

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 389 202**

21 Número de solicitud: 201130364

51 Int. Cl.:

**C02F 1/467** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

**16.03.2011**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**24.10.2012**

Fecha de la concesión:

**20.08.2013**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**30.08.2013**

73 Titular/es:

**SOCIEDAD GENERAL DE AGUAS DE  
BARCELONA, S.A.**

**Av. Diagonal, 211  
08018 Barcelona (Barcelona) ES**

72 Inventor/es:

**MICHEL MAYER, Tomás;  
IRABIEN GULÍAS, Jose Ángel;  
DOMÍNGUEZ RAMOS, Antonio;  
GARCÍA CALVO, Eloy y  
URTIAGA MENDÍA, Ana María**

74 Agente/Representante:

**SUGRAÑES MOLINÉ, Pedro**

54 Título: **PROCEDIMIENTO INTEGRADO DE ELECTRO-OXIDACIÓN FOTOVOLTAICA PARA LA  
DEPURACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS.**

57 Resumen:

Procedimiento integrado de electro-oxidación solar fotovoltaica para la depuración y reutilización de aguas residuales urbanas.

Procedimiento para la depuración de aguas residuales urbanas y consecución de condiciones de reutilización, que consiste en la circulación de un caudal de agua  $Q_E$  a tratar a través de un reactor de electro-oxidación en el que se ha integrado una instalación solar fotovoltaica, en el que la corriente eléctrica de alimentación al reactor de electro-oxidación proviene directamente de dicha instalación solar fotovoltaica, comprendiendo el procedimiento la operación continua de regular el caudal de agua  $Q_E$  que se hace circular por el reactor en función del valor de la irradiación solar instantánea.

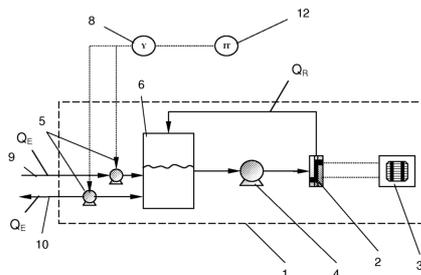


FIG. 4

ES 2 389 202 B1

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento integrado de electro-oxidación solar fotovoltaica para la depuración y reutilización de aguas residuales urbanas

**Sector técnico de la invención**

5 La invención refiere a un procedimiento para la depuración de aguas residuales urbanas o industriales que permite alcanzar los requisitos necesarios para su reutilización.

**Antecedentes de la invención**

10 La depuración de aguas residuales urbanas está regulada a nivel europeo a través de la Directiva del Consejo 91/271 del 21 de Mayo de 1991 sobre depuración de las aguas residuales urbanas (Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas. Diario Oficial de la Unión Europea, DO L N° 135 30.5.1991, p. 40). Esta directiva afecta a los diferentes núcleos de población, siendo necesario un tratamiento apropiado incluso en núcleos relativamente pequeños como puedan ser aquellos de menos de 2.000 habitantes equivalentes con sistemas de recogida. Dentro de las distintas tecnologías disponibles para pequeños y medianos núcleos de población (500-5.000 habitantes equivalentes) es posible encontrar desde sistemas de lodos activados hasta sistemas de lagunaje (Oficina Internacional del Agua, Guía Procesos extensivos de depuración de las aguas residuales adaptadas a las pequeñas y medias colectividades (500-5.000 H.E), 2001).

15 Como alternativa a las tecnologías disponibles, la electro-oxidación permite oxidar la materia orgánica disuelta e inactivar los microorganismos presentes en un efluente en fase líquida (depuración y desinfección) mediante la aplicación de una diferencia de potencial entre un ánodo y un cátodo, con lo que la corriente aplicada permite generar agentes oxidantes (Chen, G. Sep. Purif. Technol. 2004, 38, 11-41).

20 Se conocen referencias a patentes a nivel internacional donde la electro-oxidación, combinada con otros tratamientos, se presenta como una alternativa para el tratamiento de aguas residuales con carga orgánica: CN101376548, CN101423269, CN100337946, DE102004017916, KR20030052790, US7354509, US2005224338, KR20060046358, recogiendo patentes específicas que emplean electrodos de diamante (CN101555082). Así mismo, existen referencias específicas para el tratamiento de efluentes con carga orgánica (EP2072472, WO02088430) cuyos solicitantes suministran equipos comerciales de electro-oxidación. Es reseñable el empleo de ánodos de diamante como base de generadores de ozono (KR20030054255) con especial interés en desinfección (AT505996). Por otra parte, existen referencias específicas al tratamiento de aguas residuales urbanas mediante procesos electroquímicos (US6916427, WO2009158589). El uso de energía solar fotovoltaica en patentes relacionadas con el tratamiento de agua se recoge como apoyo para sistemas de bombeo (CN100546922, EP2213627) o para alimentación de sistemas de desinfección UV (US2010155339) pero no se presenta integrada en el proceso de depuración de la materia orgánica disuelta.

30 Así mismo, existen referencias bibliográficas para la depuración de aguas residuales urbanas a nivel de planta piloto: Feng y col. (J. Hazard. Mat. B, 2003, 103, 65-78) describen una planta piloto para operación en lotes para completar la electro-oxidación de aguas residuales urbanas con electrodos de óxidos de rutenio y titanio junto con un proceso de electro-coagulación. Yeon y col. (Desalination, 2007, 202, 400-410) proponen una planta piloto que combina unidades comerciales de electrodiálisis y electro-oxidación (electrodos de óxidos metálicos de rutenio, estaño e iridio) para eliminación de materia orgánica y nitrógeno total de un agua residual no radiactiva procedente de una central nuclear. Anglada y col. (Environ. Sci. Technol. 2009, 43, 2035-2040; J. Hazard. Mater. 2010, 181, 729-735; Water Sci. Technol. 2010, 61, 2211-2217) describen el tratamiento de lixiviados de vertedero en planta piloto con ánodos de diamante dopado con boro.

