

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 884 087**

51 Int. Cl.:

**C02F 3/00** (2006.01)

**C02F 1/467** (2006.01)

**C02F 3/34** (2006.01)

**C02F 1/461** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.02.2018** **E 18382099 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.05.2021** **EP 3527538**

54 Título: **Método para la producción simultánea de compuestos neutros en cloro y carbono mediante un sistema bioelectroquímico**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**10.12.2021**

73 Titular/es:

**FCC AQUALIA, S.A. (100.0%)  
Av. del Camino de Santiago, 40  
28050 Madrid, ES**

72 Inventor/es:

**BATLLE VILANOVA, PAU;  
MONSALVO GARCÍA, VÍCTOR MANUEL;  
COLPRIM GALCERAN, JESÚS;  
BALAGUER CONDOM, MARIA DOLORS;  
PUIG BROCH, SEBASTIÀ;  
ICARAN LÓPEZ, PILAR y  
ROGALLA, FRANK**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 884 087 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 la producción simultánea de compuestos neutros en cloro y carbono mediante un sistema bioelectroquímico

**5 Campo de la invención**

La presente invención está relacionada con el campo electroquímico, y más particularmente con los procesos electroquímicos que utilizan Tecnologías Electroquímicas Microbianas ("MET", por sus siglas en inglés). Particularmente, la presente invención está relacionada con un método para la producción simultánea de compuestos de cloro y compuestos neutros en carbono en donde se combinan reacciones electroquímicas y bioelectroquímicas.

**10 Antecedentes de la invención**

Los MET representan una familia de tecnologías en donde las bacterias interactúan con material conductor de electricidad. Por ejemplo, la Celda de Combustible Microbiana ("MFC", por sus siglas en inglés) convierte la energía química en energía eléctrica mediante el uso de microorganismos. Esto permite la oxidación de la materia orgánica (energía química) por parte de 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 aprovechar la electricidad. Otro tipo de METs son las Celdas de Electrólisis Microbiana ("MEC", por sus siglas en inglés), en donde los electrodos se polarizan artificialmente por medio de un potencióstato o una fuente de energía y la comunidad microbiana puede interactuar con una superficie conductora para realizar reacciones de oxidación o reducción. Desde un punto de vista general, los dispositivos utilizados en el marco de las METs, son los denominados sistemas bioelectroquímicos ("BES", por sus siglas en inglés).

En BES, al menos una de las reacciones es catalizada por microorganismos. Los electrodos se pueden polarizar a diferentes potenciales dependiendo del potencial teórico de reducción/oxidación de las reacciones objetivo en los compartimentos anódico y/o catódico. Aunque en BES, una reacción de oxidación siempre está acoplada a una reacción de reducción contraparte, y viceversa, su viabilidad económica es limitada, ya que normalmente sólo una de las reacciones es económicamente atractiva.

La replicación en el mercado de BES hace necesaria la realización de reacciones de oxidación y reducción que se pueden realizar simultáneamente, siendo ambas reacciones económicamente atractivas para superar las limitaciones de costes actuales. Procesos como la reducción bioelectroquímica de CO<sub>2</sub> a biometano (cátodo) se han acoplado a la oxidación electroquímica del agua (ánodo), lo que da como resultado productos de bajo valor (biometano y oxígeno) que no son lo suficientemente atractivos y limitan su aplicación industrial.

En este sentido, en 2009 se publicó la primera patente relacionada con la reducción de CO<sub>2</sub> a metano en un BES (WO2009155587), que describe un método para la producción directa de metano en un cátodo que contiene microorganismos metanogénicos, en donde se obtenían electrones a partir de la oxidación del acetato en el ánodo. Las patentes posteriores sobre la transformación bioelectroquímica del CO<sub>2</sub> se centraron en la producción de hidrógeno y otros compuestos que contienen carbono (WO2011087821, WO2014043690), utilizando agua como donante de electrones en el ánodo, lo que nuevamente limita la viabilidad económica debido al bajo precio del oxígeno. Finalmente, en 2011 se patentó la electrólisis de agua asistida por biológicos para mejorar la producción de biometano (WO2011000084). Todas estas invenciones se centran en la reducción de CO<sub>2</sub> en el compartimento de cátodo del BES, siendo la reacción de oxidación del agua la más utilizada en la cámara de ánodo. De acuerdo con los valores de mercado de los productos finales y los costos de operación, estos enfoques carecen de interés económico para ser industrializados.

