

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 734 987**

51 Int. Cl.:

C02F 3/30 (2006.01)

C02F 3/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.11.2005** **PCT/DK2005/050007**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.06.2006** **WO06056212**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.11.2005** **E 05812873 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.03.2019** **EP 1817262**

54 Título: **Procedimiento mejorado de purificación de agua**

30 Prioridad:

26.11.2004 DK 200401847

29.11.2004 US 631737 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.12.2019

73 Titular/es:

KRÜGER A/S (100.0%)

Gladsaxevej 363

2860 Søborg, DK

72 Inventor/es:

ROSEN, CHRISTIAN;

INGILDSEN, PERNILLE y

MUNK-NIELSEN, THOMAS

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 734 987 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento mejorado de purificación de agua

La presente invención se refiere a un procedimiento mejorado para controlar una planta de tratamiento de agua residual. En particular, la invención se refiere a un procedimiento para identificar una condición y, como un resultado de esta condición aparente, cambiar el tratamiento del agua residual. En especial, la presente invención se refiere a un procedimiento para mejorar la retirada de nutrientes en plantas de tratamiento de agua residual.

En plantas de tratamiento de agua previamente conocidas, la retirada de material biológico y nitrógeno está regulado por el uso de diferentes medios de control y regulación, tales como aquellos descritos en el documento EP 0 642 469, y el fósforo es retirado en una etapa separada con o sin agentes de precipitación.

El documento US 2002/043486 de la técnica previa divulga procesos y sistemas para tratar agua residual, y más particularmente para retirar nutrientes del agua residual en un proceso de tratamiento de agua residual. Los sistemas pueden ser altamente automatizados, lo cual reduce la cantidad de atención requerida por un operador humano, reduciendo de ese modo adicionalmente los costes operacionales y reduciendo además las incertidumbres operacionales.

El objeto de la invención es obtener una purificación mejorada en total, optimizando dos o más procesos respecto uno a otro. La invención suministra un procedimiento de control que adiciona u optimiza el control de un proceso secundario de purificación, sin causar efectos perjudiciales sustanciales a uno o más procesos primarios de purificación que ocupan la parte principal de los recursos en la planta de tratamiento de agua residual, para introducir o para optimizar el proceso de retirada de fósforo biológico, mientras en la planta de tratamiento de agua residual continúa teniendo lugar la degradación de la materia orgánica y compuestos de nitrato y amonio, sin modificar prácticamente la efectividad.

Generalmente, el control de la longitud de la fase puede ser llevado a cabo de acuerdo con dos principios diferentes: control basado en el tiempo y control basado en medición en línea. El control basado en el tiempo es simplemente la asignación de longitudes específicas de fase, sea de una manera constante o permitiendo que las longitudes de la fase cambien durante el día de acuerdo con un patrón predeterminado. Aunque simple en principio, el control basado en el tiempo puede ser más bien potente, dado que es posible definir patrones de tiempo relativamente sofisticados para las longitudes de fase. Sin embargo, cuando la carga u otros factores importantes cambian de una manera desconocida, se perderá el tiempo de fase (es decir la capacidad), demasiada energía será usada o no se alcanzará la calidad de la salida deseada. Usando el control basado en medición en línea, como se describe de acuerdo con la presente invención, algunos o todos estos problemas pueden ser resueltos dado que el control basado en medición en línea tiene la capacidad para rastrear los cambios de carga y ajustar la longitud de fase de acuerdo con ello. Existen varias estrategias diferentes para implementar el control basado en la medición.

Un objetivo adicional de la invención es suministrar un procedimiento mejorado de control para el tratamiento de agua residual en el cual puede reducirse la cantidad de agentes de precipitación, especialmente cuando se retira el fósforo.

Una reducción en la cantidad de agentes de precipitación usados en una planta de tratamiento de agua, no sólo reduce los costes operativos, también reduce el impacto ambiental de tal planta. Dado que se usan menores cantidades de agentes de precipitación, en el lodo están presentes menores cantidades de compuestos químicos precipitados, dando como resultado en un lodo que es más adecuado para propósitos agrícolas.

Así, la presente invención suministra un procedimiento de control que comprende un ciclo con dos fases, una primera y una segunda fase, la primera fase continúa hasta que se obtiene suficiente nitrificación y el consumo de fosfato alcanza un nivel definido basado en la carga actual o situación de capacidad, y la segunda fase continúa hasta que se obtiene suficiente desnitrificación y hasta que el almacenamiento de compuestos intercelulares en los organismos de acumulación de fósforo (PAO), alcanza un nivel definido.

"Suficiente" significa que se ha obtenido un nivel deseado; el nivel deseado puede ser definido por un parámetro constante o por un parámetro que es adaptado continuamente.

Preferiblemente la invención es usada en plantas que tienen una carga de más de 10.000 PE, más preferido en plantas que tienen una carga de más de 100.000 PE y con máxima preferencia en plantas que tienen una carga de más de 250.000 PE.

Preferiblemente, la invención es usada en plantas que tienen un volumen de alimentación > 2.000 m³/día, más preferido un volumen de alimentación > 20.000 m³/día, y con máxima preferencia un volumen de alimentación > 60.000 m³/día.

Los parámetros del sistema están determinados por medidores en línea, para la medición de amonio, nitrato y fosfato, por ejemplo tales medidores son fabricados por:

•Hach Lange

- Danfoss
- Endress+Hauser
- Bran+Luebbe
- WTW (Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH & co. KG)
- 5 •Applied Spectrometry Associates, Inc. (ChemScan Analyzers)

Definiciones:

Carga/capacidad: La definición de carga puede ser dividida en la definición de la carga hidráulica, la carga de materia orgánica y la carga de nutriente. La carga hidráulica es el volumen del flujo de entrada por día [m^3/h]. La carga de materia orgánica es la masa de materia orgánica por día en el flujo de entrada [$\text{kg}/\text{día}$]. La carga de nutriente es la masa de nutriente en el flujo de entrada por día [$\text{kg}/\text{día}$]. La definición de la capacidad es la carga máxima que puede ser retirada por los procesos biológicos.

Un **parámetro del sistema** es un parámetro que contiene información del sistema y cuyo parámetro puede ser cuantificado. Los parámetros relevantes del sistema podrían ser seleccionados de entre el grupo que consiste en concentraciones de componente, por ejemplo NO_3 , NH_4 , PO_4 , COD (demanda química de oxígeno), BOD (demanda bioquímica de oxígeno), TOC (carbono orgánico total), potencial redox y temperatura. Que un parámetro de sistema es medido continuamente significa que la medición del parámetro del sistema es siempre posible, normalmente las mediciones serán registradas en ciertas etapas de tiempo, por ejemplo cada 30 seg. o a demanda.

Un **parámetro de control** es un parámetro (variable o constante) que es seleccionado o calculado a partir de uno o más valores registrados de los parámetros del sistema, con objeto de determinar una acción de control apropiada. El parámetro de control puede ser por ejemplo un punto de ajuste o un límite superior o inferior. Un ejemplo de un parámetro de control es el valor deseado de la concentración de oxígeno en un tanque de nitrificación. Los ejemplos de parámetros de sistema asociados con este parámetro de control comprenden la concentración de nitrato, el potencial redox y la concentración de fosfato. Otro ejemplo de un parámetro de control es la concentración real de amonio en un tanque de desnitrificación. Ejemplos de parámetros de sistema asociados con este parámetro de control comprenden la concentración de amonio, la concentración de oxígeno y el suministro de oxígeno.

Si el parámetro de control es calculado, por ejemplo a partir de más de un parámetro de sistema, es calculado mediante una **función de control**. Una función de control define la correlación entre el parámetro de control y el parámetro de sistema o un valor derivado del parámetro de sistema. La correlación entre el parámetro de sistema y el parámetro de control es definida normalmente de acuerdo con un modelo matemático del tipo determinístico o el tipo estocástico, cuyo modelo podría ser determinado parcial o totalmente a partir de datos pasados y experiencia de operaciones previas. Las funciones de control usadas son típicamente funciones discontinuas que son una combinación de diferentes funciones continuas.