35 Por otro lado la tecnología de electro-oxidación permite la desinfección de aguas: Schmalz y col. (Water Res. 2009, 43, 5260-5266) proponen la desinfección electroquímica mediante electrodos de diamante dopado con boro con el objetivo de reciclar aguas domésticas, mientras que Rodrigo y col. (Electrochim. Acta 2010, 55, 8160-8164) sugieren que la oxidación con electrodos de diamante dopado con boro permite la eliminación simultánea de materia orgánica, microorganismos y compuestos orgánicos persistentes. La eliminación de orgánicos persistentes procedentes de concentrados de ósmosis inversa es posible mediante electro-oxidación con electrodos de diamante dopado con boro (Pérez y col. Wat. Sci. Tech., 2010, 62, 892-897).

40 Las instalaciones basadas en la tecnología de electro-oxidación previamente señaladas comprenden un reactor de electro-oxidación alimentado mediante una fuente de corriente que suministra una tensión o corriente constante, especialmente adecuada para las condiciones del reactor y el agua a tratar. Para ello, las instalaciones están provistas de rectificadores de corriente o acumuladores, entre otros dispositivos, para suministrar al reactor una corriente adaptada a la operación del sistema.

45 El objetivo de la presente invención es dar a conocer una alternativa mediante electro-oxidación a los procedimientos propuestos para el tratamiento de aguas residuales urbanas, que mejora la sostenibilidad energética del mismo.

**Explicación de la invención**

El procedimiento de la invención consiste en la circulación del caudal de agua a tratar a través de un reactor de electro-oxidación en el que se ha integrado una instalación solar fotovoltaica (sistema ESOF: electro-oxidación solar fotovoltaica).

5 En esencia el procedimiento se caracteriza porque la corriente eléctrica de alimentación al reactor de electro-oxidación proviene directamente de la instalación solar fotovoltaica; y porque el procedimiento comprende la operación continua de regular el caudal de tratamiento  $Q_E$  de agua en función del valor de la irradiación solar instantánea.

10 Según otra característica de la invención, se hace circular por el reactor de electro-oxidación un caudal de recirculación  $Q_R$  que procede de un tanque de suministro, y la regulación del caudal de tratamiento  $Q_E$  de agua se lleva a cabo mediante el suministro de un caudal de entrada de agua sin tratar al tanque y simultáneamente de extraer el mismo caudal de salida de agua del tanque, variándose en consecuencia la concentración de la materia orgánica y microorganismos en el tanque. Consecuentemente, la relación de recirculación  $R$  (cociente entre el caudal de recirculación  $Q_R$  y el caudal de tratamiento  $Q_E$ ) también deviene función del valor de la irradiación solar instantánea.

15 En una forma de realización, el procedimiento comprende la operación añadida de regular el caudal de recirculación  $Q_R$  en función del valor de la irradiación solar instantánea.

20 De acuerdo con otro aspecto de la invención, se describe una planta para la depuración de aguas residuales urbanas y consecución de condiciones de reutilización, que comprende un reactor de electro-oxidación y un tanque de suministro del agua a tratar, conectado a la entrada y a la salida del reactor.

25 La planta se caracteriza porque comprende una instalación solar fotovoltaica integrada con el reactor de electro-oxidación, un medidor de irradiación solar y un sistema de control para regular el caudal de tratamiento  $Q_E$  de agua que es introducido y extraído del tanque de suministro, y con ello la relación de recirculación  $R$  del agua que circula por el reactor, cociente entre el caudal de recirculación  $Q_R$  que se hace circular por el reactor proveniente del tanque y el caudal de tratamiento  $Q_E$ , en función del valor de la irradiación solar instantánea obtenida por el medidor de irradiación solar.

En una variante de interés, la relación entre el área efectiva  $A_p$  de la instalación solar fotovoltaica, expresada en  $m^2$  de superficie efectiva, y el área anódica  $A_e$  del reactor de electro-oxidación, expresada en  $m^2$ , sigue la siguiente relación  $1 \leq (A_p \cdot A_e^{-1}) \leq 50$ .

30 De acuerdo con una forma de realización, el sistema de control, que permite ajustar la concentración de la materia orgánica y microorganismos del agua a partir del caudal que se introduce y se extrae del tanque de suministro en función del valor de la irradiación solar instantánea medida por el medidor de irradiación solar, gobierna un grupo de bombeo de agua que varía el caudal de tratamiento  $Q_E$  de agua que es suministrado y extraído de forma simultánea del tanque de suministro.

35 Preferentemente, el grupo de bombeo comprende una bomba de doble cabezal conectada a la entrada y salida del tanque de suministro.

Según otra característica de la invención, los ánodos del reactor de electro-oxidación son de Diamante Dopado con Boro (DDB) soportados sobre silicio.

40 La invención contempla que el reactor de electro-oxidación comprenda varias líneas  $N_L$  a través de las cuales puede hacerse circular un caudal de recirculación  $Q_R$  de agua que proviene del tanque de suministro a través del citado reactor, comprendiendo la planta medios adecuados para cambiar de forma selectiva el número de líneas  $N_L$  operativas, y regular así el caudal de recirculación  $Q_R$ , en función del valor de la irradiación solar instantánea.