Alternativamente, se pueden acoplar otras reacciones de oxidación en la cámara de ánodo a la reducción de CO<sub>2</sub> en el cátodo, incluyendo (i) oxidación de materia orgánica, (ii) oxidación de amonio (nitrificación) o (iii) producción de compuestos de cloro. Entre estos, los compuestos de cloro muestran el mayor valor económico y potencial de aplicación. La producción de compuestos de cloro a partir de salmuera es un procedimiento bien conocido que se lleva a cabo en dispositivos de electrocloración (es decir, WO2011083443, WO2010027825, WO2010027819, WO2007130851). Estas invenciones describen electrolizadores en los que se producen compuestos de cloro en el ánodo y se producen hidrógeno y/o hidróxido de sodio en el cátodo mediante reacciones electroquímicas impulsadas por un suministro eléctrico externo. De manera distinta, en WO2010027825 y WO2010027819 se describe una configuración de reactor de tres cámaras diferente, en lugar de las celdas de electrocloración de dos cámaras más ampliamente comercializadas. Sin embargo, las células de electrocloración nunca se han acoplado hasta ahora a reacciones de base microbiológica.

Los BES se han evaluado como alternativa para la reducción de CO<sub>2</sub> utilizando un biocátodo (WO2009155587, WO2011000084, WO2011087821, WO2014043690). Sin embargo, ninguna de estas aplicaciones permite la producción de compuestos de cloro en el ánodo. Estos agentes de desinfección se pueden usar para la higienización *in situ* del efluente del cátodo que puede contener microorganismos cultivados en el biocátodo. También son posibles otros usos de los compuestos de cloro producidos.

El acoplamiento de la producción de compuestos de cloro y compuestos neutros en carbono en BES no sólo permite su viabilidad económica y facilita su replicación en el mercado, sino que también se han observado procesos sinérgicos que favorecen tanto las reacciones de oxidación como las de reducción.

## 5 Breve descripción de la invención

Se ha informado que la reducción bioelectroquímica de CO<sub>2</sub> a compuestos neutros en carbono es técnicamente factible. Sin embargo, la viabilidad económica es francamente limitada dentro del escenario actual del mercado energético. La presente invención proporciona una combinación de reacciones electroquímicas y bioelectroquímicas que da como resultado un proceso económicamente atractivo que supera las limitaciones de costes actuales.

La invención describe un método para la producción simultánea de compuestos de cloro y compuestos neutros en carbono utilizando un sistema bioelectroquímico en donde los microorganismos bioelectroactivos catalizan la producción simultánea de compuestos de cloro y compuestos neutros en carbono (es decir, biometano, ácidos carboxílicos, alcoholes, etc.) a partir de corrientes de rechazo, tales como salmuera no deseada u otras soluciones que contienen cloruro, y CO<sub>2</sub>, respectivamente.

El método para la producción simultánea de compuestos de cloro y compuestos neutros en carbono mediante un sistema bioelectroquímico, que comprende una cámara de ánodo (1) con un ánodo que comprende un catalizador electroquímico, una cámara de cátodo (5) en donde el electrodo de cátodo (6) que comprende un material conductor biocompatible, que permite la conversión bioelectroquímica de CO<sub>2</sub> disuelto en una corriente acuosa (7) en compuestos neutros en carbono (8) y agua clarificada (11), en donde el catalizador electroquímico en el ánodo (4) y/o el material conductor biocompatible en el cátodo (6) son electrodos a base de carbono, tales como espuma de carbono, papel de carbono, tela de carbono, fieltro de carbono, lana de carbono, nanotubos de carbono, fibras de carbono, carbón activado, carbono vítreo o grafito (en cualquier forma); grafeno, polímeros conductores, electrodos dimensionalmente estables ("DSA", por sus siglas en inglés), diamante conductor eléctrico ("ECD", por sus siglas en inglés), tal como el diamante dopado con boro ("BDD", por sus siglas en inglés); cobalto, cobre, oro, iridio, hierro, níquel, paladio, platino, rutenio, plata, acero inoxidable, estaño, titanio, tungsteno y combinaciones de los mismos, una fuente de energía (9) y al menos una membrana (10) que separa la cámara de ánodo (1) y la cámara de cátodo (5), caracterizado porque comprende los siguientes pasos:

a) añadir microorganismos bioelectroactivos seleccionados de *Acetitomalacum*, *Acetoanaerobium*, *Acetobacterium*, *Azospira*, *Blautia*, *Butyribacterium*, *Bacteroides*, *Clostridium*, *Desulfobacterium*, *Eubacterium*, *Geobacter*, *Geovibrio*, *Megasphaera*, *Methanobacterium*, *Metanobrevibacter*, *Methanococcus*, *Morella*, *Rhodobacter*, *Sporomusa*, *Sulfospirillum* y/o *Thermoanaerobacter*, y material conductor biocompatible en la cámara de cátodo (5);

b) alimentar una corriente acuosa (7) en la cámara de cátodo (5) y convertir el CO<sub>2</sub> disuelto en la corriente acuosa (7) en compuestos neutros en carbono (8);

c) alimentar una solución que contiene cloruro (2) en la cámara de ánodo (1) y transformar la solución que contiene cloruro (2) en compuestos de cloro (3) en presencia de un catalizador electroquímico;

en donde una fuente de electrones se suministra total o parcialmente a partir de la oxidación electroquímica de la solución que contiene cloruro (2) a compuestos de cloro (3) en la cámara de ánodo (1) y se transfiere a través de un circuito externo al cátodo (5).

Otro aspecto de la invención es que los microorganismos bioelectroactivos en la cámara de cátodo (5) se suspenden en la solución y/o en la forma de biopelícula fijada sobre la superficie del cátodo (6).

Los microorganismos adheridos al material conductor biocompatible colocado en el cátodo y/o suspendido en la solución (comunidad planctónica) son capaces de reducir el CO<sub>2</sub>. Esta reacción requiere una fuente de electrones, que se suministran total o parcialmente a partir de la oxidación electroquímica de iones cloruro a cloro en la cámara de ánodo (1) y se transfieren a través de un circuito externo al cátodo (5).

El sistema bioelectroquímico trabaja con una diferencia de potencial entre las cámaras de ánodo (1) y de cátodo (5) que da como resultado un flujo facilitado de electrones desde el ánodo al cátodo. En la presente invención se aplica voltaje, se fija la corriente o se fijan los semi-potenciales de ánodo o cátodo para permitir la producción simultánea de compuestos de cloro (3) y compuestos neutros en carbono (8). Se pueden usar varios métodos y dispositivos para proporcionar electricidad, ya sea a partir de métodos de producción renovables y/o convencionales.

Los microorganismos autótrofos reductores de CO<sub>2</sub> inoculados en la cámara de cátodo (5) son capaces de impulsar la reducción de CO<sub>2</sub> a compuestos neutros en carbono (8) utilizando electrones, hidrógeno o ambos (Battle-Vilanova, P. et al., 2015. "Deciphering the electron transfer mechanisms for biogas upgrading to biomethane within a mixed culture biocathode". RSC Adv. 5, 52243-52251., Siegart, M. et al., 2015. "Methanobacterium dominates biocathodic

archaeal communities in methanogenic microbial electrolysis cells". ACS Sustain. Chem. Eng. 3, 1668-1676.; Battle-Vilanova).

5 Otro aspecto de la invención es que el CO<sub>2</sub> disuelto en una corriente acuosa (7) se alimenta a la cámara de cátodo (5) mediante inyección directa en la cámara de cátodo o en una unidad de absorción previa en donde se disuelve CO<sub>2</sub> en una corriente acuosa. A continuación, los microorganismos bioelectroactivos llevan a cabo la reducción de CO<sub>2</sub> a compuestos neutros en carbono (8) en la cámara de cátodo (5).