La invención se basa en el hallazgo bien conocido según el cual forzando las bacterias que retiran fósforo -Organismos que Acumulan Fósforo **PAO** - a vivir bajo condiciones cambiantes de una manera controlada, los PAO son, como un resultado neto del proceso, capaces de retirar una cantidad aumentada de fósforo del medio circundante.

Este hallazgo es descrito por ejemplo en el documento de EEUU no. 5.304.308 donde las condiciones operativas cambian alternativamente entre condiciones aeróbicas y anaeróbicas. Este documento describe cómo retirar tanto componentes de nitrógeno como de fósforo, en una planta de purificación de dos compartimientos. El nitrógeno es eliminado de modo que el N de NH_4 es oxidado bajo una condición aeróbica hasta N de NO_3 mediante una actividad de bacterias nitrificantes, el cual es entonces reducido bajo una condición anaeróbica hasta N_2 mediante una actividad de bacterias desnitrificantes. En este proceso intermitente de aireación, la liberación de fósforo desde el lodo activado ocurre después de haber terminado la desnitrificación y de que las moléculas de oxígeno que se originan de N de NO_3 se tornan ausentes del tanque, y a continuación se ejecuta la absorción de fósforo en la siguiente etapa de aireación. Las operaciones del primer y segundo tanques de aireación son transferidas simultáneamente de la agitación a la aireación, con base en la detección de un punto de inflexión de ORP (potencial de oxidación-reducción) o el valor ORP igual al valor predeterminado, cuyo punto representa la terminación de la desnitrificación en el segundo tanque de aireación. Este procedimiento está dirigido a una retirada constante tanto de nitrógeno como de fósforo del agua residual, y de acuerdo con este procedimiento no se decide priorizar entre los dos procesos. También este proceso está bloqueado a un tipo específico de planta con dos compartimientos aireados y una corriente delantera que pasa ambos compartimientos.

El procedimiento de acuerdo con la presente invención es ejecutado en un compartimiento/sección/tanque sencillo donde es posible añadir aireación y el procedimiento está dirigido a una retirada constante de nitrógeno y ocasional retirada de fósforo biológico. Cuando se aplica la invención, una parte aumentada del fósforo en el agua residual está unida a las PAO y es retirada del proceso a medida que estos organismos son retirados como lodo, por ello tiene que precipitarse menos fósforo con agentes de precipitación, dando como ventaja que el lodo es más adecuado para uso agrícola, en que el fósforo unido biológicamente está más fácilmente disponible para las plantas. Cuando se

implementa la presente invención, puede añadirse un procedimiento de control a una planta existente con uno o más compartimientos, incrementando de ese modo la retirada de fósforo biológico, si el procedimiento de control es añadido o aplicado a una planta de purificación con más de un compartimiento los compartimientos son controlados individualmente, lo cual hace más flexible la operación de la planta. También puede ser deseable añadir un nuevo compartimiento a una planta de purificación existente, cuando se aplica el procedimiento de control de la presente invención con objeto de optimizar el proceso y aumentar la retirada de fósforo.

En el presente documento, se usarán los siguientes términos para describir las condiciones en la planta de tratamiento de agua: **Condiciones aeróbicas** significan que en la ubicación está presente oxígeno (O_2). Bajo condiciones aeróbicas, las bacterias descomponen la materia orgánica y convierten el amoníaco y compuestos nitrosos en nitrato, lodo y dióxido de carbono. El material orgánico fácilmente degradable es el descompuesto más rápidamente. Las bacterias nitrificantes convierten el amoníaco y otros compuestos de nitrógeno en nitratos, mientras el material orgánico más pesado es descompuesto por otras bacterias. Las bacterias que retiran fósforo absorben fósforo.

Las **condiciones anóxicas** significan que en la instalación está presente nitrato (NO_3) pero no oxígeno libre. Bajo condiciones anóxicas, las bacterias desnitrificantes usan nitrato como fuente de oxígeno, para descomponer la materia orgánica y durante este proceso el nitrato es convertido en nitrógeno libre. Las bacterias que retiran fósforo también absorben fósforo bajo estas condiciones.

Las **condiciones anaeróbicas** significan que en la instalación no está presente nitrato ni oxígeno. Bajo condiciones anaeróbicas, las bacterias que retiran fósforo son capaces de crecer cuando se suministra una fuente de carbono fácilmente degradable y una reserva de fuente interna de carbono, en las bacterias que retiran fósforo.

Cuando se aplican condiciones anaeróbicas a un compartimiento o una sección de una planta de purificación, los procesos que tienen lugar normalmente en este compartimiento, por ejemplo desnitrificación y/o degradación de amoníaco, son detenidos o ralentizados. Por ello, durante el crecimiento de las bacterias que retiran fósforo, la planta puede no ser capaz de purificar con la misma eficiencia para la retirada de nitrógeno, dado que estos procesos ahora tienen menos tiempo de proceso. Por ello, se prefiere permitir que las bacterias que retiran fósforo crezcan y construyan las fuentes internas de carbono necesarias para que tengan lugar los procesos de absorción de fósforo, durante periodos con exceso de capacidad, por ejemplo durante ciertos tiempos del día con una baja carga de agua residual. Sin embargo, dado que puede ser difícil predecir exactamente cuando hay un exceso de capacidad en el sistema, y por cuanto tiempo, existe el riesgo de que la planta pudiera no tener suficiente capacidad de retirada de nitrógeno, cuando se requiera. Además, una repentina ventana de oportunidad no será utilizada simplemente usando tiempos fijos de funcionamiento y detención. Por ello, se prefiere usar los valores de uno o más parámetros de sistema medidos, para determinar cuándo una planta o sección de planta tiene capacidad disponible para retirar fósforo y, opcionalmente, por cuanto tiempo.

Sin embargo, no sólo es la cantidad de bacterias que retiran fósforo o la cantidad de fuentes internas de carbono, lo que determina la eficiencia de la retirada de carbono. Si están presentes muy pocas bacterias, sólo puede ser absorbida una pequeña cantidad de fósforo. Si la cantidad de fuentes internas de carbono en las bacterias es demasiado pequeña, una vez más sólo puede absorberse una pequeña cantidad de fósforo. Además, si la rata entre las fuentes internas de carbono y la cantidad de bacterias es demasiado pequeña, la absorción de fósforo es demasiado baja y el fósforo podría no ser consumido antes de que el agua pase. Con objeto de aumentar la rata, será necesario asegurar que las bacterias acceden a una fuente de carbono fácilmente degradable y aplicar condiciones anaeróbicas a la sección, induciendo un periodo de crecimiento. El aumento en la rata toma tiempo y este tiempo tiene que ser tomado de otros procesos, tales como los procesos de nitrificación y desnitrificación. Por ello, un aspecto importante de la invención pretende la optimización de todos los procesos involucrados, uno respecto a otro, con objeto de obtener una purificación del agua residual mejorada en total.

En una realización preferida, el procedimiento de control descrito aquí pretende introducir la retirada de Fósforo Biológico Mejorado (**EBPR**) en una planta de tratamiento biológico de agua residual, que no necesariamente está diseñada para EBPR. El EBPR es logrado mediante el control de las reacciones biológicas en los reactores biológicos existentes, en contraste la construcción de reactores adicionales. El procedimiento de control puede ser usado para EBPR solo o en combinación con Retirada de Nitrógeno Biológico (BNR). En el caso de combinación de EBPR y BNR, los procesos involucrados en EBPR y BNR, respectivamente, compiten por el mismo tiempo de proceso. Así, en ausencia de capacidad de ambos tiene que hacerse una priorización entre EBPR y BNR. En general, esta priorización favorece BNR debido a las regulaciones de descarga y la posibilidad de retirar fósforo por medio de sustancias químicas de precipitación. En el caso combinado, el procedimiento de control explota el hecho de que las plantas de tratamiento experimentan condiciones variables con situaciones de carga alta y baja. En periodos de baja carga, normalmente la planta de tratamiento tiene una sobrecapacidad y esto es utilizado para promover EBPR dentro de los volúmenes existentes de reactor.

