

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad
Intelectual
Oficina internacional



(43) Fecha de publicación internacional
16 de septiembre de 2010 (16.09.2010)

PCT

(10) Número de Publicación Internacional
WO 2010/103151 A1

(51) Clasificación Internacional de Patentes:
G05D 21/00 (2006.01) C02F 3/30 (2006.01)

(21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES2010/070122

(22) Fecha de presentación internacional:
5 de marzo de 2010 (05.03.2010)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:
P200900820 13 de marzo de 2009 (13.03.2009) ES

(71) Solicitantes (para todos los Estados designados salvo US): **UNIVERSITAT DE VALENCIA** [ES/ES]; Avda. Blasco Ibáñez, 13, E-46010 Valencia (ES). **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA** [ES/ES]; Camino de Vera, 14, E-46022 Valencia (ES).

(72) Inventores; e

(75) Inventores/Solicitantes (para US solamente): **RIBES BERTOMEU, Josep** [ES/ES]; Avda. Blasco Ibáñez, 13, E-46010 Valencia (ES). **RUANO GARCÍA, M. Victoria** [ES/ES]; Avda. Blasco Ibáñez, 13, E-46010 Valencia (ES). **SECO TORRECILLAS, Aurora** [ES/ES]; Avda. Blasco Ibáñez, 13, E-46010 Valencia (ES). **FERRER POLO, José** [—/ES]; Avda. Blasco Ibáñez, 13, E-46010 Valencia (ES).

(74) Mandatario: **ILLESCAS TABOADA, Manuel**; C/ Recoletos, 13 5º Izda, E-Ma001 Madrid (ES).

(81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europea (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publicada:

— con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))

(54) Title: CONTROL SYSTEM FOR THE BIOLOGICAL ELIMINATION OF NITROGEN FROM WASTE WATER THROUGH LOW-COST SENSORS

(54) Título : SISTEMA DE CONTROL PARA LA ELIMINACIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE SONDAS DE BAJO COSTE

(57) Abstract: Control system for the biological elimination of nitrogen from waste water through low-cost sensors. The present invention describes a control system based on fuzzy logic permitting optimisation of the biological elimination of nitrogen in continuous predenitrification-type processes having piston-flow circulation or in complete mix reactors. Should reactors be of complete mix type they are required to have at least two differentiated aerobic zones and two differentiated anoxic zones. In the case of reactors of piston-flow type such differentiation is not necessary within each type of reactor (anoxic and aerobic). This control system is based on the use of low-cost sensors of pH and ORP type.

(57) Resumen: Sistema de control para la eliminación biológica de nitrógeno de aguas residuales mediante sondas de bajo coste. La presente invención describe un sistema de control, basado en la lógica difusa, que permite optimizar la eliminación biológica de nitrógeno en procesos en continuo de tipo predesnitrificación con régimen de circulación de flujo de pistón o en reactores de mezcla completa. Si los reactores son de tipo mezcla completa deben disponer de al menos dos zonas diferenciadas aerobias y dos zonas diferenciadas anóxicas. Cuando se trata de reactores de tipo flujo de pistón no es necesaria esta diferenciación dentro de cada tipo de reactor (anóxico y aerobio). Este sistema de control está basado en el uso de sondas de bajo coste de tipo pH y ORP.

WO 2010/103151 A1

SISTEMA DE CONTROL PARA LA ELIMINACIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE SONDAS DE BAJO COSTE

5 CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCIÓN

La presente invención pertenece al campo técnico del control de los procesos de depuración biológica de aguas residuales. Concretamente la invención comprende un sistema de control de la eliminación biológica de nitrógeno en estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) diseñadas para la eliminación biológica de nutrientes, a partir de sondas de bajo coste.

ESTADO DE LA TÉCNICA

Las aguas residuales son afluentes derivados de residuos domésticos o de procesos industriales, los cuales por razones de salud pública y por consideraciones legales, económicas y estéticas, no pueden desecharse vertiéndose sin tratamiento en lagos, ríos o mares. Los materiales inorgánicos comprendidos en ellas, como la arcilla, sedimentos y otros residuos se pueden eliminar por métodos mecánicos y químicos; sin embargo, cuando el material que debe ser eliminado es de naturaleza orgánica, el tratamiento implica otro tipo de procesos, usualmente, actividades de microorganismos que oxidan y convierten la materia orgánica en CO₂, N₂, etc.

Además del objetivo principal de eliminación de materia orgánica que persiguen los procesos de depuración de aguas, la eliminación de los nutrientes del agua residual, principalmente nitrógeno y fósforo está cobrando gran importancia. El vertido de estos nutrientes a las aguas superficiales y marítimas provoca su eutrofización, es decir, la proliferación masiva de plantas en los sistemas acuáticos, con el resultado de trastornos no deseados en el equilibrio entre organismos presentes en el agua y la calidad del agua a la que afecta.

Entre los procesos más extendidos para llevar a cabo la eliminación de nitrógeno y fósforo de las aguas residuales se encuentran los procesos de eliminación por vía biológica. Los tratamientos biológicos de aguas residuales, denominados tratamientos secundarios, están basados fundamentalmente en el hecho de que ciertos microorganismos son capaces de consumir los compuestos orgánicos solubles y

coloidales presentes en el agua residual para utilizarlos como alimento.

Los sistemas de fangos activados son los sistemas de tratamiento biológico más habituales en el tratamiento de aguas residuales. Por fango activado se entiende la biomasa activa responsable del proceso de depuración de las aguas residuales. Este sistema se compone de un tanque de aireación agitado, trabajando en continuo, para promover el crecimiento de los organismos consumidores de materia orgánica, seguido de un tanque de sedimentación (decantador secundario) para separar los fangos biológicos del agua limpia. Los procesos de fangos activados se han desarrollado principalmente para la eliminación de la materia orgánica y los nutrientes (nitrógeno y fósforo).

En función del esquema general del tratamiento biológico, y las condiciones del reactor biológico (aerobio, anóxico y/o anaerobio) se pueden alcanzar diferentes niveles de tratamiento tales como eliminación de materia orgánica exclusivamente (reactor biológico aerobio+decantador secundario), o eliminación conjunta de nutrientes y materia orgánica (reactor biológico anaerobio+reactor biológico anóxico+reactor biológico aerobio+decantador secundario).

Las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs), también llamadas plantas de depuración, tienen el objetivo genérico de conseguir, a partir de aguas residuales afluentes y mediante diferentes procedimientos físicos, químicos y biológicos, un agua efluente de mejores características de calidad, tomando como base ciertos parámetros normalizados y estandarizados.

El principal objetivo en la explotación de las estaciones depuradoras de aguas residuales, no es sólo el cumplimiento de los límites de vertido marcados por la legislación, sino además minimizar el consumo de energía. Todo esto implica la correcta explotación de las actuales estaciones depuradoras de aguas residuales y, en muchos casos, el incremento del rendimiento de muchas de las estaciones depuradoras de aguas residuales ya construidas para adaptarlas a las actuales necesidades. La gran cantidad de factores que influyen en el funcionamiento de estos procesos y la variabilidad del afluente a tratar, hace necesario el control de los sistemas de depuración para cumplir requisitos de vertido y minimizar el consumo energético, teniendo en cuenta tanto las características del agua residual a tratar como el tipo de proceso de depuración para el cual ha sido diseñada la estación depuradora

de aguas residuales. En general, estos sistemas de control están basados en la lógica difusa, también llamada lógica Fuzzy (Serralta et al 2002, Puñal et al 2003), ya que suponen una alternativa viable para sistemas con un comportamiento no lineal y muy dinámico como es el caso de los procesos de fangos activados. Esta lógica, en la que
5 están basados los controladores difusos, es una rama de la inteligencia artificial que intenta reproducir la forma de pensar de los seres humanos y por tanto, admite los problemas en los que hay incertidumbre e imprecisión, al contrario de lo que sucede con la lógica clásica (Booleana). Básicamente, la lógica difusa proporciona un medio efectivo para interpretar la naturaleza inexacta del mundo real.

10 Actualmente, los sistemas de control de nitrógeno implementados en las EDARs que incorporan eliminación biológica de nitrógeno, mediante fangos activados, están basados en analizadores *on-line* que miden las concentraciones de nitrato en las zonas anóxicas y óxicas y las de amonio en las zonas óxicas del proceso de depuración. El uso de sondas de bajo coste en inversión inicial y en
15 mantenimiento, tales como sondas ORP (potencial redox) y sondas de pH, supone una gran ventaja como posible alternativa a los analizadores *on line* dado el creciente interés en la minimización, no sólo de los costes de inversión de una EDAR, sino también de operación. El uso de estas sondas ha resultado ser una técnica viable y económica para el control de procesos de eliminación biológica de nutrientes en
20 discontinuo (Y.Z. Peng. et al. 2002, N. Kishido et al., 2003; B.S. Akin et al., 2005; M.Pius et al. 2007). Sin embargo su aplicación a procesos de fangos activados en continuo no está tan extendida.

En el campo del tratamiento biológico de aguas residuales, existen documentos en los que se detallan la aplicación de las etapas de nitrificación-
25 desnitrificación y aireación, con vistas a la reducción de la carga orgánica y de nitrógeno presente, así como referencias a la utilización de la lógica difusa como modelo de decisión en la automatización de la operación de tratamientos de aguas residuales. Pero en dichas referencias se han utilizado sistemas de control basados en la lógica difusa utilizando analizadores *on line* de nutrientes.

30 Existen documentos que describen el uso de sondas ORP, pH y OD (oxígeno disuelto) para el control de la evolución del tratamiento del agua residual (Ma Y. et al. 2006; Y.Z. Peng. et al. 2006). En ellos se contempla que es plausible el

establecimiento de medidas de control del proceso de nitrificación mediante medidas de pH y de OD en las etapas de nitrificación. Se cita la correlación entre las medidas de sondas ORP y la evolución de la concentración de nitrato y amonio en el reactor aerobio, la correlación entre el ORP y la concentración de nitrato en el reactor anóxico, y la correlación entre el OD y la concentración de amonio afluente. Los datos proporcionados por dichas sondas (pH, ORP y OD) alimentan a modelos de lógica difusa para las operaciones del procedimiento.