**Breve descripción de los dibujos**

La Fig. 1, muestra un diagrama de un proceso de electro-oxidación solar fotovoltaica;

45 La Fig. 2, muestra un diagrama de un proceso convencional, asistido por energía de la red eléctrica de abastecimiento;

La Fig. 3, muestra un diagrama expandido del proceso de la Fig.1; y

La Fig. 4, es un esquema de una planta según la invención.

**Descripción detallada de la invención**

La invención descrita proporciona un procedimiento para la depuración y reutilización de aguas residuales urbanas. La Figura 1 muestra un diagrama del proceso ESOF (electro-oxidación solar fotovoltaica), en el que el agua residual urbana procedente de un sistema de tratamiento primario se depura para transformarla en agua para reutilización empleando energía luminosa.

El proceso ESOF (electro-oxidación solar fotovoltaica) descrito en la presente invención comparte con el proceso convencional asistido por corriente eléctrica de red la utilización de la tecnología de electro-oxidación. Un diagrama del proceso convencional asistido por energía de red para el tratamiento de aguas residuales urbanas se muestra en la Figura 2. Dicho proceso se caracteriza por: i) la entrada de energía al proceso de electro-oxidación es en forma de corriente eléctrica procedente de la red ii) el tratamiento tiene lugar en modo discontinuo o por lotes.

El procedimiento discontinuo para el tratamiento de aguas residuales urbanas consiste en cargar un volumen de efluente en un tanque de suministro o almacenamiento y durante un cierto tiempo aplicar corriente eléctrica procedente de la red hasta alcanzar el valor final deseado de depuración y/o desinfección. Posteriormente, una vez finalizado el tratamiento, se procede a la descarga del efluente tratado.

Existe un rectificador de corriente para adecuar la corriente alterna procedente de la red eléctrica a corriente eléctrica continua, la cual es aplicada durante el tiempo requerido de tratamiento en el reactor de electro-oxidación. Para garantizar un adecuado contacto entre el líquido a tratar y los electrodos del reactor de electro-oxidación es preciso bombear un caudal  $Q_R$  desde el tanque de almacenamiento a través del reactor de electro-oxidación. Este caudal ha de ser lo suficientemente importante como para garantizar que el tanque de almacenamiento se encuentre en condiciones próximas a la mezcla perfecta. A su vez, dicho caudal  $Q_R$  se distribuye uniformemente entre el número de líneas  $N_L$  de tratamiento existentes, por lo que si  $Q_L$  es el valor de caudal por línea para la distancia fijada entre los electrodos (configuración de electrodos en paralelo), se cumplirá que  $Q_R = N_L \cdot Q_L$ .

La Figura 3 muestra el diagrama del proceso ESOF (electro-oxidación solar fotovoltaica) descrito en la presente invención. Dicho proceso se diferencia del convencional por: i) la entrada de energía al proceso de electro-oxidación es en forma de energía luminosa ii) el tratamiento tiene lugar en modo continuo. Una planta 1 adaptada para la puesta en práctica del proceso se ilustra de forma esquemática en la Fig. 4.

El procedimiento que se describe en la presente invención consiste en tratar de forma continua un caudal de tratamiento  $Q_E$ , empleando energía luminosa. El caudal de entrada  $Q$  se almacena en un tanque de retención de volumen  $V$  apropiado, o se alimenta directamente a la planta de tal forma que es posible almacenar parte del caudal de entrada  $Q$  durante los periodos de irradiación solar insuficiente. La energía luminosa que actúa como entrada de energía al sistema es transformada en energía eléctrica en una instalación solar fotovoltaica 3 mediante un set de módulos solares fotovoltaicos, siendo esta corriente la que se suministra directamente al reactor 2 de electro-oxidación. Mediante el caudal de bypass  $B$  (ver Fig. 3) es posible aumentar el caudal de tratamiento  $Q_E$ , de tal forma que sea posible hacer un uso más adecuado de la energía luminosa disponible en periodos de elevada irradiación solar. De la misma forma que en el procedimiento convencional, para garantizar el contacto entre el líquido a tratar y los electrodos del reactor 2 se bombea mediante la bomba de recirculación 4 un caudal de recirculación  $Q_R$  desde el tanque 6 de suministro hasta el reactor 2 de electro-oxidación. Este caudal de recirculación  $Q_R$  al reactor de electro-oxidación se distribuye entre un número de líneas  $N_L$ , de tal que forma que si  $Q_L$  es el caudal que debe circular por cada línea, entonces  $Q_R = N_L \cdot Q_L$ . Se define en la operación en continuo una relación de recirculación  $R$  que viene dada por la relación entre el caudal de recirculación  $Q_R$  y el caudal de tratamiento  $Q_E$  en continuo, por lo que  $R = Q_R \cdot Q_E^{-1} = N_L \cdot Q_L \cdot Q_E^{-1}$ . El ajuste de dicha recirculación  $R$  es la que permite fijar el valor de la concentración de materia orgánica y/o microorganismos en el tanque 6 de suministro y por tanto su correspondiente concentración de salida. Dicha relación de recirculación tomará un valor infinito cuando el caudal de tratamiento  $Q_E$  sea nulo (que se corresponderá con periodos de irradiación nula) y tomará un valor mínimo para el máximo caudal de tratamiento  $Q_E$  (que se corresponderá con los periodos de máxima irradiación). Para garantizar la estabilidad del sistema y evitar el desbordamiento del tanque de retención para un volumen superior a  $V$ , se permite el vaciado mediante un caudal de purga  $P$ .