El proceso es controlado usando aireación intermitente. Esto significa que se alternan las condiciones de proceso entre condiciones aeróbicas (aireación), anóxicas (agitación) y anaeróbicas (agitación). La fase aeróbica es denominada como la **fase N** y las fases anóxica y anaeróbica constituyen juntas la **fase DN**. Las longitudes de fase N y de fase DN se determinan con base en la situación actual de carga/capacidad. La longitud de la fase N es determinada de modo que se logra suficiente absorción de fosfato y, si se combina con BNR, se logra nitrificación. La

longitud de la fase DN es determinada de modo que se logra suficiente almacenamiento de compuestos intercelulares en los organismos que acumulan fósforo (PAO) y, si se combina con BNR, se logra desnitrificación. Cuando se combina EBPR con BNR, la fase DN comprende condiciones tanto anóxicas como anaeróbicas, en la medida en que el período no aireado tiene que prolongarse más allá de la fase anóxica, alcanzando condiciones anaeróbicas.

5 El procedimiento de control comprende un ciclo con dos fases:

El reactor es aireado (**fase N**) hasta que la absorción de fosfato alcanza un nivel determinado, basado en la situación actual de carga/capacidad. Cuando se combina EBPR con BNR, la aireación continúa hasta que se alcanza suficiente nitrificación y la absorción de fosfato alcanza un nivel determinado basado en la situación actual de carga/capacidad. La continuación de la fase N es ejecutada controlando la aireación, con base en la situación actual de carga/capacidad.

10 El reactor es agitado (**fase DN**) hasta que el almacenamiento de compuestos intercelulares alcanza un nivel, cuyo nivel ha sido determinado con base en la situación actual de carga/capacidad. Cuando se combina EBPR con BNR, la fase DN continúa hasta que se obtiene suficiente desnitrificación y hasta que el almacenamiento de compuestos intercelulares alcanza un nivel determinado, con base en la situación actual de carga/capacidad. La continuación de la fase DN es realizada manteniendo desactivada la aireación.

15 La presente invención es especialmente adecuada cuando se usan funciones de control múltiple. El uso de funciones de control múltiple es descrito en detalle en el documento EP 642 469 y se caracteriza porque un parámetro de control es determinado sobre la base de los resultados de medición de por lo menos dos parámetros de sistema y las funciones de control asociadas con dichos parámetros de sistema.

20 El uso de funciones de control múltiple se basa en el conocimiento según el cual algunos de los parámetros de sistema medidos durante el control de una planta de purificación de agua residual suministran información sobre las mismas condiciones físicas, y que en consecuencia tales parámetros de sistema pueden ser usados para obtener una identificación más exacta, rápida y confiable del estado de la planta y determinación del parámetro de control, dando como resultado con ello un control más eficiente de la planta.

25 Cuando se usan funciones de control múltiple, el parámetro de control puede ser determinado sobre la base de una combinación ponderada de parámetros individuales de control, donde cada uno de los parámetros cp_i individuales de control es una función de un parámetro de sistema. En las funciones de control múltiple, los parámetros individuales de control son ponderados respecto a su adecuación en conexión con la acción de control en cuestión.

El uso de tal control permite que las funciones de control usadas en la determinación del parámetro de control sean ponderadas de manera diferente, dependiendo de la magnitud del parámetro.

30 El parámetro de control puede ser determinado, por ejemplo, usando una de las siguientes dos fórmulas:

$$CP = \frac{w_1 cp_1 + w_2 cp_2 + w_3 cp_3 + \dots + w_m cp_m}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_m} \quad (1)$$

35 en la que CP es el parámetro de control resultante, w_i son las ponderaciones, cp_i son los parámetros individuales de control determinados con las funciones de control individuales y m es un entero positivo por encima de 1,

$$CP = \frac{w_1 cp_1^{n_1+1} + w_2 cp_2^{n_2+1} + w_3 cp_3^{n_3+1} + \dots + w_m cp_m^{n_m+1}}{w_1 cp_1^{n_1} + w_2 cp_2^{n_2} + w_3 cp_3^{n_3} + \dots + w_m cp_m^{n_m}} \quad (2)$$

en la que CP, w_i , cp_i y m tiene el significado definido anteriormente, y en la que n_i son números reales.

40 La determinación del parámetro de control usando ponderaciones para las funciones de control individual puede ser llevada a cabo además usando una combinación de diferentes funciones continuas, tales como función exponencial, logarítmica y de potencia, es decir usando modelos estadísticos y estocásticos convencionales.

45 La determinación del parámetro de control y la subsiguiente selección de la acción de control son llevadas a cabo preferiblemente usando un modelo matemático para la planta de purificación, el cual define la correlación entre parámetros del sistema, parámetros derivados de sistema y parámetros de control y los cuales pueden describir el estado de la planta de purificación al punto de tiempo relevante. De modo alternativo, la acción de control puede ser determinada sobre la base de un conjunto predeterminado de reglas.

Otra variante del uso de funciones de control múltiple se caracteriza porque se evalúa la calidad de los resultados de la medición y porque el parámetro de control es determinado sobre la base de los resultados de medición evaluados.

La evaluación de la calidad de los resultados de medición es llevada a cabo preferiblemente usando el procedimiento descrito en el documento DK No. 1677/91 que tiene el título "Method of controlling waste water purification plants using quality evaluation of measurement data".

- 5 Se hace referencia al documento anterior, para una descripción más detallada de la forma en la cual se lleva a cabo la evaluación de la calidad de los resultados de medición, en la variación preferida mencionada anteriormente de uso de funciones de control múltiple.

- 10 La evaluación de la calidad de los resultados de medición es llevada a cabo preferiblemente sobre la base de una comparación del valor de medición por al menos un parámetro con un intervalo de valor dinámico esperado, calculado continuamente sobre la base del modelo matemático y una medición simultánea y/o previa de uno o varios otros parámetros y/o una medición previa del mismo parámetro.

El intervalo de valor dinámico esperado es determinado preferiblemente mediante cálculo de un valor dinámico esperado y variaciones máximas del mismo.

- 15 Más preferiblemente, la evaluación de calidad de los resultados de medición es llevada a cabo evaluando la credibilidad del valor de medición, sobre la base de la comparación del valor de medición con el intervalo de valor dinámico esperado, mediante la asignación de un factor de credibilidad el cual es usado en combinación con el valor de medición, en la subsiguiente determinación del parámetro de control.

Previamente a la determinación del parámetro de control, los resultados de medición pueden ser posiblemente corregidos con un valor que corresponde a la magnitud de la interferencia identificable de medición, si acaso.

- 20 Como se usa aquí, el término "interferencia identificable de medición" significa la interferencia de medición causada por influencias impuestas en la planta de purificación, en conexión con el control de la misma.

La cuantificación de la interferencia identificable de medición es llevada a cabo preferiblemente sobre la base del modelo matemático y datos pasados de cursos de respuesta para modificaciones de control del mismo tipo, llevadas a cabo previamente.

- 25 En la variante de control múltiple descrita anteriormente, el parámetro de control es determinado en cualquier momento, sobre la base de los resultados de medición menos creíbles, de aquellos disponibles y b) ponderando los mismos de acuerdo con su credibilidad, obteniendo de ese modo un control óptimo comparado con el material recolectado de resultados de medición, y cuyo control es mucho más eficiente que el control obtenido con los procedimientos de la técnica previa.

- 30 El parámetro de control es determinado sobre la base de los valores de medición recolectados para dos o más parámetros de sistema y las funciones de control y factores de credibilidad asociados con ellos.