En la presente invención se describe un sistema de control basado en la lógica difusa que permite optimizar la eliminación biológica de nitrógeno en procesos en continuo de fangos activados, con configuraciones de tratamiento de predesnitrificación. Las configuraciones de tratamiento de predesnitrificación corresponden con aquellas que integren en el proceso biológico una etapa anóxica que preceda a una etapa aerobia, tales como: las configuraciones en continuo de Ludzack-Ettinger modificado (Barnard, 1973), la configuración A²/O (Hong et al., 1981) o la configuración UCT (Universidad Cape Town) (Ekama et al., 1983). En concreto la presente invención fue validada en un esquema de tratamiento biológico UCT. Los procesos UCT se desarrollaron en la universidad de Cape Town a mediados de los 80's. Estos sistemas incluyen tres zonas básicas: anaerobia, anóxica y aerobia y 2 caudales de recirculación interna.

El sistema de control descrito en la presente invención se basa en el uso de sondas de bajo coste, ORP (potencial redox) y pH, sin necesidad del empleo de analizadores *on line* de amonio y nitrato. Además de la reducción de costes de inversión, mantenimiento y operación, las sondas de bajo coste propuestas presentan unos tiempos de repuesta menores que los analizadores *on line* de nutrientes. Adicionalmente un menor tiempo de respuesta de las sondas implica una optimización en el funcionamiento del controlador. Este sistema de control ha sido implementado en una aplicación informática para ser ejecutado desde el PC de control de la EDAR. Además el sistema descrito en la presente invención se ha validado en una planta piloto de eliminación biológica de nutrientes, alimentada con agua residual procedente de una EDAR. En contraste con otros estudios realizados con agua residual sintética (Y.Z. Peng et al., 2006), la realización de estas pruebas

con agua residual afluyente a una EDAR, confiere mayor fiabilidad a la hora de aplicar el sistema de control desarrollado a escala industrial.

La singularidad de este sistema de control es la sustitución del uso general de analizadores de nutrientes *on line*, por sondas de bajo coste, de tipo ORP y pH. Se diferencia de los sistemas descritos en el estado de la técnica, en que los sistemas descritos en el estado de la técnica son específicos para un tratamiento en continuo del agua residual según el esquema A/O (reactor anóxico+reactor aerobio, con 2 recirculaciones internas al primer reactor anóxico), además difieren en la ubicación y número de sondas de pH y ORP y en el uso adicional de sondas OD, así como en el esquema de decisión del método de lógica difusa, ya que proponen un sistema de control del proceso de nitrificación y aireación integrado en un mismo algoritmo de decisión. Otra diferencia destacable es que, en los documentos antes mencionados, las correlaciones entre las sondas de bajo coste empleadas (pH, ORP, OD) y los procesos de nitrificación y desnitrificación se han obtenido a partir del seguimiento analítico de la concentración de nitrógeno y amonio en las zonas aerobias y anóxicas del reactor. En cambio, en la presente invención, la validación del uso de las sondas de bajo coste (pH y ORP), se ha realizado a partir del seguimiento de analizadores de nutrientes de amonio y nitrato (contrastando sus valores con las correspondientes medidas analíticas en laboratorio), realizando de este modo un análisis comparativo y validando el uso de sondas de bajo coste como una mejor alternativa al uso de analizadores *on line* de nutrientes. Por otro lado, como se ha mencionado anteriormente, el sistema de control de la presente invención se ha validado en una planta piloto de eliminación de nutrientes alimentada con agua procedente de una EDAR. Estas diferencias hacen que el sistema de control de la presente invención ofrezca una reducción en los costes de inversión inicial y de mantenimiento, una mayor facilidad de operación, y una alternativa viable al uso de analizadores *on line* de nutrientes.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Breve descripción de la invención

En la presente invención se describe un sistema de control, basado en la
5 lógica difusa, que permite optimizar la eliminación biológica de nitrógeno en
procesos en continuo de tipo predesnitrificación (etapa anóxica previa a la aerobia)
con régimen de circulación de flujo de pistón o en reactores de mezcla. Dicho
sistema de control se basa en el uso de sondas de bajo coste, de tipo ORP y pH, sin
necesidad del empleo de analizadores de nutrientes *on line*. A partir de las medidas
10 tomadas de las sondas de pH y ORP se ejecutan dos algoritmos de lógica difusa. Con
los resultados obtenidos se modifica la consigna de oxígeno disuelto perteneciente al
controlador de aireación de la EDAR y al caudal de recirculación interna de la zona
aerobia a la anóxica. Con este control se optimiza la eliminación biológica de
nitrógeno en procesos continuos de predesnitrificación.

15 Este sistema de control ha sido implementado en una aplicación informática
para ser ejecutado desde el PC de control de la EDAR. Además, el sistema descrito
en la presente invención, se ha diseñado y validado en una planta piloto de
eliminación biológica de nutrientes, alimentada con agua residual procedente de una
estación depuradora de aguas residuales.

20 A efectos de la presente invención, se hacen constar los siguientes términos:

- Afluente: líquido que llega a una planta depuradora para su posterior tratamiento.
- Efluente: líquido procedente de una planta depuradora después de su tratamiento.
- Anóxico: sistema capaz de desarrollar sus funciones en ausencia de oxígeno y presencia de nitratos.
- 25 - Aerobio: sistema que necesita de la presencia de oxígeno para realizar sus funciones.
- Anaerobio: sistema caracterizado por la ausencia de oxígeno y nitrato, donde se llevan a cabo funciones específicas.
- Procesos en continuo: aquellos procesos en los que los tratamientos de las aguas
30 residuales se desarrollan secuencialmente en diferentes tanques.
- Procesos en discontinuo: aquellos procesos en los que los tratamientos de las aguas residuales se realizan mediante ciclos de depuración. Un mismo reactor opera en

función del tiempo en diferentes condiciones biológicas (aerobia, anaerobia y/o anóxicas).

- Reactores de mezcla completa: la característica de estos reactores es que la concentración de materia orgánica, de microorganismos, así como las características del proceso en general, se mantienen constantes en todo el volumen de reacción.
- Reactores de flujo de pistón: la característica de estos reactores es la variación a lo largo de su longitud de la concentración de materia orgánica, de microorganismos y de las características del proceso en general. Habitualmente se construyen en forma de canal. Su configuración se puede obtener a partir de la disposición de varios reactores de mezcla completa en serie.

Descripción de las Figuras:

Figura 1. Esquema de planta con una configuración de tratamiento tipo UCT compuesta por 5 reactores de mezcla completa. an: anaerobio; ax: anóxico; o: inicial; f: final; ae: aerobio; A: afluente; E: efluente; DC: decantador secundario; CD: controlador de desnitrificación; CA: controlador de la aireación; CN: controlador de nitrificación; Q_L : caudal de recirculación interna; ΔQ_L : incremento del caudal de recirculación interna; ODC: consigna de la concentración de oxígeno disuelto; ΔODC : incremento de la consigna de la concentración de oxígeno disuelto; ORP: potencial redox.

Figura 2. Algoritmo de control utilizado en el proceso de nitrificación. Representación de las cinco etapas difusas que comprenden el algoritmo de control. Los números 1, 2, 3, 4 y 5 representan cada una de las cinco etapas difusas que comprende el algoritmo. E: entrada; S: salida, ae: aerobio; $\epsilon_{dpHae,M}$: error de la media móvil de la diferencia de pH entre la primera zona aerobia y la última zona aerobia (Ecuación 2); $\Delta \epsilon_{dpHae,M}$: variación del error de la media móvil de la diferencia de pH entre la primera zona aerobia y la última zona aerobia (Ecuación 3); $\mu()$: función de pertenencia de la variable física a la variable difusa (Ecuación 4); GN: variable difusa Grande Negativo; PN: variable difusa Pequeño Negativo; PP: variable difusa Pequeño Positivo; GP: variable difusa Grande Positivo; C: variable difusa Cero;

ODc: consigna de la concentración de oxígeno disuelto; ΔODc : incremento de la consigna de la concentración de oxígeno disuelto.

Figura 3. Controlador de nitrificación sin especificar las reglas de lógica difusa aplicadas. CN: controlador de nitrificación; ae: aerobio; o: inicial; f: final; $\epsilon_{dpHae,M}$:

5 error de la media móvil de la diferencia de pH entre la primera zona aerobia y la última zona aerobia (Ecuación 2); $\Delta \epsilon_{dpHae,M}$: variación del error de la media móvil de la diferencia de pH entre la primera zona aerobia y la última zona aerobia (Ecuación 3); ODc: consigna de la concentración de oxígeno disuelto; ΔODc : incremento de la consigna de la concentración de oxígeno disuelto.

10 **Figura 4.** Algoritmo de control utilizado en el proceso de desnitrificación. Representación de las cinco etapas difusas que comprenden el algoritmo de control. Los números 1, 2, 3, 4 y 5 representan cada una de las cinco etapas difusas que comprende el algoritmo. E:entrada; S:salida, ax: anóxico; ORP: potencial redox; dORP: diferencia de potencial redox entre la primera zona anaerobia y la última zona

15 anóxica (Ecuación 9); $\Delta dpH_{ax,M}$: evolución de la media móvil de la diferencia de pH entre la última zona anóxica y la última zona aerobia (Ecuación 10); $\mu()$: función de pertenencia de la variable física a la variable difusa (Ecuación 4); GN: variable difusa Grande Negativo; PN: variable difusa Pequeño Negativo; PP: variable difusa Pequeño Positivo; GP: variable difusa Grande Positivo; C: variable difusa Cero; Q_L :

20 caudal de recirculación interna; ΔQ_L : incremento del caudal de recirculación interna.

Figura 5. Controlador de desnitrificación sin especificar las reglas de lógica difusa aplicadas. CD: controlador de desnitrificación an: anaerobio; ax: anóxico; o: inicio; f: final; Q_L : caudal de recirculación; ΔQ_L : incremento del caudal de recirculación interna; (-): muy negativo; (+): positivo; ORP: potencial redox; dORP: diferencia de

25 potencial redox entre la primera zona anaerobia y la última zona anóxica (Ecuación 9); $\Delta dpH_{ax,M}$: evolución de la media móvil de la diferencia de pH entre la última zona anóxica y la última zona aerobia (Ecuación 10).