Para solventar la dificultad impuesta por la naturaleza estocástica de la irradiación solar se dispone de un sistema de control 8 en el que en función del valor de la irradiación solar instantánea se actúa sobre el caudal de tratamiento  $Q_E$ , el caudal de recirculación  $Q_R$  y por ende en la relación de recirculación  $R$  del sistema. El diagrama de control de la instalación se muestra en la Figura 4 para el caso de una única línea de operación.

Se dispone un medidor 12 de irradiación solar que genera una señal eléctrica para una unidad de control 8. Esta unidad de control 8, así mismo, se encarga de ejecutar el control sobre el caudal del grupo de bombeo 5 para la entrada 9 y salida 10 del sistema. Cuando el nivel de irradiación es suficientemente elevado, el sistema aumenta el caudal de tratamiento  $Q_E$  utilizando nuevas líneas de operación dispuestas a tal efecto manteniendo la relación de recirculación  $R$ . Existe una relación entre la irradiación existente y el número de líneas  $N_L$  que entran el funcionamiento y por tanto con el caudal de tratamiento  $Q_E$  que es posible tratar. Cuando no existe el nivel de irradiación suficiente, se detiene la operación del sistema, el caudal de tratamiento  $Q_E$  es nulo, por lo que el tanque de retención

acumularía el agua residual urbana no tratada. En caso de desbordamiento respecto del tanque de retención, se da paso a un caudal de purga P para mantener el volumen en un nivel constante.

5 Si bien la concentración de materia orgánica y microorganismos se ajusta mediante la operación en continuo a través del grupo de bombeo 5 y a la cantidad de corriente eléctrica disponible en cada instante, la planta 1 debe estar correctamente dimensionada de forma que la superficie anódica del reactor 2 sea operativa con el valor de la corriente nominal obtenible por el set de módulos solares fotovoltaicos. Por tanto deberán fijarse:

- (i) La superficie y disposición de los módulos solares conectados al reactor de electro-oxidación, y
- (ii) La superficie de ánodo disponible

10 Para una adecuada operación del sistema deben tenerse en consideración estos parámetros del sistema para que éste cumpla su propósito. En una variante de la invención de particular interés, la relación entre el área efectiva  $A_p$  del set de módulos solares fotovoltaicos y el área anódica  $A_e$  del reactor de electro-oxidación  $A_p \cdot A_e^{-1}$  es de 12 m<sup>2</sup> efectivos de módulo fotovoltaico por m<sup>2</sup> de ánodo para una eficiencia del 13,1% en dichos módulos, siendo los ánodos del reactor de electro-oxidación de Diamante Dopado con Boro (DDB) soportados sobre silicio.

15 En ambos procedimientos, tanto en el convencional como en el proceso ESOF (electro-oxidación solar fotovoltaica), es preciso que el agua residual urbana procedente del sistema primario se someta a un proceso de filtrado previo a su tratamiento para evitar la presencia de partículas en el interior de los reactores de electro-oxidación.

20 Así mismo es necesario aplicar un protocolo de limpieza de la instalación. Dicho protocolo dependerá de la configuración del reactor de electro-oxidación, por lo que i) si el reactor presenta electrodos de diamante dopado con boro, al poder operar ambos como ánodo y como cátodo, será posible realizar una inversión de la polaridad de la corriente con una frecuencia adecuada ii) si el reactor presenta cátodos de un material diferente al anteriormente citado, no es viable realizar inversión de polaridad y por tanto será necesario realizar un lavado químico.

#### **Descripción de un modo de realización**

Las condiciones de operación y los resultados obtenidos en una variante de interés de la invención se describen a modo de ejemplo a continuación:

25 En primer lugar, se llevó a cabo una etapa previa de filtrado capaz de retener los sólidos en suspensión del agua a tratar. En el presente ejemplo de realización, el efluente a tratar, procedente de la salida del decantador primario de una estación de depuración de aguas residuales urbanas, se hizo pasar por un filtro de anillas de 5 micras.

30 El volumen de efluente almacenado en el tanque (500 L) poseía una concentración de materia orgánica expresada como carbono orgánico total del orden de 20 mgC·L<sup>-1</sup>. Como referencia, para una densidad de corriente galvanostática de 10 mA·cm<sup>-2</sup> y un caudal continuo de 10 L·h<sup>-1</sup>, el tiempo de residencia quedó establecido en 50 h, con lo que resulta una relación de recirculación R=1350 para una línea de operación. Como resultado, la conversión de materia orgánica expresada como carbono orgánico total fue del 50%.

35 El volumen de efluente almacenado en el tanque (500 L) poseía una concentración de *Escherichia Coli* del orden de 5 log ufc·100 mL<sup>-1</sup>. Para la relación  $A_p \cdot A_e^{-1}$  anterior y considerando las condiciones locales de irradiación y orientación (irradiación media del orden de 400 W·m<sup>-2</sup>), la instalación solar fotovoltaica generó una densidad de corriente media superior a 4 mA·cm<sup>-2</sup>. Para un caudal continuo de 10 L·h<sup>-1</sup>, el tiempo de residencia quedó establecido en 50 h, con lo que resulta una relación de recirculación R=1350 para una línea de operación. Como resultado, la concentración de *Escherichia Coli* del agua extraída a la salida fue del orden de 1 ufc·100 mL<sup>-1</sup>.