En este caso, el parámetro de control puede ser determinado por ejemplo usando una de las siguientes dos fórmulas:

35
$$CP = \frac{w_1 cf_1 cp_1 + w_2 cf_2 cp_2 + w_3 cf_3 cp_3 + \dots + w_m cf_m cp_m}{w_1 cf_1 + w_2 cf_2 + w_3 cf_3 + \dots + w_m cf_m}$$

en la que CP, w_1 , cp_1 y m tienen el significado definido anteriormente, y en la que cf_1 es un factor de credibilidad,

$$CP = \frac{w_1 cf_1 cp_1^{n_1+1} + w_2 cf_2 cp_2^{n_2+1} + w_3 cf_3 cp_3^{n_3+1} + \dots + w_m cf_m cp_m^{n_m+1}}{w_1 cf_1 cp_1^{n_1} + w_2 cf_2 cp_2^{n_2} + w_3 cf_3 cp_3^{n_3} + \dots + w_m cf_m cp_m^{n_m}}$$

- 40 en la que CP, cp_1 , cf_1 , n y m tienen el significado definido anteriormente.

El procedimiento usado de acuerdo con la invención es llevado a cabo preferiblemente usando un control integral y sistema de computador (aparato de control), recolectando y almacenando resultados de medición y señales de control, procesando los datos recolectados usando un modelo matemático e implementando nuevas acciones de control.

- 45 Preferiblemente, el procedimiento es usado en plantas de tratamiento de agua residual, sin etapa separada para retirada de fósforo biológico, por ejemplo Biodenitro, proceso AO pre-desnitrificante, etc. Sin embargo, la retirada mejorada de fósforo puede ser logrado también en plantas de tratamiento de agua residual con etapa separada para retirada de fósforo biológico, por ejemplo biodefo, proceso A2O pre-desnitrificante, etc.

Un efecto del uso de la invención es que la flora bacteriana total en la planta de tratamiento de agua residual cambia lentamente, alcanzando condiciones que además mejoran el tratamiento del agua residual. Dependiendo de la planta,

la adaptación de la flora bacteriana podría tomar alrededor de un mes y, dado que cuando se prolonga el periodo de tiempo anaeróbico las condiciones favorecen los PAO's, esta población aumentará.

La invención será descrita en mayores detalles con referencia a las figuras:

La Figura 1 ilustra el compartimiento de una planta que funciona de acuerdo con la invención;

5 la Figura 2 ilustra una planta pre-desnitrificante con recirculación;

la Figura 3A ilustra las fases principales de un proceso EBNR alternante. DN: condiciones anóxicas, N: condiciones aeróbicas (pueden usarse también otras fases intermedias);

la Figura 3B ilustra los criterios para EBNR en procesos alternantes. La estrategia de control utiliza mediciones de NO_3 y NH_4 ;

10 la Figura 4 ilustra el principio del trabajo del SBR;

la Figura 5 muestra un diagrama de flujo de un algoritmo de control;

la Figura 6A intervalo P como una función de la capacidad de retirada de exceso de nitrógeno;

la Figura 6B ilustración de cómo el fosfato limita el cambio con carga cambiante de nitrógeno.

La Figura 1 muestra un compartimiento en una planta de purificación con un tratamiento combinado de EBPR y BNR. El compartimiento comprende una entrada I, una salida O, un sensor S, un ventilador A y un controlador C. La entrada I suministra al reactor agua residual y el agua residual tratada es retirada desde la salida O del reactor. En el reactor, los parámetros medidos de sistema, que son registrados con el sensor S, son concentraciones de amonio (NH_4), nitrato (NO_3), fosfato (PO_4) y oxígeno disuelto (DO). El controlador C recibe los valores del sensor y controla la cantidad de aire aplicado al compartimiento, el ciclo de control descrito es repetido indefinidamente. Durante la fase N, desciende la concentración de amonio por la nitrificación de amonio hasta nitrato (vía nitrito) y el fosfato es almacenado en las células de PAO durante la absorción de fosfato. Durante la fase DN, desciende la concentración de nitrato por la desnitrificación y aumenta la concentración de fosfato debida a la liberación de fosfato.

Fase N. Para cuantificar la absorción de fosfato se usa PO_4 . El NH_4 es usado para cuantificar la nitrificación de amoníaco a nitrato. NH_4 , NO_3 y PO_4 son usados para cuantificar la situación actual de carga/capacidad. La aireación del reactor es mantenida controlando la concentración de DO hasta un DO_{sp} . La fase N continúa hasta que el NH_4 es inferior que el nivel $\text{NH}_{4,\text{bajo}}$ y PO_4 es inferior que $\text{PO}_{4,\text{bajo}}$. El nivel $\text{NH}_{4,\text{bajo}}$ es una función de las mediciones actuales de NH_4 y NO_3 . El nivel $\text{PO}_{4,\text{bajo}}$ es una función de las mediciones actuales de NH_4 , NO_3 y PO_4 . El nivel DO_{sp} es una función de las mediciones actuales de NH_4 y NO_3 .

Fase DN. El PO_4 es usado para cuantificar la liberación de fosfato. El NO_3 es usado para cuantificar la desnitrificación de nitrato hasta nitrógeno gaseoso. NH_4 , NO_3 y PO_4 son usados para cuantificar la situación actual de carga/capacidad. La aireación es desactivada controlando la concentración de DO hasta $\text{DO}_{\text{sp}} = 0$. La fase DN continúa hasta que NO_3 es inferior al nivel $\text{NO}_{3,\text{bajo}}$ y PO_4 es superior al nivel $\text{PO}_{4,\text{alto}}$. El nivel $\text{NO}_{3,\text{bajo}}$ es una función de las mediciones actuales de NH_4 y NO_3 . El nivel $\text{PO}_{4,\text{alto}}$ es una función de las mediciones actuales de NH_4 , NO_3 y PO_4 .

La Figura 2 muestra un sistema de pre-desnitrificación con recirculación. En esta planta la alimentación es suministrada a un primer compartimiento 1 junto con una corriente 4 reciclada desde un segundo compartimiento 2. Las condiciones en el primer compartimiento son vigiladas, se miden los parámetros de sistema y se regula el flujo de corriente reciclada al compartimiento. Los compartimientos pueden ser agitados con medios de agitación. El primer compartimiento 1 es mantenido tradicionalmente en condiciones anóxicas no permitiendo que el compartimiento sea aireado, por ejemplo no suministrándole aire, y suministrando al compartimiento nitrato a través de la corriente 4 reciclada (explicado posteriormente). En el primer compartimiento las bacterias desnitrificantes convierten el nitrato suministrado en nitrógeno gaseoso, usando el material orgánico recientemente suministrado. Mediante este proceso desciende la cantidad de nitrato y dado que se suministra amoníaco con la corriente recientemente introducida, puede aumentar la concentración de amoníaco. Desde el primer compartimiento se suministra material al segundo compartimiento, en el cual se mantienen condiciones aeróbicas, por ejemplo mediante aireación del agua residual. En el segundo compartimiento la materia orgánica es descompuesta y el amoníaco y compuestos nitrogenados suministrados, son degradados hasta nitrato. En el segundo compartimiento se realizan mediciones adicionales de parámetros del sistema y sobre la base de por lo menos uno de los parámetros de sistema medidos, se implementa una acción de control, por ejemplo un cambio en la cantidad de corriente que es reciclada. En este proceso se recicla hasta 10 veces del material suministrado recientemente, preferiblemente la rata de reciclamiento es aproximadamente 5 veces el material recientemente suministrado. Puede dejarse salir la corriente desde el segundo compartimiento hasta los alrededores 8, opcionalmente vía la unidad 6 de sedimentación o en caso que no se haya ejecutado la retirada de fósforo, hasta una unidad de retirada de fósforo. Típicamente, la unidad de retirada de fósforo usa agentes de precipitación para retirar el fósforo, pero pueden usarse también procesos electroquímicos. En esta realización, una unidad 3 de retirada de fósforo es colocada corriente arriba del primer compartimiento.