Descripción detallada de la invención

30 La presente invención describe un sistema de control, basado en la lógica difusa, del proceso de eliminación biológica de nitrógeno en procesos continuos de

tipo desnitrificación- nitrificación con régimen de circulación de flujo de pistón o en reactores de mezcla completa, en Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR). Dicho sistema de control permite optimizar el funcionamiento del proceso de fangos activados, ya que mantiene el nitrógeno por debajo de los límites de
5 vertido con el mínimo consumo energético mediante el uso de un controlador que toma sus datos de sondas de bajo coste de tipo pH y ORP (potencial redox). El controlador ha sido implementado en una aplicación informática para ser ejecutado desde el PC de control de la EDAR. Este controlador se ha diseñado y validado en una planta piloto de eliminación biológica de nitrógeno y fósforo (con un esquema de
10 tratamiento UCT), alimentada con agua residual procedente de una estación depuradora de aguas residuales.

La configuración de la planta tiene que disponer como mínimo de un reactor anóxico (donde se produce la desnitrificación) seguido de otro reactor aerobio (donde se produce la nitrificación), con un caudal variable de recirculación de agua del
15 aerobio al anóxico. Si los reactores son de tipo mezcla completa deben disponer de al menos dos zonas diferenciadas aerobias y dos zonas diferenciadas anóxicas. Cuando se trata de reactores de tipo flujo de pistón no es necesaria esta diferenciación dentro de cada tipo de reactor (anóxico y aerobio), debido al flujo longitudinal característico de este tipo de reactores (Figura 1). En este sentido, el sistema de control descrito en
20 la presente invención se compone de 2 controladores independientes basados en el sistema de lógica difusa:

* Controlador del proceso de nitrificación: modifica la consigna de oxígeno disuelto del reactor aerobio a partir de dos sondas de pH situadas en la primera y en la última zona aerobia. En la Figura 1 se representa la aplicación de la presente
25 invención a la planta piloto de una EDAR.

* Controlador del proceso de desnitrificación: modifica el caudal de recirculación interna del reactor aerobio al anóxico, a partir de la diferencia de pH dado por dos sondas de pH, situadas en la primera y la última zona anóxica, y del valor del ORP en la última zona anóxica. Si la EDAR cuenta con un reactor
30 anaerobio, también se utilizará una sonda adicional de ORP localizada en la última zona anaerobia, utilizándose la diferencia de ORP entre la sonda situada en la última zona anaerobia y el ORP de la última zona anóxica para el sistema de control. En la

planta piloto de la EDAR en la que se ha llevado a cabo el proceso de validación de la presente invención, se disponía de reactor anaerobio (Figura 1).

Por un lado, para poder controlar el proceso de nitrificación, la EDAR ha de disponer de un sistema de control de la aireación. El sistema de control de la
5 aireación de una EDAR controla la concentración de oxígeno del reactor aerobio, manteniéndola a una consigna determinada. En este caso, el controlador del proceso de nitrificación actúa como control supervisor de la consigna de concentración de oxígeno disuelto del reactor aerobio, modificándola en función de las condiciones del proceso de nitrificación. De esta manera se minimiza el consumo energético,
10 manteniendo al mínimo la aireación siempre y cuando la concentración de amonio en el efluente cumpla con las condiciones de vertido específicas.

Por otro lado, para poder modificar el caudal de recirculación interna del reactor aerobio al anóxico, la EDAR ha de disponer de un variador que permita modificar el caudal de la bomba de recirculación interna. El sistema de control del
15 proceso de desnitrificación sólo incrementará el caudal cuando el proceso tenga capacidad para desnitrificar el incremento de nitrato asociado al aumento de la recirculación interna. Por este motivo este sistema de control también minimiza el coste energético derivado de los costes de bombeo (Figura 1).

A partir de las medidas tomadas de las sondas de pH y ORP (potencial Redox) se ejecutan dos algoritmos de lógica difusa. Con los resultados obtenidos se
20 modifica por un lado la consigna de oxígeno disuelto perteneciente al controlador de aireación de la EDAR y por otro el caudal de recirculación interna de la zona aerobia a la anóxica, optimizando la eliminación biológica de nitrógeno en procesos en continuo.

Los algoritmos de control han sido implementados en una aplicación informática para su ejecución desde el PC de control de la EDAR. Esta aplicación
25 permite, mediante la comunicación entre el sistema de adquisición de datos, SCADA, de la EDAR, realizar las acciones de control sobre los elementos finales de control manteniendo los valores de las variables de control en los respectivos valores
30 de consigna.

La invención no está restringida a este tipo de esquema, sino que es aplicable a cualquier sistema en continuo de eliminación biológica de nutrientes en el que

exista al menos dos zonas anóxicas seguidas de dos zonas aerobias, para reactores de tipo mezcla completa, o una zona anóxica seguida de una zona aerobia para reactores de tipo flujo de pistón.

El sistema de control desarrollado en la presente invención consta de dos
5 algoritmos de control independientes, basados en la lógica difusa, para el proceso de eliminación biológica de nitrógeno. Con uno de los algoritmos se controla el proceso de nitrificación para optimizar la eliminación de amonio en la zona aerobia llevado a cabo por los organismos autótrofos que oxidan el amonio a nitrato. El otro de los algoritmos utilizados controla el proceso de desnitrificación para la eliminación o el
10 aprovechamiento del nitrato como aceptor de electrones, con el objetivo de disminuir el consumo energético global del proceso de fangos activados. El proceso de desnitrificación tiene lugar en la etapa anóxica, donde los organismos heterótrofos utilizan el nitrato como aceptor de electrones reduciéndolo a nitrógeno gas que se difunde directamente a la atmósfera.

El sistema de control descrito en la presente invención es aplicable a
15 configuraciones de EDAR de sistemas en continuo con régimen de circulación en flujo de pistón o en reactores de mezcla completa. Si los reactores son de tipo mezcla completa deben disponer de al menos dos zonas diferenciadas aerobias y dos zonas diferenciadas anóxicas. Cuando se trata de reactores de tipo flujo de pistón no es
20 necesaria esta diferenciación dentro de cada tipo de reactor (anóxico y aerobio), debido al flujo longitudinal característico de este tipo de reactores. Además dicha EDAR ha de disponer de un sistema de control de la aireación que controle la concentración de oxígeno disuelto en la zona aerobia, ya que el sistema de control del proceso de nitrificación actúa como control supervisor de la consigna de oxígeno
25 disuelto del sistema de control de la aireación. En general una EDAR dispone de sistemas de control de la aireación donde la consigna de oxígeno disuelto del reactor aerobio se establece manualmente. Habitualmente estas consignas de oxígeno suelen establecerse en valores elevados para cumplir requisitos de vertido en materia orgánica y nutrientes. Con el sistema de control de la nitrificación propuesto, el valor
30 de consigna de oxígeno disuelto se establecerá automáticamente a través del controlador, en función de las necesidades de aireación de cada momento. De este modo el sistema de control de la invención supone un ahorro energético considerable

en la explotación de una EDAR.

La EDAR también ha de disponer de un variador que modifique el caudal de recirculación interna de nitratos del reactor aerobio al anóxico, ya que el sistema de control del proceso de desnitrificación de la presente invención, modifica este caudal en función de las condiciones del proceso.

Las variables a manipular por cualquier sistema de control dependerán de la configuración de la EDAR para la eliminación biológica de nutrientes. En la presente invención, el sistema de control desarrollado es aplicable a sistemas de eliminación biológica de nitrógeno con esquemas de tratamiento de tipo predesnitrificación, pudiendo incluir también eliminación biológica de fósforo. siempre que exista una etapa anaerobia previa a la etapa anóxica. Según este tipo de esquemas de tratamiento, en el proceso de nitrificación, el principal parámetro de control es la concentración de amonio y/o la concentración de nitrato al final de la etapa aerobia, manipulando la concentración de oxígeno del reactor aerobio, y en el proceso de desnitrificación, la concentración de nitrato al final de la etapa anóxica y al final de la etapa aerobia, modificando el caudal de recirculación del aerobio al anóxico.

Así el objeto de la presente invención se refiere a un sistema de control de la eliminación biológica de nitrógeno en procesos en continuo de tratamiento de líquidos afluentes residuales, que comprendan, secuencialmente, al menos una zona de tratamiento en anoxia, dónde se produce la desnitrificación y, al menos, una zona de tratamiento en aerobiosis, donde se produce la nitrificación, de los afluentes, con un caudal variable de recirculación de la zona aerobia a la anóxica, caracterizado porque dispone, al menos, de un primer y de un segundo controlador independientes,

- un primer controlador, del proceso de desnitrificación, que dispone de al menos una sonda de pH en la zona anóxica, calculando este primer controlador la diferencia entre los valores de pH de cada zona anóxica, y además, dispone de una sonda de ORP en la última zona anóxica, determinando dicha diferencia de pH junto con el valor de la sonda ORP el caudal de recirculación interna de la zona aerobia a la anóxica;

- un segundo controlador, del proceso de nitrificación que modifica la consigna de oxígeno disuelto en la zona aerobia, a partir de al menos una sonda de pH dispuesta en dicha zona, que efectúa mediciones periódicas del pH

correspondiente, calculando este segundo controlador la diferencia entre los valores de pH de cada zona aerobia.

En una realización preferida, el sistema de control de la presente invención, se caracteriza por comprender en el proceso continuo de tratamiento de líquidos
5 afluentes residuales, adicionalmente, al menos una zona de tratamiento inicial en anaerobiosis, disponiendo entonces el sistema de, al menos, una sonda redox ORP adicional, situada en dicha zona anaerobia, calculando también el segundo controlador, la diferencia de potenciales redox entre la zona anaerobia y la zona anóxica.

10 En otra realización preferida, cuando el sistema de control de la presente invención es llevado a cabo mediante régimen de circulación de flujo de pistón dispone de:

- al menos una sonda de pH en la primera y última zona aerobia,
- al menos una sonda de pH en la primera y última zona anóxica
- 15 - una sonda redox en la última zona anóxica
- una sonda redox adicional situada en la última zona anaerobia;

Y, cuando es llevado a cabo mediante un régimen de circulación en reactores de mezcla completa dispone de:

- al menos una sonda de pH en la primera y última zona aerobia,
- 20 - al menos una sonda de pH en la primera y última zona anóxica
- una sonda redox en la última zona anóxica
- una sonda redox adicional situada en la última zona anaerobia.

