

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 807 577**

51 Int. Cl.:

**C02F 3/10** (2006.01)

**C02F 3/08** (2006.01)

**C02F 3/34** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.04.2014** **E 14382131 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.04.2020** **EP 2927196**

54 Título: **Método para el tratamiento de aguas residuales en un biorreactor de lecho fluidizado**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**23.02.2021**

73 Titular/es:

**AQUALIA, GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA, S.A.**  
**(50.0%)**  
**Calle Federico Salmon 13**  
**28016 Madrid, ES y**  
**UNIVERSIDAD DE ALCALÀ (50.0%)**

72 Inventor/es:

**ESTEVE NUÑEZ, ABRAHAM;**  
**BERNA GALIANO, ANTONIO;**  
**TEJEDOR SANZ, SARA;**  
**LETON GARCIA, PEDRO y**  
**RODRIGO JEGUIGO, JOSÉ**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**Observaciones:**

**Véase nota informativa (Remarks, Remarques o Bemerkungen) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes**

**ES 2 807 577 T3**

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

**DESCRIPCIÓN**

Método para el tratamiento de aguas residuales en un biorreactor de lecho fluidizado

Campo de la invención

5 La presente invención está relacionada con biorreactores de lecho fluidizado (FBR). En particular, la presente invención está relacionada con un método para tratar aguas residuales en un biorreactor de lecho fluidizado, en donde la materia orgánica presente en las aguas residuales se oxida en presencia de partículas conductoras de electricidad y bacterias del género *Geobacter*.

Antecedentes de la invención

10 Las tecnologías electroquímicas microbianas (MET) representan un número de tecnologías en las que las bacterias interactúan con material eléctricamente conductor. Por ejemplo, la célula micobiana de combustible (MFC) convierte la energía química en energía eléctrica mediante el uso de microorganismos. En este tipo de biorreactor electroquímico, la oxidación de la materia orgánica se lleva a cabo por microorganismos que transfieren electrones de manera eficiente a un electrodo (ánodo). El circuito está cerrado por la presencia de un cátodo, por lo que se puede recolectar la electricidad. Otro tipo de MET son las células de electrólisis microbiana (MEC), donde los electrodos se polarizan artificialmente por medio de un potencióstato o una fuente de potencia para que los microbios puedan interactuar con la superficie conductora para realizar la oxidación o la reducción de sustratos.

15 El tratamiento biológico de las aguas residuales se basa en la oxidación biológica de la materia orgánica presente en las aguas residuales. Esta oxidación necesita acoplarse a una reacción de reducción (por ejemplo, reducción de oxígeno), lo que generalmente limita el proceso debido al alto coste del suministro artificial de oxígeno al sistema.

20 Para evitar esto, hay algunos tratamientos de aguas residuales llevados a cabo en condiciones anaeróbicas. Estos sistemas conducen a la acumulación de ácidos orgánicos de cadena corta como acetato (ácidos grasos volátiles, VFA). Entre los diferentes dispositivos para el tratamiento de aguas residuales disponibles en el mercado, los denominados biorreactores de lecho fluidizado (FBR) han despertado un interés reciente. Tienen la ventaja de combinar biopelícula-biomasa y alta superficie de contacto mediante el uso de un lecho de partículas fluidizadas que actúan como un único soporte físico de una biopelícula activa de bacterias que limpian las aguas residuales.

25 Los FBR se usan habitualmente para promover el crecimiento de una biopelícula activa de microorganismos asociados al lecho de partículas inertes. Los FBR se han divulgado en el estado de la técnica como un único soporte físico para el crecimiento de bacterias sin ningún papel como sustrato.

30 También hay aplicaciones de lecho fluidizado con naturaleza electroquímica en el campo metalúrgico para promover reacciones redox de metales. Sin embargo, tales aplicaciones no incluyen ningún elemento biológico/aplicación en el tratamiento de aguas residuales.

35 Un ejemplo del estado de la técnica es el documento GB2449453A. Este documento divulga una célula de combustible microbiana que comprende un ánodo, un cátodo, un fluido electrolítico, una cámara de fluido, un sustrato, bacterias que actúan como catalizador y una pluralidad de partículas capacitivas para transferir a los electrodos del ánodo generados en una reacción electroquímica del sustrato. en el catalizador Las partículas capacitivas son partículas móviles que actúan como condensadores para almacenar carga eléctrica.

40 Otro ejemplo relevante es el documento WO201002503A2. Este documento divulga un método para eliminar un compuesto objetivo de un líquido que dispone dos superficies activas dentro de un flujo del líquido y desarrolla una población de microorganismos concentrados en las superficies activas. Se puede utilizar una variedad de microorganismos para inocular las superficies.

La técnica anterior enseña que las bacterias electroactivas mostraron un fuerte requisito: colonizar una superficie eléctricamente conductora para transferirle directamente electrones.