Por medición de un parámetro de sistema en, por ejemplo, el segundo compartimiento, puede calcularse si es posible detener o reducir por un rato el reciclamiento desde el segundo compartimiento. Este es el caso si, por ejemplo, la cantidad de nitrato es suficientemente baja para ser conducido a los alrededores o si el segundo tanque tiene exceso de capacidad de almacenamiento para el material suministrado. Cuando se reduce el suministro de nitrato al primer tanque, las condiciones del primer tanque cambiarán de anóxicas a anaeróbicas. Dependiendo de qué tanto se reduce el suministro de nitrato al primer tanque, puede estar presente una mezcla de condiciones anóxicas y anaeróbicas en la sección, por ejemplo en regiones cercanas a la entrada de nitrato hay condiciones anóxicas y en regiones lejanas hay condiciones anaeróbicas, dado que el nitrato ha sido consumido. Ahora, sobre la base de mediciones y cálculos, puede suministrarse al primer compartimiento, si se requiere, material orgánico fácilmente degradable, como corriente separada de la corriente suministrada recientemente o en combinación con la misma. Bajo estas condiciones, las bacterias que retiran fósforo comienzan a crecer y, como se describió anteriormente, las bacterias liberan primero fósforo y aumentan en número y en sus fuentes internas de carbono. Cuando el material fluye entonces desde el primer compartimiento al segundo compartimiento, teniendo condiciones aeróbicas, las bacterias que retiran fósforo absorben el fósforo nuevamente y dado que su número ha aumentado, una cantidad aumentada de fósforo es absorbida por las bacterias. Sobre la base de los parámetros de sistema medidos, se determina cuándo anular las condiciones anaeróbicas en el primer compartimiento, lo cual puede ser hecho aumentando el suministro de nitrato al primer compartimiento por ejemplo, aumentando/iniciando el reciclamiento del segundo compartimiento que es rico en nitrato. Dado que las bacterias que retiran fósforo han absorbido más fósforo, una cantidad más pequeña, si acaso, tiene que ser precipitada mediante agentes de precipitación, dando como resultado un consumo reducido de agentes de precipitación.

La Figura 3A ilustra una planta alterna. El proceso alterno descansa en un programa cíclico de operación, el cual altera el flujo a través de un conjunto de tanques (normalmente dos tanques) en una forma de ocurrencia repetida. Para la retirada aumentada de nitrógeno biológico (EBNR), el ciclo consiste en por lo menos dos fases -aeróbica (nitrificación) y anóxica (desnitrificación), de acuerdo con la Figura 3. Las fases son generalmente significativamente más cortas que el tiempo de retención hidráulica, lo cual permite evitar la recirculación de nitrato. El tiempo de salida de los reactores puede ser optimizado y esto es hecho frecuentemente para obtener la concentración más baja posible de amoníaco efluente, es decir la salida es retirada del tanque con la concentración de NH_4 más baja. Las dos fases principales pueden ser suplementadas mediante varias más, por ejemplo ambos reactores son aireados, el agua fluye sólo a través del reactor nitrificante, etc. y esto implica que los tiempos totales de nitrificación y desnitrificación no son necesariamente iguales. El grado de libertad logrado de esta forma puede ser usado para adaptar la operación a condiciones variables. La configuración de proceso de dos reactores discutida aquí es denominada frecuentemente como el proceso **BioDenitro**.

Una estrategia alterna de control desarrollada para la retirada de nitrógeno, es decir nitrificación y desnitrificación se basa en mediciones en línea de NO_3 y NH_4 . Los criterios para terminar las fases de nitrificación y desnitrificación, respectivamente, son funciones de las dos mediciones. La estrategia de control es ilustrada en la Figura 3B como un espacio bidimensional en el cual los criterios definen la región operacional. Durante la fase de nitrificación, el proceso se mueve de derecha a izquierda y desde el fondo hacia arriba, y durante la fase de desnitrificación en la otra vía. Tan pronto como el proceso cruza una frontera definida por uno de los parámetros de control k_N o k_{DN} , termina la fase de nitrificación o desnitrificación. La ventaja de esta estrategia de control es que adapta la longitud de fase a cambios de carga y no se desperdicia tiempo y/o energía debida a longitudes inapropiadas de fase. La estructura de la estrategia basada en la regla la hace intuitiva y la optimización de los criterios es relativamente transparente.

La Figura 4 ilustra el principio del trabajo del tanque de SBR (Reactor de Lote de Secuencia). En la etapa (1) el tanque es llenado con agua residual y la nitrificación es facilitada por la aireación. En la etapa (2) se detiene la aireación y se permite que el sistema alcance condiciones anaeróbicas. La desnitrificación tiene lugar y las bacterias que retiran fósforo corren a través del ciclo, como se describió anteriormente. En la etapa (3) tiene lugar una segunda fase de llenado y se inicia nuevamente la aireación dando como resultado la ocurrencia de la nitrificación. Durante esta fase el fósforo es absorbido por las bacterias que retiran fósforo. En la etapa (4) se suministran una vez más condiciones anóxicas y aeróbicas en el tanque, seguido por una tercera fase de llenado en la etapa (5), donde se inicia nuevamente la aireación. Cuando ha sido retirado el fósforo y se ha degradado suficiente cantidad del material recientemente introducido, se permite que el tanque (6) sedimente y se transfiere el lodo y agua purificada (7, 8).

La Figura 5 ilustra un algoritmo de un procedimiento específico de control de acuerdo con la presente invención. NO_3 , NH_4 , PO_4 son parámetros de sistema (sp) y son mediciones de las concentraciones de nitrato, amonio y fosfato, respectivamente. K_{nN} , K_{nbiop} , K_{dnN} y K_{dnbiop} son parámetros de control calculados a partir de los parámetros de sistema. K_{nN} y K_{dnN} son calculados a partir de NH_4 y NO_3 de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$CP(sp_1, sp_2) = \begin{cases} sí & f(sp_1) \geq sp_2 \\ no & f(sp_1) < sp_2 \end{cases}$$

donde CP es el parámetro de control K_{nN} o K_{dnN} resultante. sp_1 y sp_2 son los parámetros de sistema NO_3 y NH_4 y la función $f(sp_1)$ se basa en la experiencia empírica. K_{nN} o K_{dnN} son ilustrados en la Figura 5 mediante una curva que

muestra sp_2 como una función de sp_1 . El parámetro resultante está determinado por donde los puntos (sp_1, sp_2) están colocados respecto a la curva. Si el punto (sp_1, sp_2) está por encima de la curva, el parámetro de control resultante es 'sí' y si el punto (sp_1, sp_2) está bajo la curva, el parámetro de control resultante es 'no'.

K_{nbiop} es calculado a partir de NH_4 y PO_4 de acuerdo con la siguiente reacción:

5

$$CP(sp_1, sp_2) = \begin{cases} \text{sí} & sp_1 < Lim1 \vee sp_2 < Limsp_2 \\ \text{no} & \text{Otro caso} \end{cases}$$

donde CP es el parámetro de control K_{nbiop} resultante. sp_1 y sp_2 son los parámetros de sistema PO_4 y NH_4 . Lim1 es una función del promedio de 24 horas de y PO_4 sobre la base de experiencia empírica. Limsp₂ es un límite fijo.

K_{dnbiop} es calculado a partir de PO_4 , NH_4 y NO_3 de acuerdo con la siguiente ecuación:

10

$$CP(sp_1, sp_2, sp_3) = \begin{cases} \text{sí} & sp_1 > Lim1 + dPo4 \vee sp_2 < Limsp_2 \\ \text{no} & \text{Otro caso} \end{cases}$$

Donde CP es el parámetro de control K_{dnbiop} resultante. sp_1 , sp_2 y sp_3 son los parámetros de sistema PO_4 , NH_4 y NO_3 . Lim1 una función del promedio de 24 de PO_4 sobre la base de experiencia empírica. dPO₄ es una función de la concentración total de NH_4 y NO_3 y se basa en la experiencia empírica. Limsp₂ es un límite fijo.