**REIVINDICACIONES**

1.- Procedimiento para la depuración de aguas residuales urbanas o industriales y consecución de condiciones de reutilización, que consiste en la circulación del caudal de agua a tratar a través de un reactor de electro-oxidación en el que se ha integrado una instalación solar fotovoltaica, caracterizado porque

5 - la corriente eléctrica de alimentación al reactor de electro-oxidación proviene directamente de la instalación solar fotovoltaica; y porque

- el procedimiento comprende la operación continua de regular el caudal de tratamiento  $Q_E$  de agua en función del valor de la irradiación solar instantánea.

10 2.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque se hace circular por el reactor de electro-oxidación un caudal de recirculación  $Q_R$  que procede de un tanque de suministro, y porque la regulación del caudal de tratamiento  $Q_E$  de agua se lleva a cabo mediante el suministro de un caudal de entrada de agua sin tratar al tanque y simultáneamente de extraer el mismo caudal de salida de agua del tanque, variándose en consecuencia la concentración de la materia orgánica y microorganismos en el tanque, siendo en consecuencia la relación de recirculación R, cociente entre el caudal de recirculación  $Q_R$  y el caudal de tratamiento  $Q_E$ , también función del valor de la irradiación solar instantánea.

15

3.- Procedimiento según la reivindicación anterior, caracterizado porque comprende la operación añadida de regular el caudal de recirculación  $Q_R$  en función del valor de la irradiación solar instantánea.

20 4.- Planta (1) para la depuración de aguas residuales urbanas o industriales y consecución de condiciones de reutilización, que comprende un reactor (2) de electro-oxidación y un tanque (6) de suministro del agua a tratar, conectado a la entrada y a la salida del reactor, caracterizado porque comprende una instalación solar fotovoltaica (3) integrada con el reactor de electro-oxidación, un medidor (12) de irradiación solar y un sistema de control (8) para regular el caudal de tratamiento  $Q_E$  de agua que es introducido y extraído del tanque (6) de suministro, y con ello la relación de recirculación R del agua que circula por el reactor, cociente entre el caudal de recirculación  $Q_R$  que se hace circular por el reactor proveniente del tanque y el caudal de tratamiento  $Q_E$ , en función del valor de la irradiación solar instantánea obtenida por el medidor (12) de irradiación solar

25

5.- Planta (1) según la reivindicación 4, caracterizada porque la relación entre el área efectiva  $A_p$  de la instalación solar fotovoltaica (3), expresada en  $m^2$  de superficie efectiva, y el área anódica  $A_e$  del reactor de electro-oxidación, expresada en  $m^2$ , sigue la siguiente relación:

$$1 \leq (A_p \cdot A_e^{-1}) \leq 50$$

30 6.- Planta (1) según las reivindicaciones 4 ó 5, caracterizada porque el sistema de control (8), que permite ajustar la concentración de la materia orgánica y microorganismos del agua a partir del caudal que se introduce y se extrae del tanque (6) de suministro en función del valor de la irradiación solar instantánea medida por el medidor (12) de irradiación solar, gobierna un grupo de bombeo (5) de agua, que varía el caudal de tratamiento  $Q_E$  de agua que es suministrado y extraído de forma simultánea del tanque (6) de suministro.

35 7.- Planta (1) según la reivindicación 6, caracterizada porque el grupo de bombeo (5) comprende una bomba de doble cabezal conectada a la entrada (9) y salida (10) del tanque (6) de suministro.

8.- Planta (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 7, caracterizada porque los ánodos del reactor (2) de electro-oxidación son de Diamante Dopado con Boro (DDB) soportados sobre silicio.

40 9.- Planta (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 8, caracterizada porque el reactor (2) de electro-oxidación comprende varias líneas  $N_L$  a través de las cuales puede hacerse circular un caudal de recirculación  $Q_R$  de agua que proviene del tanque (6) de suministro a través del citado reactor (2), y porque la planta (1) comprende medios adecuados para cambiar de forma selectiva el número de líneas  $N_L$  operativas, y regular así el caudal de recirculación  $Q_R$ , en función del valor de la irradiación solar instantánea.