Descripción de la invención

45 La oxidación biológica de la materia orgánica presente en las aguas residuales necesita un acoplamiento cásico, por ejemplo, a la reducción de oxígeno, que requiere un suministro artificial de oxígeno.

La presente invención supera este problema mediante un método para tratar aguas residuales en un biorreactor de lecho fluidizado eléctricamente conductor.

La presente invención proporciona un método para tratar aguas residuales en un biorreactor de lecho fluidizado, que comprende los siguientes pasos:

50 (a) añadir partículas conductoras de electricidad de carbón vítreo con un tamaño igual o inferior a 1,5 mm a la solución presente en el biorreactor,

(b) añadir una suspensión de bacterias del género *Geobacter* en dicho biorreactor;

(c) en presencia de dichas partículas y dichas bacterias, oxidar la materia orgánica presente en las aguas residuales, en donde los electrones generados durante la oxidación de la materia orgánica se transfieren a partículas fluidizadas conductoras de electricidad debido a la capacidad extracelular de transferencia de electrones, y

5 (d) los electrones del lecho fluidizado electroquímico se transfieren a otro electrodo llamado contraelectrodo, donde se consumen en la reducción de especies electroactivas presentes en la solución en el biorreactor.

10 Las bacterias *Geobacter* almacenan y transfieren electrones a electrodos a través de proteínas citocromo C localizadas en la membrana extracelular de la bacteria (Esteve-Núñez A. et al. Fluorescent properties of c-type cytochromes reveal their potential role as an extracytoplasmic electron sink in *Geobacter sulfurreducens*. *Environ Microbiol.* 2008 Feb;10(2): 497-505; Schrott et al., *Electrochemical insight into the mechanism of electron transport in biofilms of Geobacter sulfurreducens*. *Electrochimica Acta* 2011, 56, 10791-10795); dichas proteínas de citocromo C están presentes en todas las especies divulgadas de *Geobacter*.

Otra realización es el método de la invención, en donde dicha bacteria es *Geobacter sulfurreducens*.

15 Los biorreactores de lecho fluidizado del estado de la técnica usan un lecho de partículas fluidizadas que actúan como único soporte físico de una biopelícula activa de bacterias que limpian las aguas residuales.

La presente invención también usa un lecho de partículas fluidizadas que actúan como soporte físico.

20 Sin embargo, la presente invención también usa un material con características conductoras de electricidad que mejora la biodegradación de la materia orgánica. Esto es posible mediante el uso de bacterias del género *Geobacter* capaces de almacenar electrones de la oxidación de la materia orgánica y transferirlos eficientemente al lecho fluidizado conductor de electricidad debido a su capacidad extracelular de transferencia de electrones.

Básicamente, las bacterias unidas a las partículas o incluso suspendidas en la solución oxidan la materia orgánica y transfieren todos estos electrones al lecho fluidizado electroquímico para que puedan circular a otro electrodo llamado contraelectrodo donde se consumen en la reducción de especies electroactivas presentes en la solución. Por ejemplo, el oxígeno y el agua podrían aceptar electrones para generar respectivamente agua o hidrógeno como producto final.

25 Las principales ventajas de la presente invención son:

- Mejora de las tasas de biodegradación de la materia orgánica al combinar la disponibilidad de un aceptador de electrones ilimitado (lecho fluidizado) y la capacidad de transferencia de electrones exocelular de *Geobacter*.
- La tasa de biodegradación no se limita a aquellas células que simplemente forman una biopelícula, como típicamente existe en aplicaciones de células de combustible microbianas. En cambio, todas las células en la solución pueden participar en el proceso.
- Minimizar la producción de biomasa debido al menor rendimiento de crecimiento de bacterias electrogénicas (*Geobacter*).
- Monitorización in situ de la tasa de biodegradación en tiempo real a través de la medición de corriente eléctrica.
- Sin producción de gases de efecto invernadero (sin producción o con baja producción de metano).

35 Breve descripción de las figuras

Figura 1. Esquema del biorreactor de lecho fluidizado que comprende partículas conductoras de electricidad y células *Geobacter*, de acuerdo con el método de la invención.

Figura 2. Oxidación de acetato de acuerdo con el método de la invención.

### Ejemplo

40 Oxidación de materia orgánica

Las células de *Geobacter sulfurreducens* se cultivaron previamente en un quimiostato usando un medio de cultivo que contenía acetato 10 mM y fumarato 10 mM. Se recolectaron 1500 ml de un cultivo de quimiostato ( $OD_{600} = 0,125$ ), se centrifugaron y luego se resuspendieron en regulador de bicarbonato para obtener una suspensión de alta densidad de células cargadas. Dichas células se inocularon luego en un biorreactor de lecho fluidizado.