15

De acuerdo con el algoritmo de la Figura 5 se seleccionan primero el parámetro de control K_{dnN} y la función de control descrita anteriormente e ilustrada mediante una forma de una curva que muestra NH_4 como una función de NO_3 . Se determina entonces si implementar una primera acción de control, tal como detener el suministro de nitrato o mantener la aireación detenida y esta acción es implementada de modo que se alcancen condiciones anaeróbicas. Se mide un segundo parámetro de sistema que es la concentración de PO_4 y se selecciona el segundo parámetro de control K_{dnbiop} . Se selecciona una segunda función de control que tiene el parámetro de control dPO₄ como una función de la concentración total de NH_4 y NO_3 y se determina esta función junto con una medición de la concentración de NH_4 y sobre esta base, cuya acción de control debería ser implementada. En este caso, la elección es entre el suministro de nitrato, aireación y suministro de fuentes de carbono. Cuando se selecciona e implementa la aireación o suministro de nitrato, la sección de purificación abandona las condiciones anaeróbicas. Cuando se selecciona la aireación, la sección va a condiciones aeróbicas. Sobre la base de los parámetros de sistema NH_4 y NO_3 medidos, se selecciona un tercer parámetro de control, K_{nN} , junto con una tercera función de control descrita anteriormente e ilustrada mediante una curva que muestra NH_4 como una función de NO_3 . Esta curva puede ser la misma de antes o puede ser otra curva. Se selecciona e implementa entonces una tercera acción de control, por ejemplo aireación continua, suspendiendo la aireación, permitiendo así que la sección alcance condiciones anóxicas. Se mide un 4º parámetro de sistema que es la concentración de PO_4 y se selecciona el 4º parámetro de control K_{nbiop} . Se selecciona una 4ª función de control que tiene PO_4 como una función del promedio de concentración de PO_4 de 24 horas y se determina esta función junto con una medición de la concentración de NH_4 y sobre la base de esta, cuya acción de control debería ser implementada, por ejemplo suspender la aireación y permitiendo así que la sección alcance condiciones anóxicas. Usando el 4º parámetro de sistema, puede prolongarse la fase de aireación si se desea.

35

La Figura 6A y B muestra cómo una estrategia de control puede ser adaptada a dependencia de la carga.

La actividad del fósforo biológico genera dinámica de ortofosfato (PO_4) dentro del ciclo operacional, de manera similar a aquella del NH_4 . Una elevada actividad de fósforo biológico significa grandes variaciones en la concentración de PO_4 , pero tiene sólo un efecto marginal sobre el promedio de concentración en el reactor. Pero pueden obtenerse concentraciones significativamente inferiores de PO_4 efluente, debido a la optimización del flujo de efluente (es decir la oportunidad del flujo de salida) y al hecho según el cual la concentración de PO_4 tiene una correlación positiva con la concentración de NH_4 (PO_4 es bajo al mismo tiempo que el NH_4 es bajo). En consecuencia, una estrategia EBPR debería promover la variación en la concentración de PO_4 y esto es logrado introduciendo una fase anaeróbica en el ciclo operacional.

40

La idea de control básico es simple y podría ser vista como una adición a la estrategia estándar de retirada de nitrógeno, descrita anteriormente. Consiste en criterios adicionales para PO_4 , que necesitan ser satisfechos adicionalmente a K_N o K_{DN} para terminar una fase. Estos criterios adicionales de PO_4 son $PO_4 < P_{bajo}$ (final de la fase aeróbica) y $PO_4 > P_{alto}$ (final de la fase anaeróbica), donde P_{bajo} y P_{alto} son límites de PO_4 definidos anteriormente (o como se verá posteriormente, calculados). Este ciclo de fase es en principio como sigue. Después de la disminución de NO_3 , se prolonga la fase anóxica y, en consecuencia, se desarrolla hasta una fase anaeróbica. Durante la fase anaeróbica, la concentración de PO_4 aumenta debido a la liberación de fósforo almacenado internamente en la célula. La fase anaeróbica termina cuando se satisface K_{DN} y la concentración de PO_4 está por encima de P_{alto} . Durante la

50

siguiente fase aeróbica, PO_4 descenderá dado que el fósforo es almacenado internamente por los PAO's. La fase aeróbica continúa hasta que se satisface k_N y la concentración de PO_4 es inferior a P_{bajo} . La estrategia de control puede ser resumida en dos reglas principales:

final de la fase aeróbica (N) si k_N y $PO_4 < P_{bajo}$ y

5 final de la fase anóxica/anaeróbica (DN) si k_{DN} y $PO_4 > P_{alto}$.

Hasta aquí la estrategia es relativamente simple. Sin embargo, como se describió anteriormente con valores fijos predefinidos sobre P_{bajo} y P_{alto} , respectivamente, la estrategia fallaría tan pronto como cambie la carga a la planta o las ratas biológicas. Tienen que imponerse algunos requerimientos adicionales a la estrategia, para que sea funcional y esto será discutido posteriormente.

10 Un prerequisite importante de la estrategia de control es que el EBPR no debería tener o tener sólo un efecto negativo menor sobre las concentraciones de nitrógeno efluente. Esto limita la estrategia EBPR a periodos en los que hay un exceso de capacidad de retirada de nitrógeno (capacidad de nitrógeno -carga de nitrógeno > 0), dado que se requiere la desnitrificación completa para obtener condiciones anaeróbicas. Este exceso de capacidad es encontrado típicamente cuando la carga de nitrógeno es baja o cuando las ratas de nitrificación y desnitrificación son altas, por
15 ejemplo durante el verano. Por supuesto, las fases de nitrificación y desnitrificación pueden ser ajustadas para obtener condiciones anaeróbicas incluso cuando la planta no tiene capacidad extra, pero esto daría como resultado una elevada concentración de nitrógeno efluente. Esto es indeseado dado que, en contraste con PO_4 , las sustancias químicas de precipitación no pueden retirar nitrógeno. Así, generalmente tiene que priorizarse la retirada de nitrógeno y aplicarse EBPR sólo cuando la carga de nitrógeno es más pequeña que la capacidad de retirada de nitrógeno.

20 Relacionando los niveles P_{alto} y P_{bajo} con la situación de carga de nitrógeno/capacidad, se incorpora la dependencia hacia la carga en la estrategia. Esto es logrado cuando $P_{intervalo}$ es una función de la capacidad de retirada de exceso, de acuerdo con la Figura 6A ($P_{intervalo} = P_{alto} - P_{bajo}$). Así, baja capacidad de exceso da como resultado un $P_{intervalo}$ pequeño y esto, a su vez, permite que el criterio $PO_4 > P_{alto}$ sea satisfecho rápidamente, lo cual da como resultado un tiempo anaeróbico corto (o no tiempo anaeróbico). Por otro lado, una capacidad de exceso grande da como resultado
25 un $P_{intervalo}$ grande y un tiempo anaeróbico más largo. La Figura 6B ilustra la idea. Considere las fases a la izquierda de la Figura. Aquí, hay capacidad en exceso y, en consecuencia, se impondrá tiempo anaeróbico. Es la concentración de PO_4 la que determina la longitud de la fase (los criterios de nitrógeno son satisfechos antes que los criterios de PO_4). Sin embargo, después del cambio de carga, ya no hay capacidad en exceso. P_{alto} es reducido, lo cual significa que los criterios $PO_4 > P_{alto}$ serán satisfechos más pronto con una fase anaeróbica más corta como resultado. Las siguientes fases son más largas dado que los criterios de nitrógeno están ahora determinando las fases y por ello se permite que las concentraciones de PO_4 excedan P_{alto} y P_{bajo} . Es importante notar que incluso aunque es tentador pensar que bajos valores de P_{alto} y P_{bajo} dan la mejor reducción de PO_4 , no es posible mantener estos valores bajos por mucho tiempo, dado que los PAO's requieren tiempo anaeróbico para permanecer en el sistema.