En otra realización preferida, el sistema de control de la presente invención se
25 caracteriza porque la zona aerobia dispone de un sistema de control de la aireación que modifica la consigna de oxígeno disuelto y la zona anóxica dispone de un variador que modifica el caudal de recirculación de la zona aerobia a la anóxica.

El segundo objeto de la presente invención se refiere al procedimiento de
eliminación biológica de nitrógeno en procesos en continuo de tratamiento de
30 líquidos afluentes residuales, que comprendan, secuencialmente, al menos una zona de tratamiento en anoxia y, al menos, una zona de tratamiento en aerobiosis, de

dichos afluentes, con un caudal variable de recirculación de la zona aerobia a la zona anóxica caracterizado por utilizar el sistema de control descrito anteriormente.

En una realización preferida, el procedimiento de la presente invención se caracteriza por comprender en el proceso continuo de tratamiento de líquidos
5 afluentes residuales, adicionalmente, al menos una zona de tratamiento inicial en anaerobiosis.

En otra realización preferida, el procedimiento de la presente invención se caracteriza porque cuando el proceso en continuo es llevado a cabo mediante un régimen de circulación de flujo de pistón el sistema de control dispone de:

- 10
- al menos una sonda de pH en la primera y última zona aerobia,
 - al menos una sonda de pH en la primera y última zona anóxica
 - una sonda redox en la última zona anóxica
 - una sonda redox adicional situada en la última zona anaerobia.

Y cuando el proceso en continuo es llevado a cabo mediante un régimen de
15 circulación en reactores de mezcla completa el sistema de control dispone de:

- al menos una sonda de pH en la primera y última zona aerobia,
- al menos una sonda de pH en la primera y última zona anóxica
- una sonda redox en la última zona anóxica
- una sonda redox adicional situada en la última zona anaerobia

20 En otra realización preferida, el procedimiento descrito en la presente invención se caracteriza porque la zona aerobia dispone de un sistema de control de aireación y de un variador para la regulación automática del caudal de recirculación interna entre la zona aerobia y la zona anóxica

En otra realización preferida el procedimiento descrito en la presente
25 invención se caracteriza porque el proceso continuo se lleva a cabo en estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR).

Los ejemplos que se exponen a continuación tienen el objetivo de ilustrar la invención sin limitar el alcance de la misma.

30 **Ejemplo 1. Algoritmo de control del proceso de nitrificación.**

El algoritmo de control del proceso de nitrificación permite mantener una concentración baja de amonio en la última zona aerobia (que cumpla las condiciones

de vertido específicas) con el mínimo consumo energético. Para ello el controlador actúa como un control supervisor modificando la consigna de oxígeno disuelto del controlador del sistema de aireación de que disponga la zona aerobia. El esquema del algoritmo de control basado en la lógica difusa contiene cinco etapas que se muestran en la Figura 2 y se detallan a continuación:

- Etapla 1. Entrada de datos físicos al controlador. Las variables físicas medidas corresponden con los valores de $pH_{ae,o}$ y $pH_{ae,f}$. Con estos valores se calcula la variable dpH_{ae} según la Ecuación 1

$$dpH_{ae} = pH_{ae,o} - pH_{ae,f} \quad \text{Ecuación 1}$$

Seguidamente se calcula la media móvil de esta variable, dpH_{aeM} , calculando para cada tiempo de control, la media de los valores de dpH_{ae} para un intervalo de tiempo fijo y previo a cada tiempo de control. A partir del valor de dpH_{aeM} se determinan las variables de entrada al controlador, que corresponden con:

- Error de $dpH_{ae,M}$, $\varepsilon_{dpH_{aeM}}$. Esta variable representa el error del valor de la variable de control dpH_{aeM} , con respecto al valor fijado como consigna, dpH_{aeC} , definido como:

$$\varepsilon_{dpH_{aeM}} = dpH_{aeC} - dpH_{aeM} \quad \text{Ecuación 2}$$

Si la variable $\varepsilon_{dpH_{aeM}}$ es negativa, la variable de control está por encima de la consigna establecida, indicando que el proceso de nitrificación no se ha completado y que el sistema requiere de más aireación para una nitrificación adecuada del amonio entrante. En este caso el sistema de control aumentará la consigna de oxígeno disuelto del sistema de control de la aireación, OD_C . Por el contrario, si $\varepsilon_{dpH_{aeM}}$ es positiva, implicará que se está suministrando una aireación en exceso, porque se está nitrificando más amonio del necesario para cumplir requisitos de vertido. Por ello el sistema de

control disminuirá la consigna OD_C .

- o Variación del error de dpH_{aeM} , $\Delta\epsilon_{dpHaeM}$. La variación del error es utilizada para identificar la tendencia de la variable de control dpH_{aeM} en el proceso. La expresión de cálculo de la variación del error en el instante t , corresponde con la siguiente expresión:

$$\Delta\epsilon_{dpHaeM} = |\epsilon_{dpHaeM}|_t - |\epsilon_{dpHaeM}|_{t-TR} \quad \text{Ecuación 3}$$

donde:

TR : Tiempo de respuesta del controlador

$|\epsilon_{dpHaeM}|_t$: valor absoluto de la variable dpH_{aeM} para el tiempo t de control.

$|\epsilon_{dpHaeM}|_{t-TR}$: valor absoluto de la variable dpH_{aeM} para el tiempo de control anterior.

Si la variable $\Delta\epsilon_{dpHaeM}$ es mayor que cero implica que la variable dpH_{aeM} se está alejando del valor de consigna. En este caso, la acción del sistema de control desarrollado deberá ser más brusca. Por el contrario si es menor que cero, implicará que la variable de control se está acercando al valor de consigna, de manera que la acción del controlador deberá ser más suave.

- Etapla 2. Fuzzificación. Tras la determinación de las variables físicas de entrada al controlador, ϵ_{dpHaeM} y $\Delta\epsilon_{dpHaeM}$ éstas son transformadas a las variables difusas representadas en el esquema. Se definen las funciones de pertenencia representativas de cada etiqueta lingüística, en forma de un distribución gaussiana definida por la siguiente expresión:

$$\mu(p) = \exp \left(- \frac{(p - c)^2}{2 \cdot \sigma^2} \right) \quad \text{Ecuación 4}$$

donde:

$\mu(p)$: grado de pertenencia de la variable física. es la variable difusa

P: es la variable física

c : es el centro de la curva gaussiana

σ : es el ancho de la curva gaussiana

Como se puede observar en la Ecuación 4, las funciones de pertenencia vendrán definidas por dos parámetros. el centro c y la anchura σ . Los valores de estos parámetros serán específicos de cada EDAR donde sea implementado el sistema de control. Por ello, los valores adecuados serán determinados en el proceso de calibración del sistema de control.

- 10 • Etapla 3. Inferencia. Etapa en la que se obtiene el valor de cada una de las etiquetas lingüísticas de la variable difusa de salida. incremento de la consigna de oxígeno $\mu(\Delta OD_C)$, en base al conocimiento lingüístico que se dispone. Para ello se definen una serie de reglas y se evalúan empleando el procedimiento Max-Prod de Larsen (1980), descrito con las siguientes ecuaciones:

○ Para el operador lógico “y” $\mu_{regla .i} = \prod_1^j \mu_j$ Ecuación 5

○ Para el operador lógico “or” $\mu_k = \text{Max} (\mu_{regla .i})$ Ecuación 6

- 20 • Etapla 4. Desfuzzificación. En esta etapa la variable de salida difusa $\mu(\Delta OD_C)$, es transformada a la variable de salida física del sistema de control, ΔOD_C , que corresponde con el incremento de consigna de oxígeno disuelto. Esta salida implica un aumento o disminución de la consigna de oxígeno disuelto. Para realizar esta transformación se ha utilizado, el método de la media difusa (Mendel, J.M., 1995), descrito por la siguiente ecuación:

25
$$P = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \cdot \mu(p_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(p_i)}$$
 Ecuación 7

donde:

p: representa el valor físico de la variable de salida

$\mu(p_i)$: es variable de salida difusa

c_i : es el centro de la función de pertenencia de cada etiqueta lingüística de $\mu(p_i)$

- Etapas 5. Salida física del sistema de control. En esta etapa la variable de salida física obtenida en la etapa previa de desfuzzificación, ΔOD_C , es utilizada para calcular el valor de la consigna de oxígeno disuelto, según la siguiente expresión:

$$OD_C = OD_{C,ant} + \Delta OD_C \quad \text{Ecuación 8}$$

donde:

$OD_{C,ant}$ es la consigna de oxígeno disuelto anterior a la acción de control

En la presente invención, el sistema de control del proceso de nitrificación actúa como control supervisor del sistema de control de la aireación, actuando sobre la consigna de oxígeno disuelto en la última zona acrobica. El controlador del sistema de aireación es totalmente independiente del controlador de la nitrificación y su única función es la de mantener el OD en el valor de consigna establecido por éste. El sistema de aireación de la EDAR, mantendrá una concentración de oxígeno disuelto baja en la primera zona aerobia, (alrededor de 0.5 ppm), y la consigna de oxígeno disuelto (OD) en la última zona es controlada mediante este sistema de control supervisor. De esta forma, este controlador permite ahorrar energía ya que sólo aumenta la consigna de OD en los casos en que realmente es necesario para eliminar el amonio.

Tras el procesado de las variables de entrada al sistema de control de lógica difusa, la salida del controlador modifica la consigna de oxígeno disuelto perteneciente al controlador de aireación instalado en la EDAR.

En la Figura 3 se muestran las variables de entrada al sistema de control y la tendencia que independientemente tendría cada una de ellas sobre la variable de salida del controlador. Además se refleja como la combinación del valor de las dos variables (ε_{dpH_M} y $\Delta \varepsilon_{dpH_M}$), tras el procesado del sistema de control basado en la lógica difusa (mostrado en la Figura 2), actúa convenientemente modificando la

consigna de oxígeno disuelto del sistema de aireación.

De esta forma, en lugar de utilizar un analizador de amonio para el control del proceso de nitrificación, se emplean dos sondas de pH. Con esta invención, la aireación se mantendrá al mínimo siempre que se cumplan los requisitos de vertido, minimizando así los costes energéticos de aireación de una EDAR. Cabe resaltar la importancia de esta minimización energética ya que los sistemas de aireación de una EDAR suponen el 50% de la energía total consumida.