45 El biorreactor contenía una solución de acetato 5 mM, regulador de bicarbonato 100 mM y partículas de lecho fluidizado de grafito granulado con un tamaño de partícula de 0,15 mm a 0,25 mm. El grafito granulado es un material electroactivo.

Justo después de la inoculación de las células, se detectó una descarga intensa de corriente en el lecho electroquímico fluidizado, como se puede ver en la figura 2. Luego, se monitorizó un aumento constante de corriente debido a la oxidación de acetato microbiano durante más de seis horas antes de que las células alcancen la fase estacionaria y reduzcan su metabolismo junto con la producción de corriente.

**REIVINDICACIONES**

1. Método para el tratamiento de aguas residuales en un biorreactor de lecho fluidizado, caracterizado porque comprende los siguientes pasos:

- 5 (a) añadir partículas conductoras de electricidad de carbón vítreo con un tamaño igual o inferior a 1,5 mm a la solución presente en el biorreactor,
- (b) añadir una suspensión de bacterias del género *Geobacter* en dicho biorreactor;
- (c) en presencia de dichas partículas y dichas bacterias que oxidan la materia orgánica presente en las aguas residuales, en donde los electrones generados durante la oxidación de la materia orgánica se transfieren a partículas fluidizadas conductoras de electricidad debido a la capacidad de transferencia de electrones extracelular, y
- 10 (d) los electrones del lecho fluidizado electroquímico se transfieren a otro electrodo llamado contraelectrodo, donde se consumen en la reducción de especies electroactivas presentes en la solución en el biorreactor.

2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque dicha bacteria es *Geobacter sulfurreducens*.