35 Es evidente que los parámetros de la función en la Figura 6A serán muy decisivos para la estrategia y pueden ser usados para la optimización de y priorización entre retirada de fósforo biológico y nitrógeno. Generalmente la capacidad de retirada de nitrógeno no está disponible como una variable pero puede ser estimada utilizando la dinámica inherente de una planta alterna. Tanto la carga entrante de nitrógeno como la capacidad actual de nitrificación y desnitrificación son estimadas en línea y los estimados se basan en las mismas mediciones usadas para los criterios de nitrógeno, es decir NO_3 y NH_4 . La pendiente de la función está relacionada directamente con la actividad de bio-P o, más exactamente, con las ratas de liberación biológica y absorción de PO_4 . Una pendiente empinada corresponde a elevadas ratas, es decir actividad bio-P completamente establecida. Las ratas de liberación y absorción de PO_4 pueden ser estimadas en línea de manera similar a las ratas de nitrificación/desnitrificación. Una estrategia que se basa en la estimación de ratas de nitrógeno y fósforo, no sólo da una estrategia dependiente de la carga. También se ajustará a sí misma a los cambios en el proceso, es decir es una estrategia completamente adaptativa.

45 Lo que queda es hacer la priorización entre retirada de nitrógeno y fósforo. Esto es determinado por el intercepto de la función y el eje x. Un valor negativo (es decir en capacidad baja) pone alta prioridad en la retirada EBPR de fósforo, dado que usará algo de la capacidad de retirada de nitrógeno. Por el contrario, un valor positivo en la capacidad de exceso da una estrategia conservadora que claramente prioriza la retirada de nitrógeno. En la discusión anterior se ha asumido que la función en la Figura 6A es lineal. Esto no es necesariamente así y la función puede ser muy bien
50 no lineal y probablemente debería implementarse saturación discontinua en $P_{intervalo}$, para evitar concentraciones demasiado altas de PO_4 .

Una versión simplificada de la función en la Figura 6A es dejar que $P_{intervalo}$ sea una función de la suma de NO_3 y NH_4 en el reactor. Elevada concentración de nitrógeno ($NH_4 + NO_3$) da como resultado un $P_{intervalo}$ bajo y una baja concentración da un $P_{intervalo}$ alto. Esto significa que la estrategia es todavía dependiente de la carga, en la medida en
55 que puede asumirse que la concentración de nitrógeno en el reactor sea un buen estimativo de la carga de nitrógeno. Sin embargo, para seguir los cambios en las ratas biológicas, tienen que llevarse a cabo alteraciones manuales a los parámetros de la función simplificada.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para controlar una planta de tratamiento de agua residual, que tiene una sección de purificación, comprendiendo dicho procedimiento las etapas de:

5 a) permitir que la sección de purificación alcance condiciones anaeróbicas hasta que la concentración de nitrato sea inferior al nivel $\text{NO}_{3,\text{bajo}}$, donde $\text{NO}_{3,\text{bajo}}$ es una función de las mediciones actuales de amonio y nitrato, y hasta que la concentración de fosfato sea superior al nivel $\text{PO}_{4,\text{alto}}$, donde $\text{PO}_{4,\text{alto}}$ es una función de las mediciones actuales de amonio, nitrato y fosfato,

10 b) permitir que la sección de purificación alcance condiciones aeróbicas hasta que la concentración de amonio sea inferior al nivel $\text{NH}_{4,\text{bajo}}$, donde $\text{NH}_{4,\text{bajo}}$ es una función de las mediciones actuales de amonio y nitrato, y hasta que la concentración de fosfato sea inferior al nivel $\text{PO}_{4,\text{bajo}}$, donde $\text{PO}_{4,\text{bajo}}$ es una función de las mediciones actuales de amonio, nitrato y fosfato,

- comprendiendo el procedimiento además el uso de sensores para medir concentraciones de amonio, nitrato, fosfato y oxígeno disuelto, y recibiendo un controlador valores del sensor y controlando una cantidad de aire aplicado, en el que el procedimiento usa control basado en la medición en línea.