Ejemplo 2. Algoritmo de control del proceso de desnitrificación.

El algoritmo de control del proceso de desnitrificación permite mantener una concentración baja de nitrato en la última zona anóxica, modificando el caudal de recirculación interna de la zona aerobia a la zona anóxica. El esquema del algoritmo de control basado en la lógica difusa, que contiene cinco etapas, se muestra en la Figura 4 y se detalla a continuación:

- Etapla 1. Entrada de datos físicos al controlador. Las variables físicas medidas corresponden con los valores ORP_{an} , ORP_{ax} , $pH_{ax,o}$ y $pH_{ax,f}$. Con estos cuatro valores se calculan las 3 variables físicas de entrada al sistema de control difuso que son las siguientes:
 - ORP_{ax} . Si la variable de control ORP_{ax} es muy poco negativa. (este valor será poco negativo si el valor ORP_{ax} es muy próximo al valor de la etiqueta lingüística PP (pequeño positivo), el valor de esta etiqueta definido por los parámetros centro y ancho de la curva gaussiana, serán determinados específicamente para cada EDAR donde el sistema de control sea implementado. Los valores de estos parámetros junto con los parámetros que definen el resto de etiquetas lingüísticas son los valores a determinar en el proceso de calibración del sistema de control) el sistema de control deberá disminuir el caudal de recirculación aerobio-anóxico, con el fin de reducir la concentración de nitrato en exceso en la última etapa anóxica y minimizar su posible recirculación en la etapa anaerobia (en el caso en el que exista). Por el contrario, si el valor de esta variable es muy negativo (este valor será

muy negativo si el valor ORP_{ax} es muy próximo al valor de la etiqueta lingüística GN (grande negativo), el valor de esta etiqueta definido por los parámetros centro y ancho de la curva gaussiana GN, serán determinados específicamente para cada EDAR donde el sistema de control sea implementado.) el caudal de la bomba podrá ser aumentado por el sistema de control para aumentar la concentración de nitrato afluente a la etapa anóxica.

- o dORP, esta variable es opcional en el caso de que exista etapa anaerobia en el esquema de tratamiento. Esta variable se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$dORP = ORP_{an} - ORP_{ax} \quad \text{Ecuación 9}$$

Si la variable de control, dORP es muy negativa (este valor será muy negativo si el valor dORP es muy próximo al valor de la etiqueta lingüística GN (grande negativo), el valor de esta etiqueta definido por los parámetros centro y ancho de la curva gaussiana GN. serán determinados específicamente para cada EDAR donde el sistema de control sea implementado), el potencial redox de la última zona anóxica esta muy por encima del de la última etapa anaerobia. En este caso, este valor es indicativo de la presencia de nitrato en exceso en la etapa anóxica, por lo que el sistema de control no deberá aumentar la recirculación aerobio-anóxico. Por otro lado, si el valor de esta variable es poco negativo (este valor será poco negativo si el valor dORP es muy próximo al valor de la etiqueta lingüística PP (pequeño positivo), el valor de esta etiqueta definido por los parámetros centro y ancho de la curva gaussiana PP, serán determinados específicamente para cada EDAR donde el sistema de control sea implementado), indicará que las condiciones de la última etapa anóxica son más próximas a condiciones anaerobias. En esta situación el sistema de control podrá aumentar el caudal de recirculación.

- Evolución de la media móvil del pH a lo largo de la etapa anóxica, ΔdpH_{axM} . Esta variable se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$\Delta dpH_{axM} = dpH_{axM} - dpH_{axM,ant} \quad \text{Ecuación 10}$$

donde:

- 5 dpH_{axM} : media móvil de la variable dpH_{ax} cada 30 minutos. Esta variable se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$dpH_{ax} = pH_{ax,f} - pH_{ax,o} \quad \text{Ecuación 11}$$

donde:

- 10 $dpH_{axM,ant}$: media móvil de la variable dpH_{ax} cada 3 horas

- Etapas 2. Fuzzificación. Tras la determinación de las variables físicas de entrada al controlador, ORP_{ax} , $dORP$ y ΔdpH_{axM} éstas son transformadas a las variables difusas representadas en la Figura 4. Se definen las funciones de pertenencia representativas de cada etiqueta lingüística, en forma de curvas gaussianas, tal y como se representa en la Ecuación 4.
- 15 • Etapas 3. Inferencia. Etapa en la que se obtiene el valor de cada una de las etiquetas lingüísticas de la variable difusa de salida, incremento del caudal $\mu(\Delta Q_L)$, en base al conocimiento lingüístico que se dispone. El proceso de inferencia consiste en la definición de una serie de reglas y empleando el procedimiento Max-Prod de Larsen (1980) para la evaluación de las mismas, descrito anteriormente.
- 20 • Etapas 4. Desfuzzificación. En esta etapa la variable de salida difusa $\mu(\Delta Q_L)$, es transformada a la variable de salida física del sistema de control, ΔQ_L , que corresponde con el incremento de caudal de recirculación. Esta salida implica un aumento o disminución del caudal de recirculación interna aerobio-anóxico. Para realizar esta transformación se ha utilizado, el método de la media difusa (Mendel, J.M., 1995), descrito anteriormente.
- 25 • Etapas 5. Salida física del sistema de control. En esta etapa la variable de

salida física obtenida en la etapa previa de desfuzzificación, ΔQ_L , es utilizada para calcular el valor del caudal de recirculación aerobio anóxico, según la siguiente expresión:

$$Q_L = Q_{Lant} + \Delta Q_L \quad \text{Ecuación 12}$$

5 donde:

Q_{Lant} : caudal de recirculación aerobio-anóxico anterior a la acción de control

El controlador del proceso de desnitrificación utiliza las señales de dos sondas de pH situadas en la primera y última zonas anóxicas, $pH_{ax,o}$ y $pH_{ax,f}$ respectivamente (Figuras 1, 4 y 5). Si la diferencia de pH entre estas dos zonas es positiva implica que la etapa anóxica tiene capacidad de desnitrificación. Además, tiene en cuenta el potencial redox de la última zona anóxica, ORP_{ax} , que nos indica la mayor o menor presencia de nitrato en la última zona anóxica y adicionalmente, el potencial redox de la última zona anaerobia, ORP_{an} , que nos indica las condiciones anaerobias de la última zona anóxica, siempre que el esquema de tratamiento de la EDAR incluya eliminación biológica de fósforo con una zona anaerobia previa (Figuras 1, 4 y 5).

Tras el procesado de las variables de entrada al sistema de control de lógica difusa, la salida del controlador modifica adecuadamente el caudal de recirculación interna de la zona aerobia a la anóxica. En este caso, en lugar de utilizar dos analizadores de nitrato, uno en la zona anóxica y otro en la aerobia, se utilizan una sonda ORP (dos si existe etapa anaerobia) y dos de pH. La señal ORP_{ax} , indicará la mayor o menor presencia de nitratos en la última zona anóxica, al igual que la variable dORP (si es el caso de un esquema de tratamiento que incluya una zona anaerobia previa). Cuanto más próxima a cero sea dORP, más anaerobia será la última zona anóxica y por tanto menos concentración de nitrato habrá en esa zona. Y por último las dos sondas de pH, cuya diferencia determinada por la variable dpH_{ax} , es un indicador del grado de desnitrificación de las zonas anóxicas.

En resumen, solo cuando ORP_{ax} y dORP sean indicativos de poca presencia de nitrato en la última zona anóxica y el sistema sea capaz de asimilar más nitrato

para desnitrificar. $\Delta dpH_{axM} > 0$, el sistema de control irá incrementando la recirculación interna de la zona aerobia a la anóxica, optimizando de esta manera el proceso de desnitrificación y minimizando los costes energéticos derivados del bombeo.

- 5 Así, el sistema de control del proceso de desnitrificación no sólo tiene en cuenta una medida de ORP lo suficientemente baja que asegure una concentración pequeña de nitrato en la última etapa anóxica, sino que también se tiene en cuenta la capacidad de desnitrificación de la etapa anóxica. De manera que si la variable ΔdpH_{axM} no es positiva no se va a recircular más puesto que la etapa anóxica no será
10 capaz de asimilar ese incremento y se estaría desperdiciando energía en el bombeo necesario para dicha recirculación.

 En la Figura 5 se representan las tres variables de entrada al controlador (ORP_{ax} , $dORP$ y ΔdpH_{axM}) obtenidas a partir de las sondas previamente citadas e instaladas en la EDAR. La variable $dORP$ será utilizada únicamente si la EDAR
15 dispone de zona anaerobia. Tras el procesado del valor de estas tres variables, se obtiene la salida del controlador y el caudal final de recirculación interna.

 Tanto el controlador del proceso de nitrificación y el controlador del proceso de desnitrificación, que integran el sistema de control descrito en la presente invención, optimizan la eliminación biológica del nitrógeno de una EDAR,
20 minimizando el coste energético relacionado con las variables manipuladas por el sistema de control. Además, con esta invención se minimiza la inversión inicial sustituyendo los analizadores por sondas de bajo coste, las cuales incluyen la ventaja adicional de una mayor facilidad en su mantenimiento y un menor tiempo de respuesta lo que optimiza la acción del sistema de control.

25

BIBLIOGRAFÍA.

- Akın B.S. and Ugurlu A. (2005). Monitoring and control of biological nutrient removal in a Sequencing Batch Reactor. *Process Biochemistry*. Vol. 40, No. 8, 2873-2878.
- Barnard, J.L. (1973) Biological Denitrification. *J.Int. Water Pollut.Control Fed.*,72,6.
- Ekama, G.A., Siebritz I.P and Marais G. v. R. (1983). Considerations in the process design of nutrient removal activated sludge processes. *Water Science & Technology*. Vol. 15, No.(3-4), 283-318,.
- Hong, S., Krichen D.J, Kisenbauer K.S. and Sell R.L (1981). A biological wastewater treatment system for nutrient removal. Paper presented at the 54th Annual Conference of the Water Pollution Control Federation, Detroit, Michigan.
- Kishida N., Kim J-H., Chen M., Sasaki H. and Ryunichi Sudo (2003). Effectiveness of Oxidation-Reduction Potential and pH as Monitoring and control parameter for nitrogen removal in swine wastewater treatment by sequencing batch reactors. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. Vol 96, No. 3, 285-290.
- Larsen, P.M. (1980) Industrial applications of fuzzy logic control. *International Journal of Man-Machine Studies*. Vol. 12, No. 1, 3-10.
- Ma Y., Peng Y., Yuan Z., Wang S. and Wu X. (2006). Feasibility of controlling nitrification in predenitrification plants using DO, pH and ORP sensors. *Water Science and Technology*. Vol. 53, No. 4-5, 235-243.
- Mendel, J.M (1995) Logic Systems for Engineering: A Tutorial. *IEEE Proceedings*. Vol 83, No. 3, 345-377.
- Peng YZ, Gao JF, Wang SY, Sui MH (2002). Use pH and ORP as fuzzy control parameters of denitrification in SBR process. *Water Science & Technology*.. Vol.46, No.(4-5),131-7.