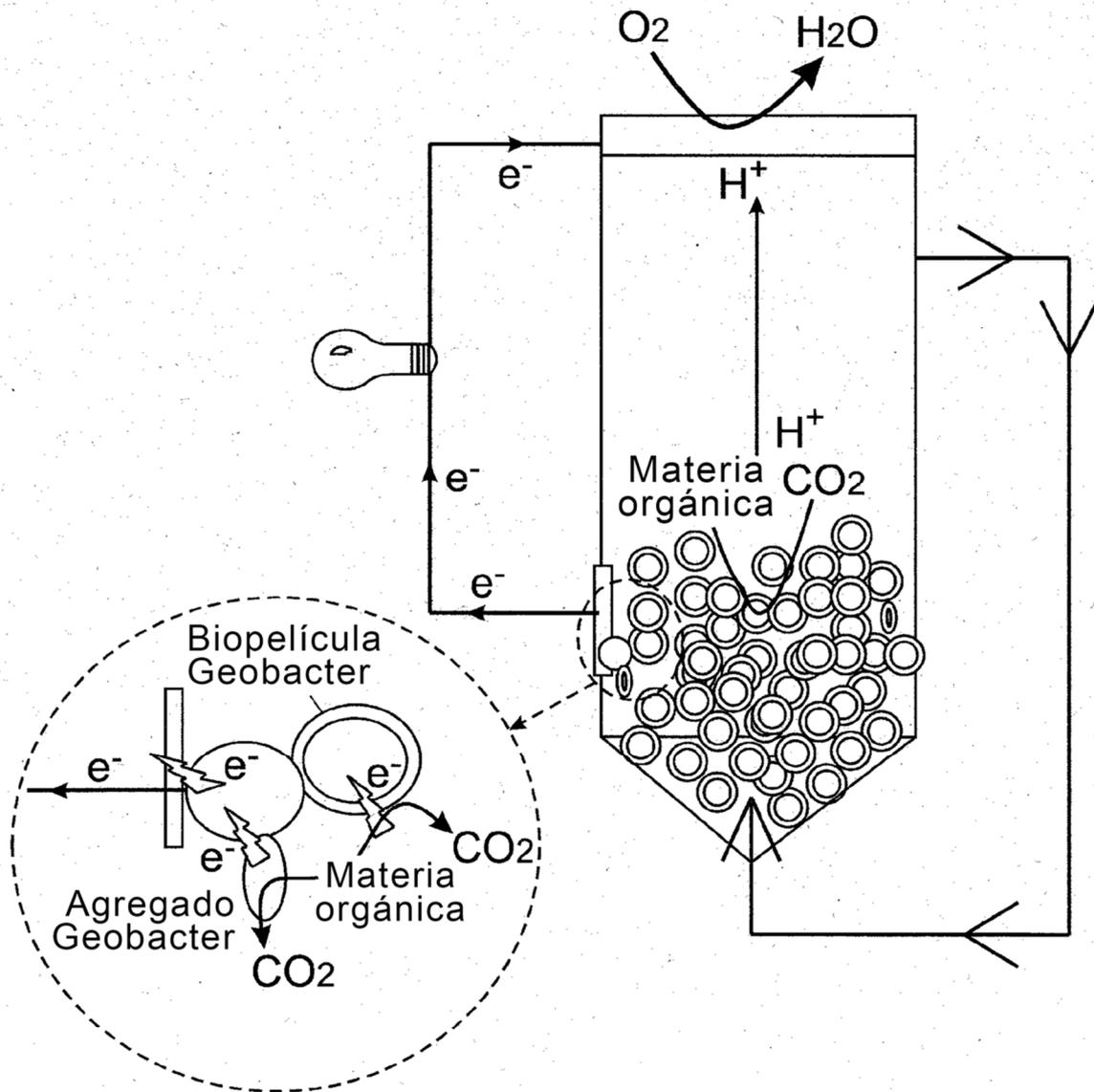


Fig. 1

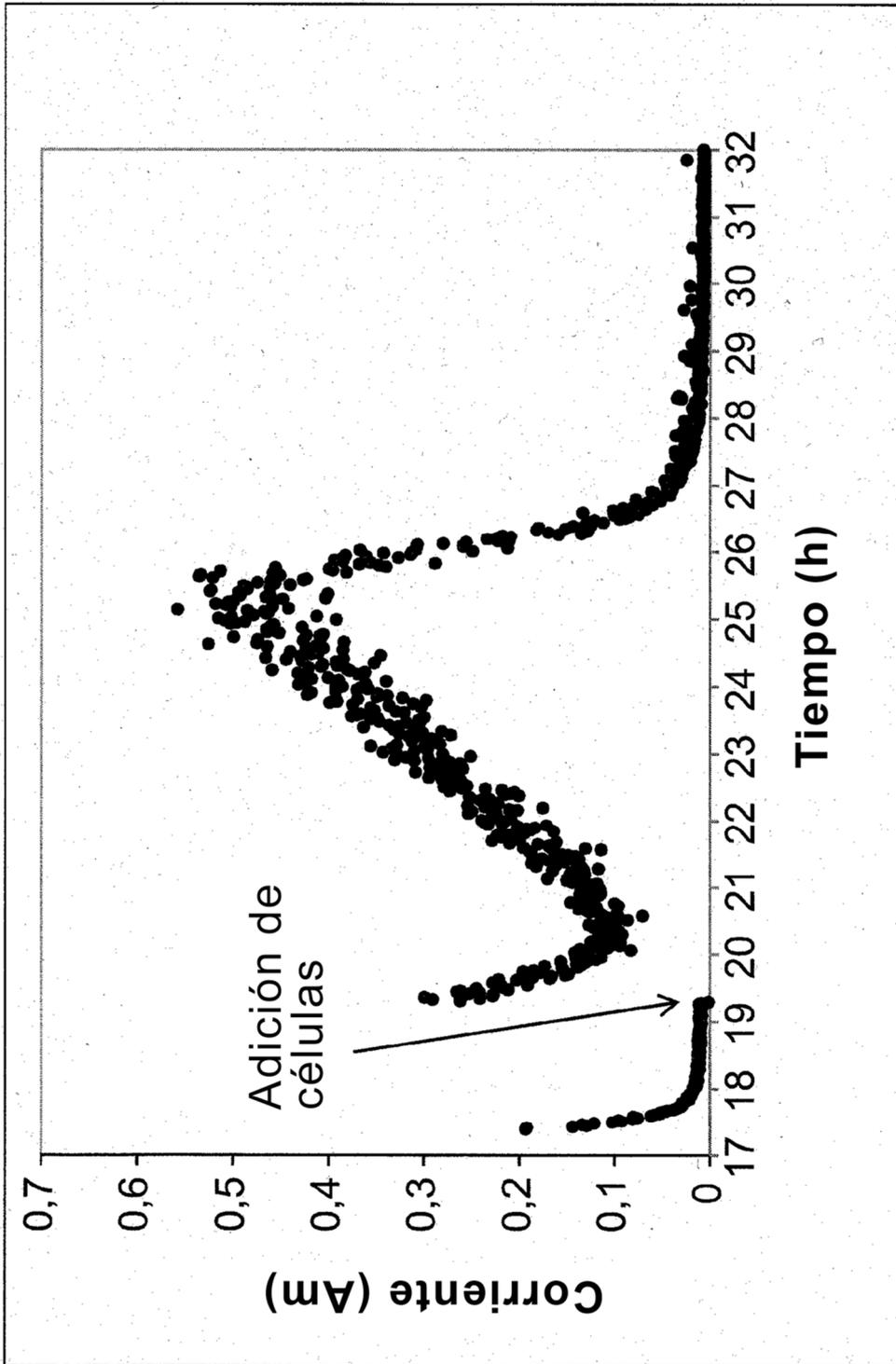


Fig. 2