15

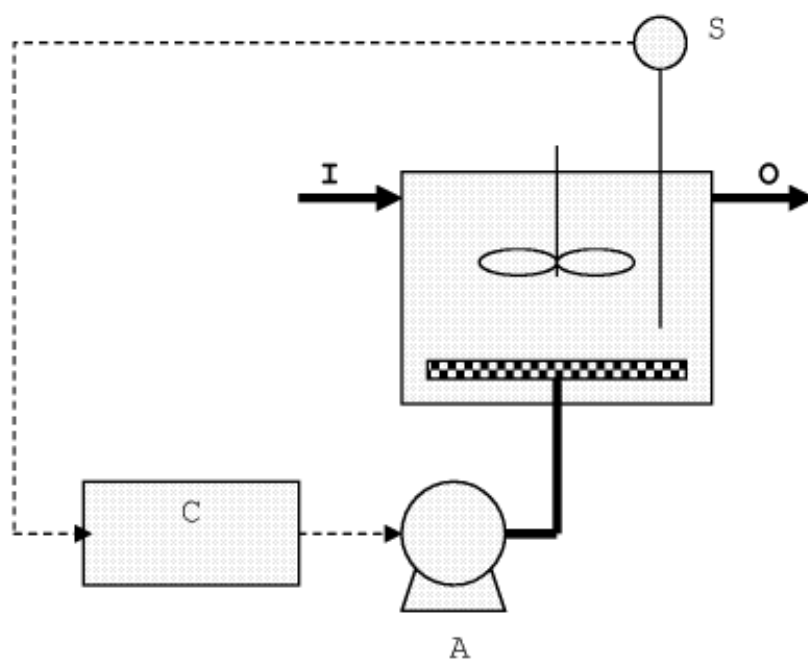


Fig. 1

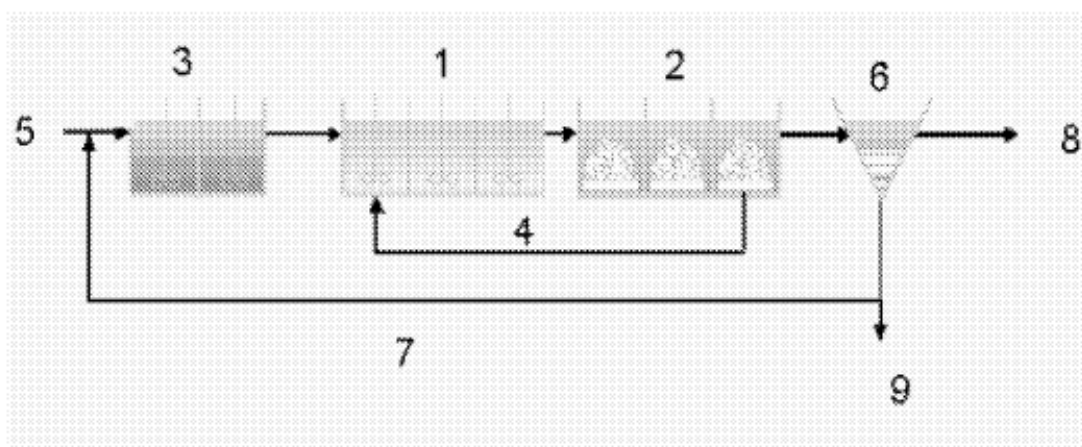


Fig. 2

Fig. 3A

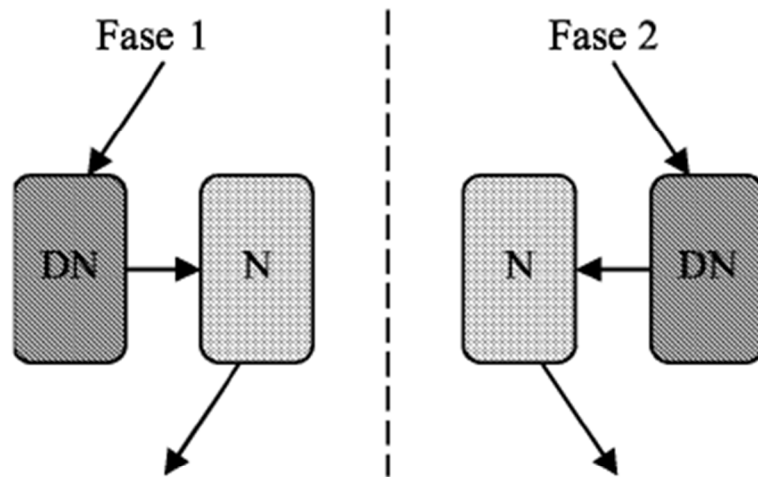


Fig. 3B

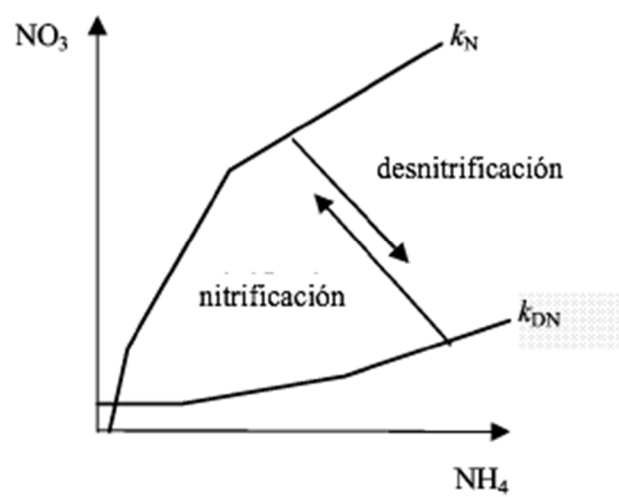
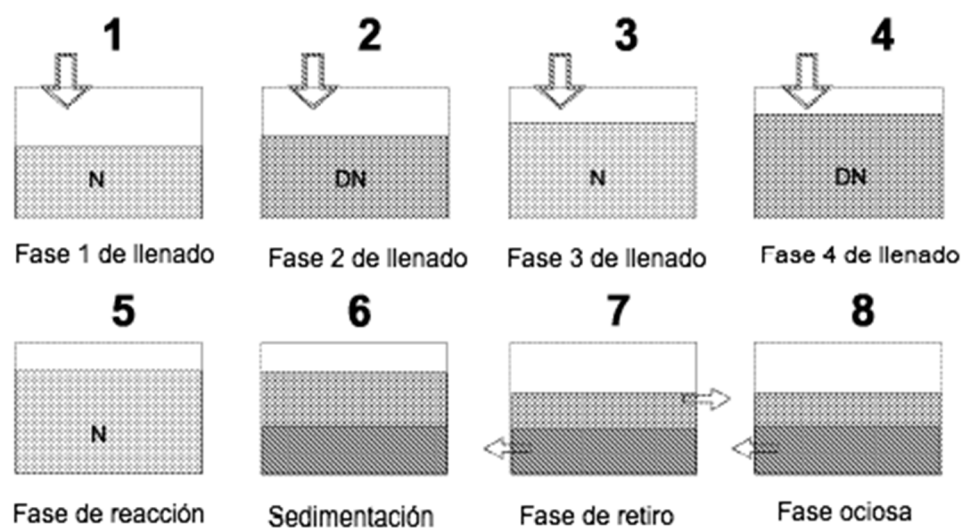


Fig. 4



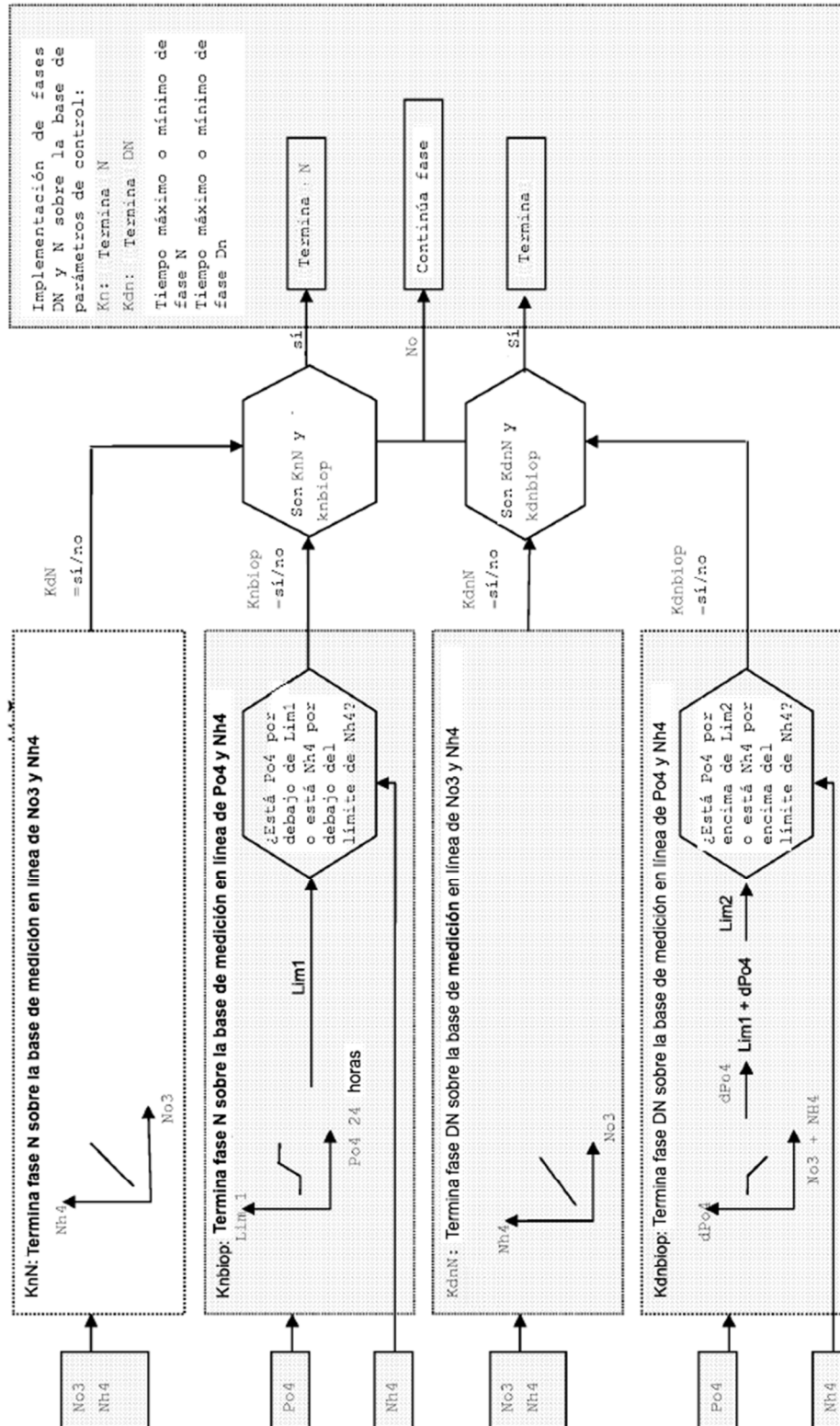
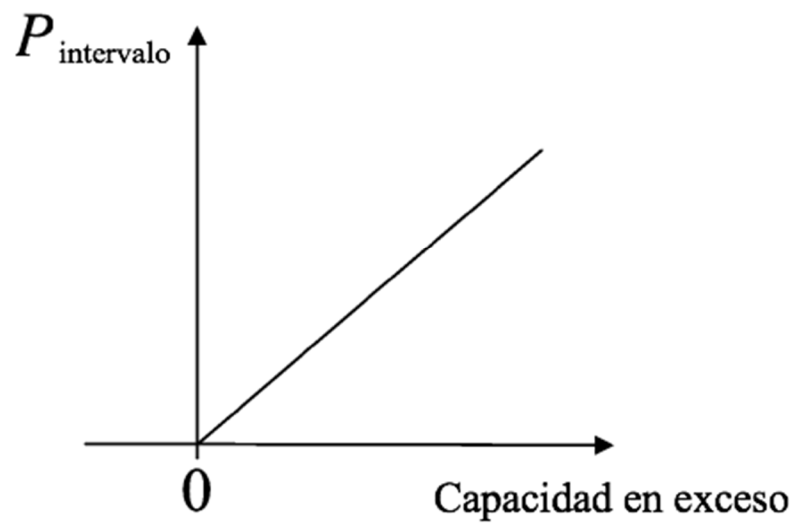


Fig. 5

Fig. 6A



Nh4