Peng Y.Z, Maa Y. and Wang S.Y.(2006). Improving nitrogen removal using on-line sensors in the A/O process. Biochemical Engineering Journal. Vol.31, No.1, 48-55

5 Pius M. Ndegwa, Li Wang, Venkata K. Vaddella (2007). Potential strategies for process control and monitoring of stabilization of dairy wastewaters in batch aerobic treatment systems. Process Biochemistry. Vol 42, No. 9, 1272-1278.

10 Puñal A, Palazzotto L, Bouvier JC, Conte T, Steyer JP.(2003).Automatic control of volatile fatty acids in anaerobic digestion using a fuzzy logic based approach. Water Science & Technology. Vol.48, No.6,103-10.

Serralta J, Ribes J, Seco A, Ferrer J. (2002). A supervisory control system for optimising nitrogen removal and aeration energy consumption in wastewater treatment plants. Water Science & Technology.Vol.45, No.(4-5),309-16.

REIVINDICACIONES

1.- Sistema de control de la eliminación biológica de nitrógeno en procesos en continuo de tratamiento de líquidos afluentes residuales, que comprenden, secuencialmente, al menos una zona de tratamiento en anoxia, dónde se produce la
5 desnitrificación y, al menos, una zona de tratamiento en aerobiosis, donde se produce la nitrificación, de dichos afluentes, con un caudal variable de recirculación de la zona aerobia a la anóxica, caracterizado porque dispone, al menos, de un primer y de un segundo controlador independientes,

- un primer controlador, del proceso de desnitrificación, que dispone de al
10 menos una sonda de pH en la zona anóxica, calculando este primer controlador la diferencia entre los valores de pH dentro de dicha zona anóxica, y además, dispone de una sonda redox ORP en la propia zona anóxica, determinando dicha diferencia de pH junto con el valor de ORP en la etapa anóxica, el caudal de recirculación de la zona aerobia a la anóxica;

15 -un segundo controlador, del proceso de nitrificación que modifica la consigna de oxígeno disuelto en la zona aerobia, a partir de al menos una sonda de pH dispuesta en dicha zona, que efectúa mediciones periódicas del pH correspondiente, calculando este segundo controlador la diferencia entre los valores de pH dentro de la zona aerobia.

20

2.- Sistema de control según la reivindicación 1 caracterizado por comprender en el proceso continuo de tratamiento de líquidos afluentes residuales, adicionalmente, al menos una zona de tratamiento inicial en anaerobiosis, disponiendo entonces el sistema de, al menos, una sonda redox ORP adicional, situada en dicha zona
25 anaerobia, calculando también el segundo controlador, la diferencia de potenciales redox entre la zona anaerobia y la zona anóxica.

3.- Sistema de control según la reivindicación 1 o 2 que cuando el proceso en continuo es llevado a cabo mediante un régimen de circulación de flujo de pistón
30 dispone de:

- al menos una sonda de pH en la primera y última zona aerobia,
- al menos una sonda de pH en la primera y última zona anóxica
- una sonda redox en la última zona anóxica

- una sonda redox adicional situada en la última zona anaerobia

4.- Sistema de control según la reivindicación 1 o 2 que cuando el proceso en continuo es llevado a cabo mediante un régimen de circulación en reactores de

5 mezcla completa dispone de:

- al menos una sonda de pH en la primera y última zona aerobia,
- al menos una sonda de pH en la primera y última zona anóxica
- una sonda redox en la última zona anóxica
- una sonda redox adicional situada en la última zona anaerobia

10

5.- Sistema de control según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 caracterizado porque la zona aerobia dispone de un sistema de control de la aireación que modifica la consigna de oxígeno disuelto y la zona anóxica dispone de un variador que modifica el caudal de recirculación de la zona aerobia a la anóxica.

15

6.- Procedimiento de eliminación biológica de nitrógeno en procesos en continuo de tratamiento de líquidos afluentes residuales, que comprende, secuencialmente, al menos una zona de tratamiento en anoxia y, al menos, una zona de tratamiento en aerobiosis, de dichos afluentes, con un caudal variable de recirculación de la zona

20 aerobia a la zona anóxica caracterizado por utilizar el sistema de control de las reivindicaciones 1 a 5.

7.- Procedimiento según la reivindicación 6 caracterizado por comprender en el proceso continuo de tratamiento de líquidos afluentes residuales, adicionalmente, al

25 menos una zona de tratamiento inicial en anaerobiosis.

8.-Procedimiento según las reivindicaciones 6 o 7 caracterizado porque el proceso en continuo es llevado a cabo mediante un régimen de circulación de flujo de pistón caracterizado porque el sistema de control dispone de:

30

- al menos una sonda de pH en la primera y última zona aerobia,
- al menos una sonda de pH en la primera y última zona anóxica
- una sonda redox en la última zona anóxica
- una sonda redox adicional situada en la última zona anaerobia

9.- Procedimiento según las reivindicaciones 6 o 7 caracterizado porque el proceso en continuo es llevado a cabo mediante un régimen de circulación en reactores de mezcla completa caracterizados porque el sistema de control dispone de:

- al menos una sonda de pH en la primera y última zona aerobia,
- 5 - al menos una sonda de pH en la primera y última zona anóxica
- una sonda redox en la última zona anóxica
- una sonda redox adicional situada en la última zona anaerobia

10.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9 donde la zona aerobia dispone de un sistema de control de aireación.

11.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 10 en el que se dispone de un variador para la regulación automática del caudal de recirculación interna entre la zona aerobia y la zona anóxica

15 12.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 11 caracterizado porque el proceso continuo se lleva a cabo en estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs).