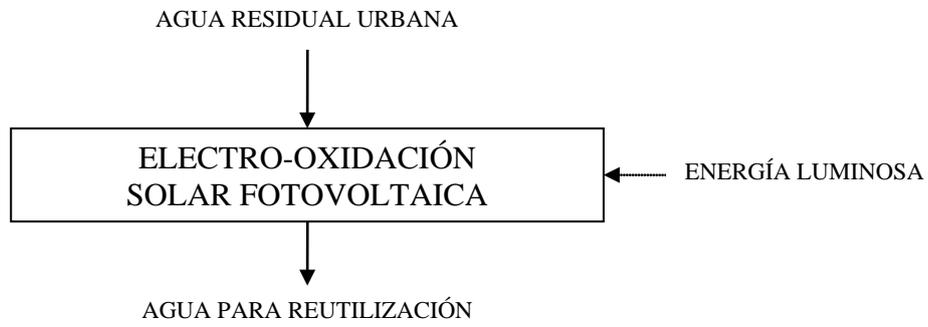


FIG. 1

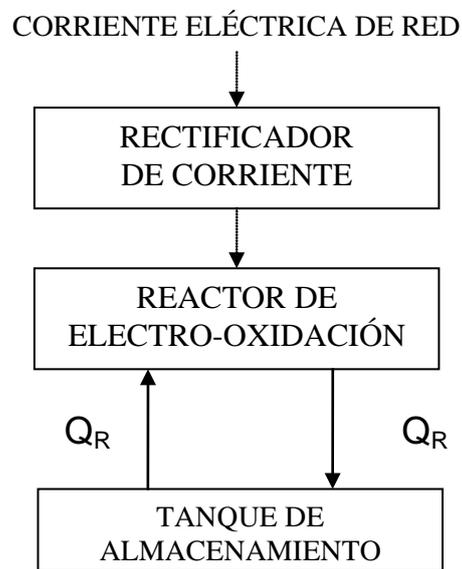


FIG. 2

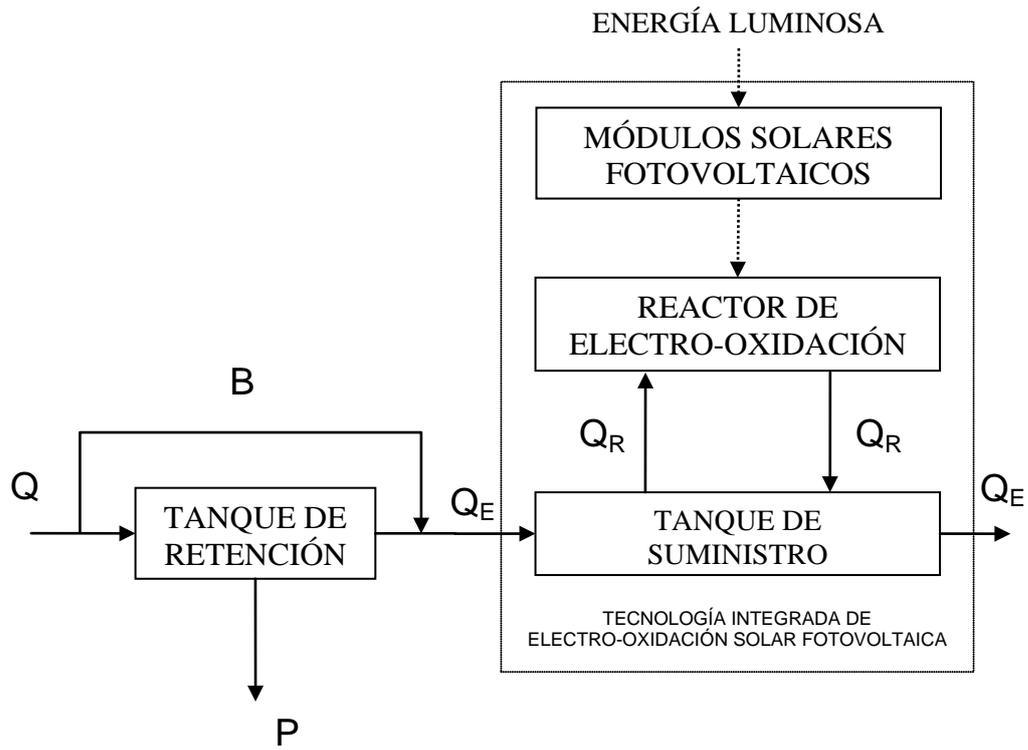


FIG. 3

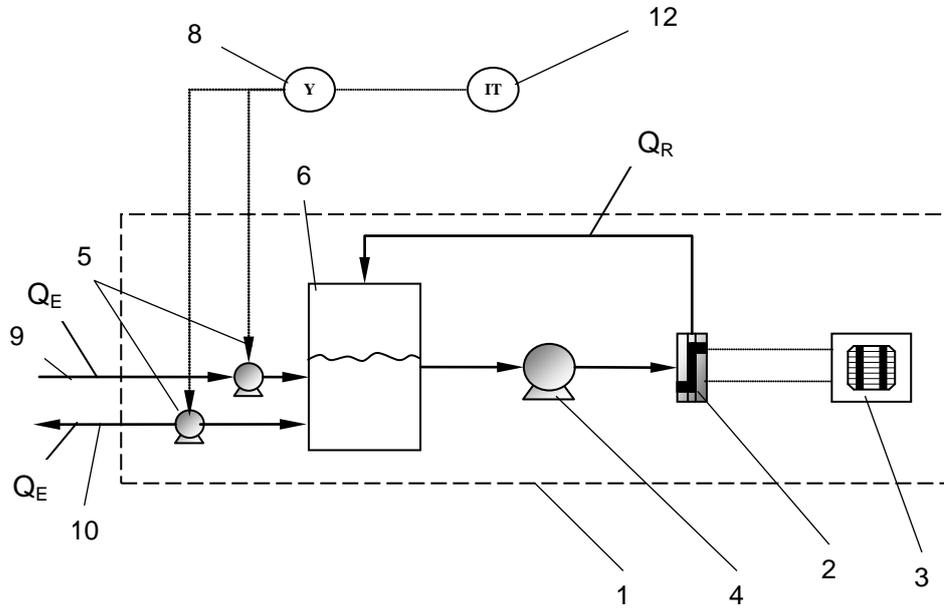


FIG. 4



OFICINA ESPAÑOLA  
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 201130364

②② Fecha de presentación de la solicitud: 16.03.2011

③② Fecha de prioridad:

## INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: **C02F1/467** (2006.01)

### DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	DOMÍNGUEZ RAMOS, A. Electro-Oxidación Solar Fotovoltaica (ESOF) de aguas residuales con carga orgánica (Tesis doctoral), páginas 3-5, 11-14, 27-40, 57-65, 85-86, 103-109 [en línea], Fecha de lectura 23.07.2010 [recuperado el 01.10.2012]. Recuperado de Internet: <URL: <a href="http://www.sosprocan.unican.es/tesis%202010/Tesis%20Dominguez%20Ramos.pdf">http://www.sosprocan.unican.es/tesis%202010/Tesis%20Dominguez%20Ramos.pdf</a> >	1-9
A	US 5399247 A (CAREY et al.) 21.03.1995, resumen; columna 9, líneas 29-54.	2-4
A	VALERO, D. et al. Electrochemical Wastewater Treatment Directly Powered by Photovoltaic Panels: Electrooxidation of a Dye-Containing Wastewater. Environ. Sci. Technol., Vol. 44, No. 13, 2010, páginas 5182-5187 [en línea], [recuperado el 2007-07-18]. Recuperado de Internet <URL: <a href="http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es100555z">http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es100555z</a> > <DOI: 10.1021/es100555z>	

#### Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

#### El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
08.10.2012

Examinador  
A. Figuera González

Página  
1/6

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

C02F

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, TXTEN, XPAIP, XPESP, XPESP2, XPIEE, XPI3E, BIOSIS, COMPENDEX, EMBASE, INSPEC, MEDLINE, Internet

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 08.10.2012

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 2-9	<b>SI</b>
	Reivindicaciones 1	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones	<b>SI</b>
	Reivindicaciones 1-9	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	DOMÍNGUEZ RAMOS, A. Electro-Oxidación Solar Fotovoltaica (ESOF) de aguas residuales con carga orgánica (Tesis doctoral)	23.07.2010
D02	US 5399247 A (CAREY et al.)	21.03.1995
D03	VALERO, D. et al. Electrochemical Wastewater Treatment Directly Powered by Photovoltaic Panels: Electrooxidation of a Dye-Containing Wastewater. Environ. Sci. Technol., Vol. 44, No. 13	2010

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

**REIVINDICACIÓN 1**

En el documento D01, se instaló y adaptó una planta piloto de electro-oxidación para que fuera posible la alimentación con corriente continua y con energía solar fotovoltaica. La planta piloto fue capaz de operar en modo continuo demostrando la viabilidad tecnológica del proceso de electro-oxidación de aguas residuales urbanas de baja carga orgánica y bajas conductividades (véase D01, página 4, párrafo 3). En el documento D01 se analiza la integración directa en un proceso de electro-oxidación de la energía solar fotovoltaica indicándose que una de las principales consecuencias es que el volumen/caudal de agua a tratar será una función de la irradiación solar disponible (véase D01, apartado "1.2 Integración de Energía Solar Fotovoltaica en la tecnología de Electro-Oxidación", páginas 13 y 14). En la planta piloto, el caudal de agua a tratar circula por los reactores de electro-oxidación que se pueden alimentar directamente desde un set de módulos solares fotovoltaicos (véase figura 2.2.1, página 34). No obstante, el procedimiento para la operación en continuo se realizó experimentalmente con alimentación de la red eléctrica mediante rectificadores (véase D01, página 39) y se ha considerado que un trabajo a realizar en el futuro es desarrollar la automatización del proceso para regular el caudal de entrada en continuo en función de la corriente inyectada al sistema dependiendo de la energía solar incidente (véase D01, punto "1) Ingeniería del Proceso ESOF", página 86.

Es decir que en el documento D01 se divulgan todos los elementos técnicos del procedimiento objeto de la reivindicación 1 aunque no se haya puesto en práctica.

Por lo tanto la reivindicación 1 carece de novedad de acuerdo con el artículo 6 de la ley de Patentes 11/1986.

**REIVINDICACIONES 2 y 3**

Se considera que D01 es el documento del estado de la técnica más próximo al objeto de la reivindicación 2.

La diferencia existente entre el objeto de la reivindicación 1 y el procedimiento descrito en el documento D01 es que en el documento D01 no se menciona explícitamente el uso de recirculación en el funcionamiento en continuo.

El problema técnico al que se enfrenta el experto en la materia es que al tener una alimentación eléctrica limitada por la irradiación solar, el tratamiento de agua es directamente dependiente de dicha irradiación lo que dificulta el conseguir los objetivos de tratamiento deseado si no hay suficiente irradiación solar obligando a tratar un caudal reducido de agua si la irradiación solar es pequeña.

No obstante, en la figura 2.2.1. "Esquema de la planta piloto de Electro-Oxidación asistida por energía Solar Fotovoltaica" (véase D01, página 34), se aprecia como el agua a tratar llega a un tanque de retención para ser bombeada desde allí a un tanque de almacenamiento por una bomba centrífuga y luego sale del tanque de almacenamiento siendo bombeada hacia cada línea de reactores por la bomba correspondiente regresando de nuevo al tanque de almacenamiento desde donde finalmente se extrae el agua ya tratada mediante otra bomba.

La recirculación se emplea explícitamente en el tratamiento discontinuo (véase D01, página 28) pero no se indica explícitamente si esta recirculación se emplea en el funcionamiento continuo. No obstante, sí que se indica que en la operación en continuo el caudal por cada reactor es de 45 L/min (véase D01, página 62) mientras que el caudal de agua tratada es de 10 L/h (véase D01, página 65).

