parte del documento de patente europea. Aunque se ha puesto mucho cuidado en la recopilación de las referencias, no se puede excluir que haya errores u omisiones, no asumiendo la Oficina Europea de Patentes ninguna responsabilidad en este sentido.

Documentos de patentes citados en la descripción

- WO 2005028373 A2 [0011]
- US 20100101995 A1 [0011]
- CS 9101653 A3 [0012]
- US 6254778 B1 [0015]
- US 20030183572 A1 [0017] [0018] [0019] [0023] [0033]
- WO 2007022899 A1 [0017] [0018]
- WO 9830504 A [0020]