FIGURA 1

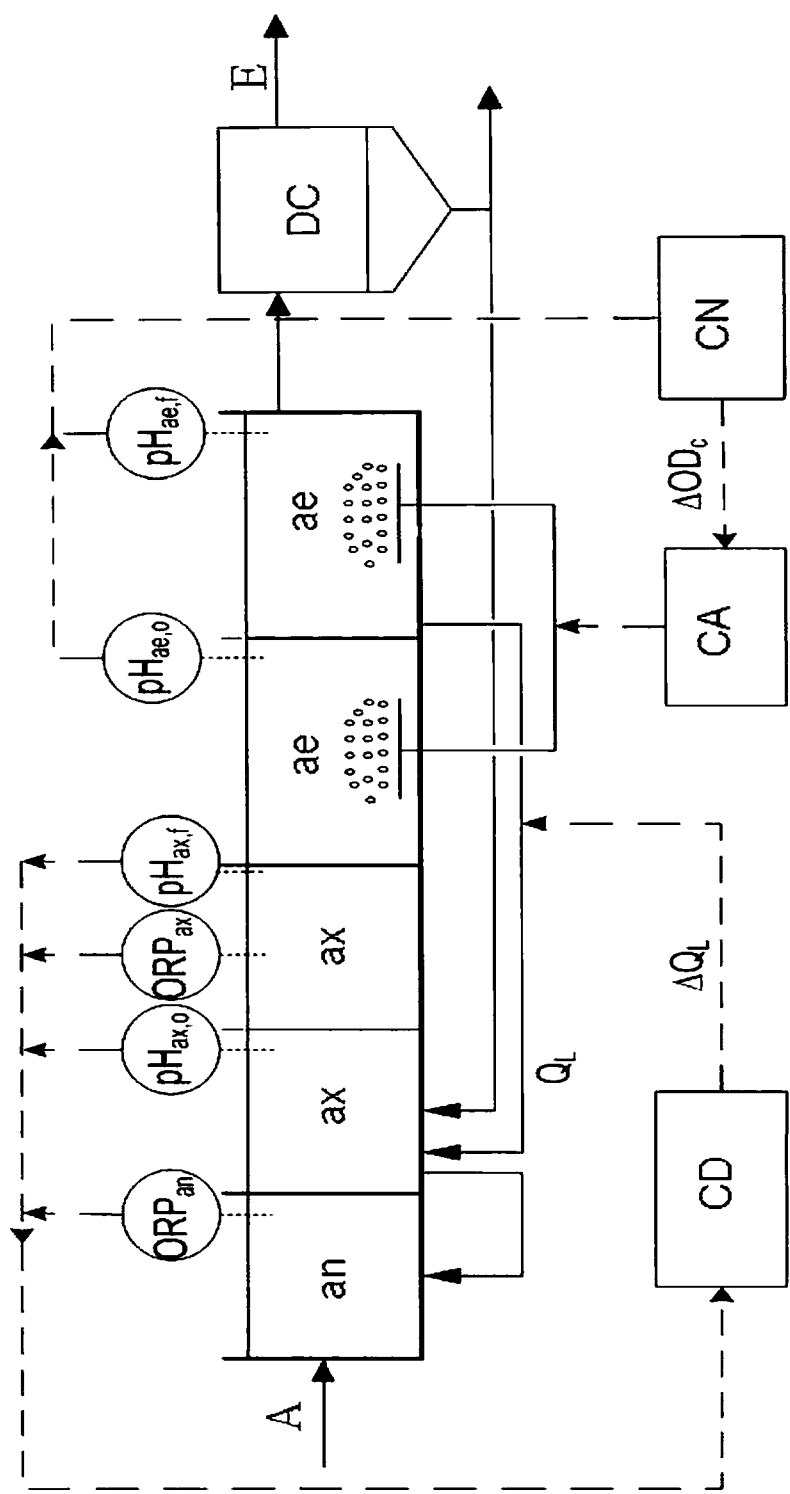


FIGURA 2

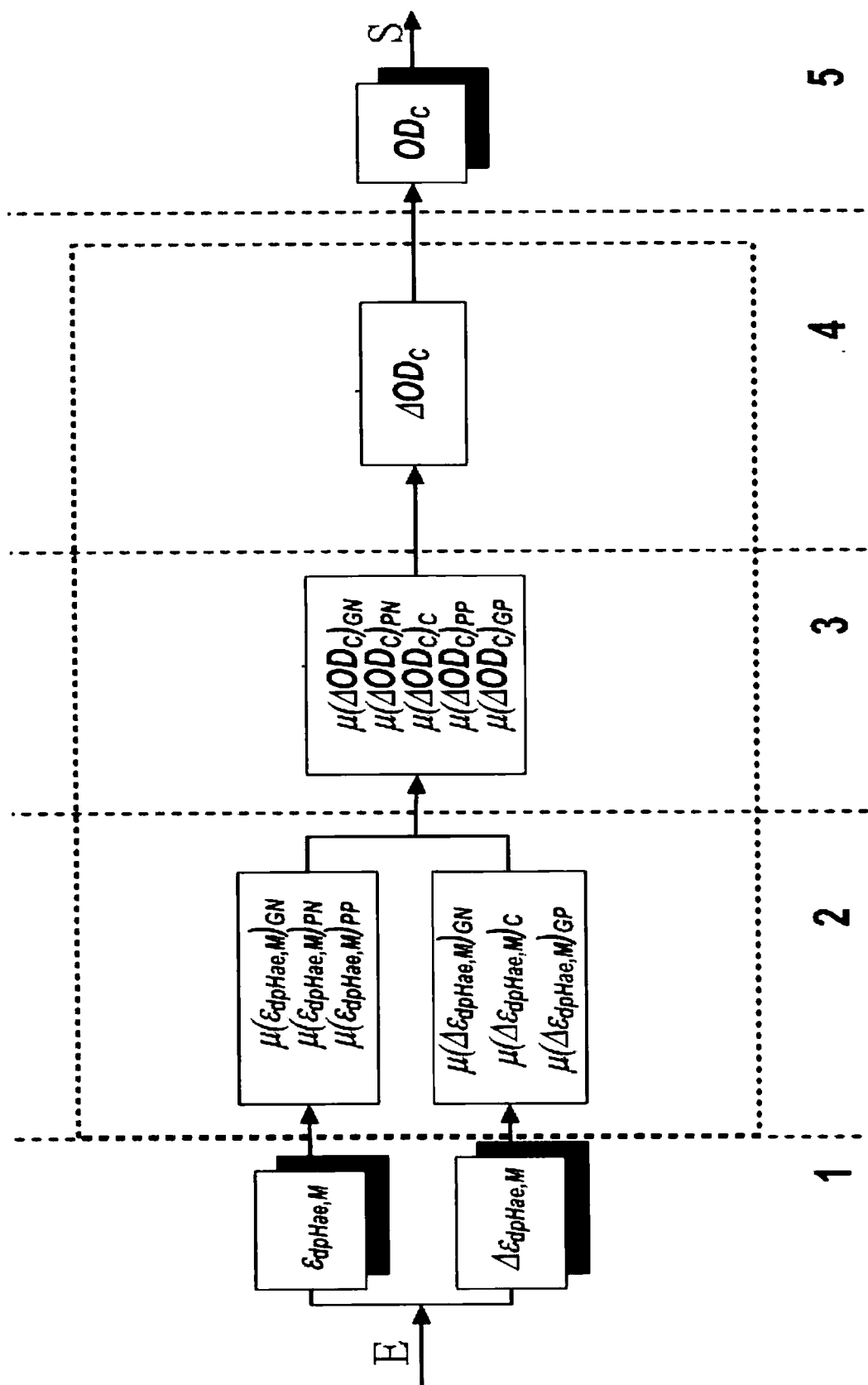


FIGURA 3

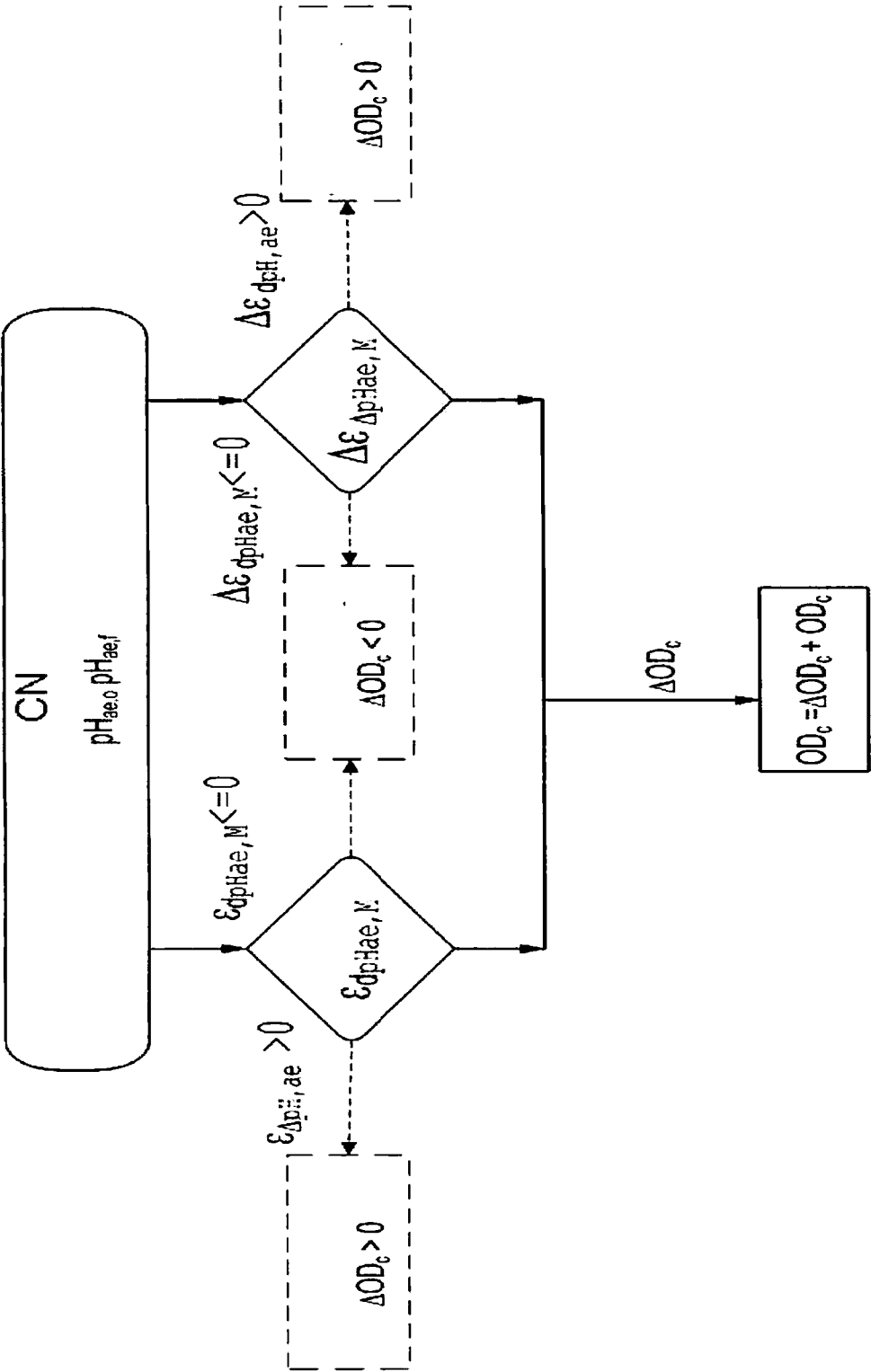


FIGURA 4

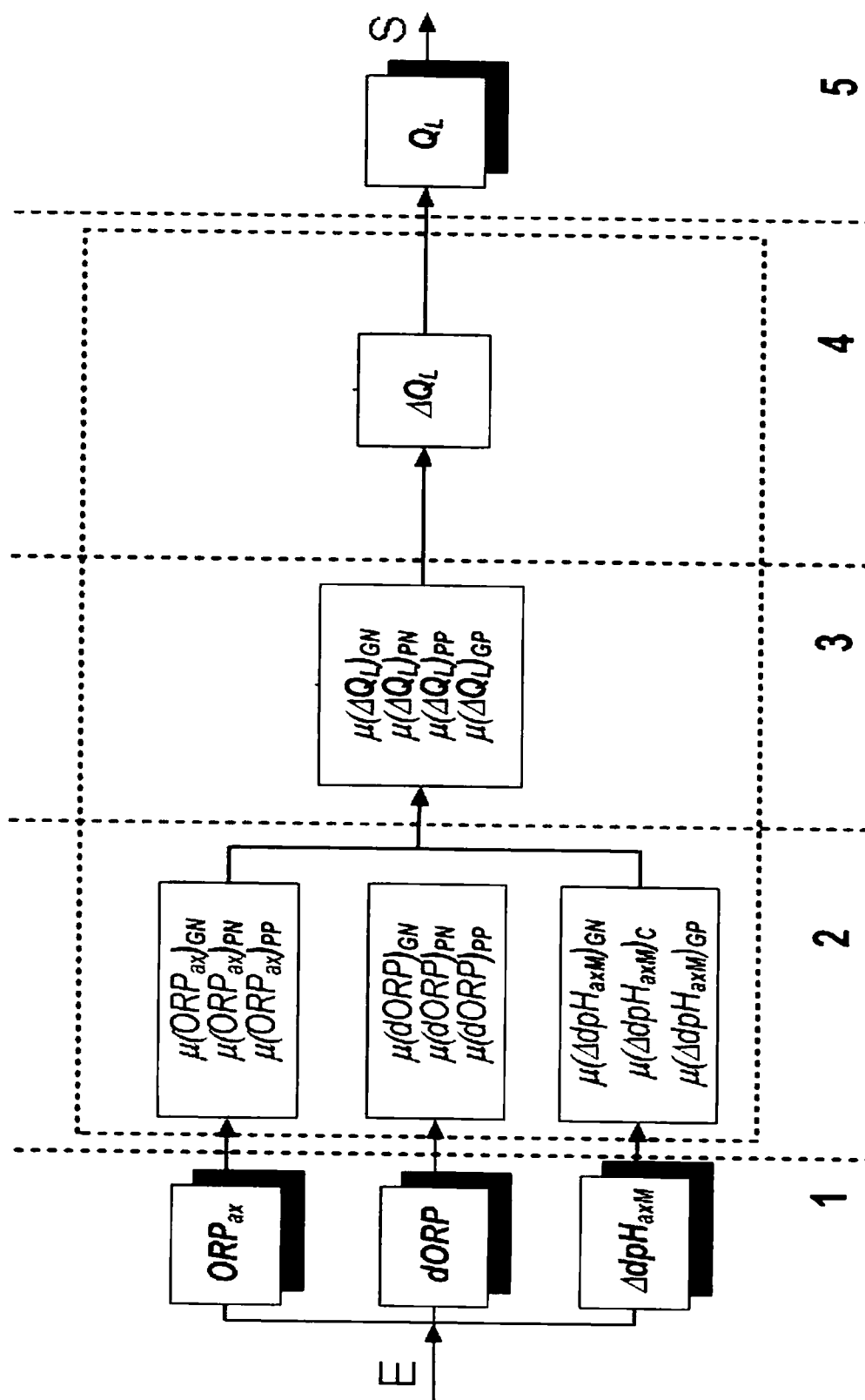
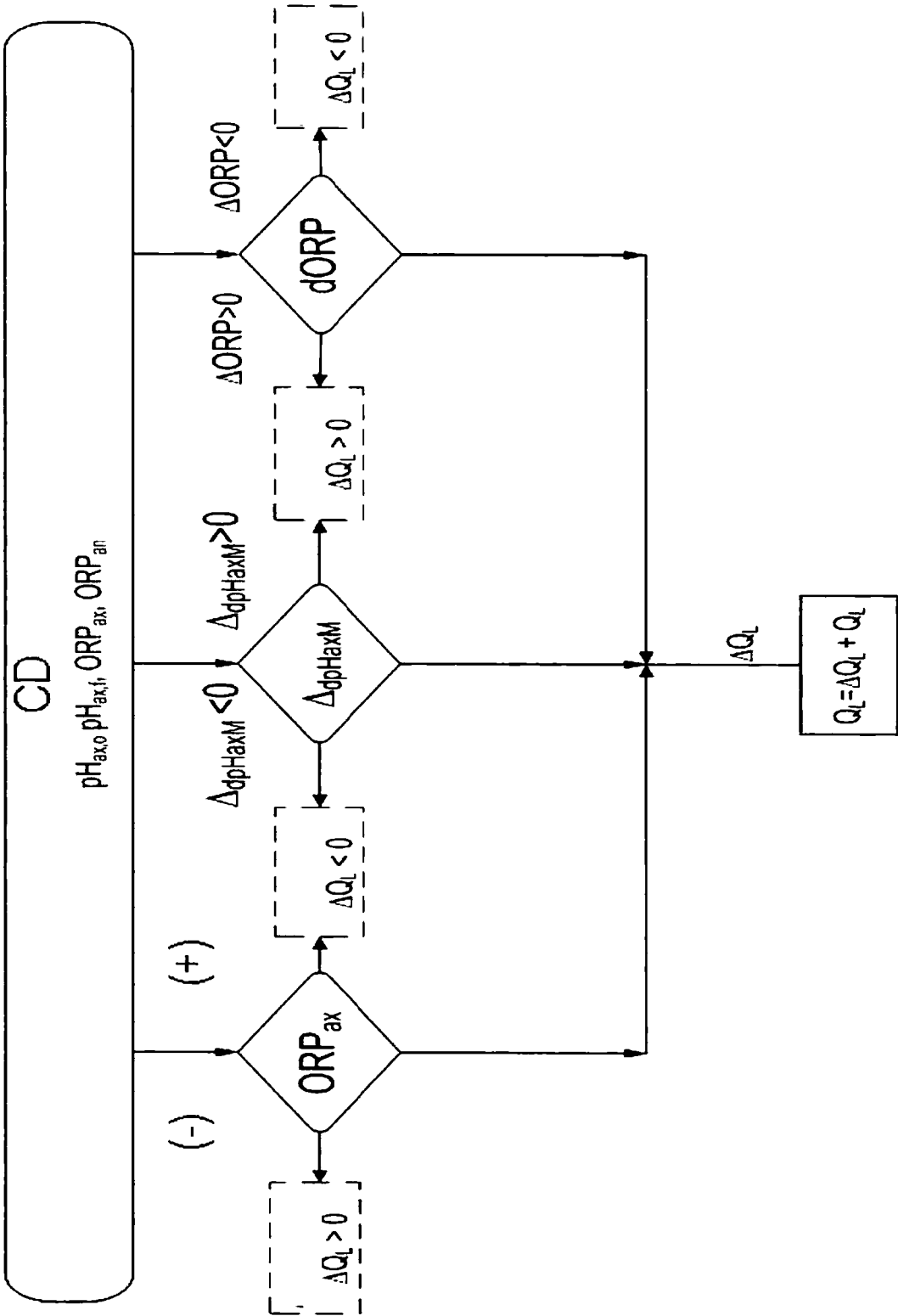


FIGURA 5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ ES 2010/070122

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

see extra sheet

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G05D, C02F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

INVENES,EPODOC,WPI,XTXUS,XPESP

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5733456 A (OKEY et al.) 31.03.1998, column 2, line 50 - column 6, line 9; figure 1.	1-12
A	ES 2171801 T3 (BESTEN HANS-WERNER) 16.09.2002, column 2, line 27 - column 6, line 59; figure 1.	1-12
A	US 4425231 A (FUJIMOTO et al.) 10.01.1984, column 14, line 9 - column 17, line 43.	1-12
A	ES 1068263 U (QMESUN S L) 16.09.2008, column 3, line 24 - column 4, line 21; figure 1.	1-12
A	US 6093322 A (BONGARDS et al.) 25.07.2000, column 4, line 24 - column 8, line 35.	1-12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T"	later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance.		
"E" earlier document but published on or after the international filing date		
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"X"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"O" document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means	"Y"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"&"	document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12.May.2010 (12.05.2010)

Date of mailing of the international search report

(17/05/2010)

Name and mailing address of the ISA/
O.E.P.M.

Paseo de la Castellana, 75 28071 Madrid, España.

Facsimile No. 34 91 3495304

Authorized officer

M. García González

Telephone No. +34 91 349 53 15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/ ES 2010/070122

Patent document cited in the search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5733456 A	31.03.1998	CA 2227484 A	30.09.1998 30.09.1998 30.09.1998
ES 2171801 T	16.09.2002	DE 19640899 C EP 0834475 AB EP 19970116675 EP 0834476 AB EP 19970117194 US 5942118 A AT 208353 T PT 834475 E	22.01.1998 08.04.1998 25.09.1997 08.04.1998 03.10.1997 24.08.1999 15.11.2001 29.04.2002 29.04.2002 29.04.2002
US 4425231 A	10.01.1984	JP 57132595 A JP 59033439 B JP 1343487 C KR 870001139 B	16.08.1982 15.08.1984 29.10.1986 11.06.1987 11.06.1987
ES 1068263 U	16.09.2008	ES 1068263 Y	16.12.2008 16.12.2008 16.12.2008
US 6093322 A	25.07.2000	DE 19702951 A	30.07.1998

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ ES 2010/070122

CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G05D 21/00 (2006.01)

C02F 3/30 (2006.01)

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional N°

PCT/ ES 2010/070122

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD		
G05D 21/00 (2006.01) C02F 3/30 (2006.01)		
De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.		