Por lo tanto, se considera que en el documento D01, existe suficiente información como para que el experto en la materia, enfrentado al problema de la variabilidad de la irradiación solar y sus consecuencias en el tratamiento del agua residual, hubiera empleado recirculación en la operación en continuo. Además, con independencia de las indicaciones existentes en el propio documento D01, también es sobradamente conocido en el estado de la técnica relacionado con el diseño de reactores continuos que la recirculación permite tratar mayor caudal de agua residual en cualquier tratamiento para un mismo tamaño de reactor y condiciones de operación. Tal y como se ilustra, por ejemplo, en el documento D02, columna 9, líneas 29-54.

Por otra parte, en el documento D01 se indica que el caudal de entrada es función de la irradiación solar tal y como se expuso para la reivindicación 1. Por lo tanto, la relación de recirculación entre el caudal de entrada y el caudal de recirculación que se establezca será a su vez también función de la irradiación solar.

Asimismo resulta evidente para el experto en la materia que dado el problema que supone el que la aportación de electricidad esté gobernada por la irradiación solar se pueden manipular dos parámetros para conseguir el objetivo de reducción de la contaminación del agua para conseguir un mayor tiempo de residencia si la irradiación solar disminuye y por lo tanto disminuye la intensidad de la corriente eléctrica y no se alcanza el nivel de depuración pretendido: o bien se disminuye el caudal de entrada o bien se aumenta el caudal de recirculación.

Así pues se considera que las reivindicaciones 2 y 3 no añaden características técnicas adicionales que no hubieran sido evidentes para el experto en la materia.

En conclusión las reivindicaciones 2 y 3, dependientes de la reivindicación 1 que carece de novedad, carecen a su vez de actividad inventiva de acuerdo con el artículo 8 de la Ley de patentes 11/1986.

#### **REIVINDICACIÓN 4**

Se considera que el documento D01 es el documento del estado de la técnica más próximo al objeto de la reivindicación 4.

En la figura 2.2.1. "Esquema de la planta piloto de Electro-Oxidación asistida por energía Solar Fotovoltaica" del documento D01 (página 34) se representa una planta para la depuración de aguas residuales urbanas que comprende tres líneas de reactores de electro-oxidación, un tanque de retención al que llega el agua que se va a tratar, un tanque de almacenamiento conectado a la entrada y a la salida de las líneas de reactores y un set de módulos solares fotovoltaicos integrado.

En las conclusiones del documento D01, se propone como trabajo futuro el dotar a esta planta de un sistema de control para regular el caudal de entrada en continuo dependiendo de la irradiación solar incidente. Véase D01, página 86.

Por lo tanto las únicas diferencias entre la planta objeto de la reivindicación 4 y la planta descrita en el documento D01 son:

- En el documento D01 no se menciona explícitamente la existencia de recirculación cuando se da un funcionamiento en continuo pero esta diferencia ya ha sido analizada en relación con las reivindicaciones 2 y 3 y se vio que no implicaba actividad inventiva.
- en el documento D01 no se menciona que la planta comprenda un medidor de irradiación solar.

No obstante, para el experto en la materia hubiera resultado evidente que si se desea controlar el caudal de entrada en función de la radiación solar es necesario contar con un sensor que permita medir este parámetro.

Por lo tanto, el experto en la materia basándose en los conocimientos comunes en el estado de la técnica y en las enseñanzas del documento D01 hubiera llegado a los mismos resultados que en la reivindicación 4 de forma evidente.

En conclusión la reivindicación independiente 4 carece de actividad inventiva.

#### **REIVINDICACIÓN 5**

La relación entre el área efectiva de la instalación solar fotovoltaica y el área anódica del reactor de electro-oxidación no aparece mencionada en el documento D01.

No obstante para el experto en la materia hubiera resultado evidente que debe existir una relación entre dichas áreas puesto que cuanto mayor sea el área anódica mayor podrá ser el volumen de agua tratada pero también mayor será la necesidad de suministro de energía eléctrica que a su vez depende del área efectiva de la instalación fotovoltaica.

No existe en la descripción ninguna mención a un problema técnico que haya sido necesario resolver para determinar que la relación que se debe usar es la que se reivindica por lo que se asume que la manera de determinar dicha relación ha sido un método rutinario de experimentación por aproximaciones sucesivas cuyo empleo hubiera sido evidente para el experto en la materia.

En consecuencia se considera que la reivindicación 5, dependiente de la reivindicación 4 que carece de actividad inventiva carece a su vez de actividad inventiva.

#### **REIVINDICACIONES 6 y 7**

Las reivindicaciones 6 y 7 se refieren a meras opciones de diseño evidentes para el experto en la materia.

Así pues las reivindicaciones 6 y 7 dependientes de reivindicaciones anteriores que carecen de actividad inventiva carecen a su vez de actividad inventiva.

**REIVINDICACIONES 8 y 9**

La posibilidad de utilizar electrodos de diamante dopado con boro soportados sobre silicio se menciona en el propio documento D01. Véase, por ejemplo, página 9849 del artículo anexo a partir de la página 103 de D01.

En el documento D01, en la figura 2.2.1 de la página 34, se pueden apreciar diferentes líneas de reactores de electro-oxidación con sus respectivas bombas. Para el experto en la materia resulta evidente que dichas bombas se pueden controlar de forma independiente para poder ajustar el caudal de recirculación por cada línea de reactores

Por lo tanto, las características técnicas objeto de las reivindicaciones 8 y 9 son ya conocidas en el estado de la técnica o hubieran resultado evidentes para el experto en la materia.

En definitiva se considera que las reivindicaciones 8 y 9, dependientes de reivindicaciones anteriores que carecen de actividad inventiva, carecen a su vez de actividad inventiva.