B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA		
Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación) G05D, C02F		
Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda		
Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda internacional (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados) INVENES, EPODOC, WPI, TXTUS, XPESP		
C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES		
Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones N°
A	US 5733456 A (OKEY et al.) 31.03.1998, columna 2, línea 50 - columna 6, línea 9; figura 1.	1-12
A	ES 2171801 T3 (BESTEN HANS-WERNER) 16.09.2002, columna 2, línea 27 - columna 6, línea 59; figura 1.	1-12
A	US 4425231 A (FUJIMOTO et al.) 10.01.1984, columna 14, línea 9 - columna 17, línea 43.	1-12
A	ES 1068263 U (QMESUN S L) 16.09.2008, columna 3, línea 24 - columna 4, línea 21; figura 1.	1-12
A	US 6093322 A (BONGARDS et al.) 25.07.2000, columna 4, línea 24 - columna 8, línea 35.	1-12
☐ En la continuación del Recuadro C se relacionan otros documentos ☒ Los documentos de familias de patentes se indican en el Anexo		
* Categorías especiales de documentos citados: “A” documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante. “E” solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior. “L” documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada). “O” documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio. “P” documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.	“T” documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención. “X” documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado. “Y” documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia. “&” documento que forma parte de la misma familia de patentes.	
Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional. 12.Mayo.2010 (12.05.2010)		Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional 17-MAYO-2010 (17/05/2010)
Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional O.E.P.M. Paseo de la Castellana, 75 28071 Madrid, España. Nº de fax 34 91 3495304		Funcionario autorizado M. García González Nº de teléfono +34 91 349 53 15

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Información relativa a miembros de familias de patentes

Solicitud internacional N°

PCT/ES 2010/070122

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de Publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de Publicación
US 5733456 A	31.03.1998	CA 2227484 A	30.09.1998 30.09.1998 30.09.1998
ES 2171801 T	16.09.2002	DE 19640899 C EP 0834475 AB EP 19970116675 EP 0834476 AB EP 19970117194 US 5942118 A AT 208353 T PT 834475 E	22.01.1998 08.04.1998 25.09.1997 08.04.1998 03.10.1997 24.08.1999 15.11.2001 29.04.2002 29.04.2002 29.04.2002
US 4425231 A	10.01.1984	JP 57132595 A JP 59033439 B JP 1343487 C KR 870001139 B	16.08.1982 15.08.1984 29.10.1986 11.06.1987 11.06.1987
ES 1068263 U	16.09.2008	ES 1068263 Y	16.12.2008 16.12.2008 16.12.2008
US 6093322 A	25.07.2000	DE 19702951 A	30.07.1998