10 Otro aspecto de la invención es que los compuestos neutros en carbono (8) se producen a partir de CO<sub>2</sub> mediante reducción directa de electrones y/o usando hidrógeno como intermedio.

Otro aspecto de la invención es que la corriente acuosa (7) es agua mineral, agua subterránea, agua de mar, agua salobre, agua de rechazo, aguas residuales, aguas residuales tratadas u otras corrientes de agua.

15 Otro aspecto de la invención es que la membrana (10) puede ser una membrana de intercambio aniónico, una membrana de intercambio catiónico o ambas y se instalan en un reactor de 2 o 3 cámaras.

20 La solución que contiene cloruro (2) se alimenta en la cámara de ánodo (1) del sistema bioelectroquímico para llevar a cabo la transformación electroquímica de iones cloruro en compuestos de cloro (3) como desinfectantes. El pH en la cámara de ánodo determina las especies de cloro producidas dominadas por las reacciones de equilibrio controladas por el pH. La solución que contiene cloruro (2) se puede obtener de diferentes fuentes y contiene diferentes sales de cloruro o combinaciones de las mismas. Otro aspecto de la invención es que la solución que contiene cloruro (2) puede obtenerse de diferentes fuentes y contener diferentes sales de cloruro, o combinaciones de las mismas, con una concentración de cloruro entre 0,1 g L<sup>-1</sup> y 150 g L<sup>-1</sup>.

Las siguientes características son específicas de la presente invención y ofrecen ventajas relevantes sobre otras en el estado de la técnica:

- 30
- Producción simultánea de compuestos de cloro (3) y compuestos neutros en carbono (8) mediante procesos combinados electroquímicos y bioelectroquímicos sinérgicos en el ánodo (4) y el cátodo (6) de un sistema bioelectroquímico, respectivamente.
  - Producción de compuestos de cloro (3) a partir de soluciones de cloruro (2) en la cámara de ánodo (1).
- 35
- Se pueden alimentar salmueras altamente concentradas en la cámara de ánodo (1) sin afectar la actividad de los microorganismos en la cámara de cátodo (5).
  - Reducción de la emisión de gases de efecto invernadero (reciclaje de CO<sub>2</sub>) mediante la producción de compuestos neutros en carbono (8).
  - Se logran condiciones estables en la cámara de cátodo (5) en donde los microorganismos bioelectroactivos producen compuestos neutros en carbono (8) a partir del CO<sub>2</sub>.
- 40
- El método de la invención se puede implementar fácilmente en plantas de tratamiento de aguas residuales en donde:
    - El CO<sub>2</sub> contenido en el biogás resultante de la digestión anaeróbica se utiliza para obtener compuestos neutros en carbono (8).
    - Los compuestos de cloro (3) se obtienen a partir de soluciones que contienen cloruro (2), incluyendo las salmueras, que se pueden utilizar para la desinfección.
- 45

### Breve descripción de las Figuras

Las siguientes figuras se describen a continuación. Éstas ilustran las realizaciones ejemplares y no limitan su alcance.

50

- La Figura 1 muestra un esquema de un sistema bioelectroquímico como se usa en la invención que comprende: catalizador electroquímico en el ánodo, y material conductor biocompatible y microorganismos reductores de CO<sub>2</sub> en el cátodo.

55

- La Figura 2 muestra el curso temporal de la producción de metano en presencia de *Methanobacterium* spp.. Condiciones de operación: potencial de cátodo = -0,8 V frente al electrodo de hidrógeno estándar ("SHE", por sus siglas en inglés), tiempo de retención hidráulica ("HRT", por sus siglas en inglés) de cátodo = 12,5 h, HRT de ánodo = 62 h, membranas aniónicas y catiónicas. Durante estos experimentos enfocados en la producción de metano, también se detectó la producción de compuestos de cloro en el ánodo del sistema a una concentración de 0,05 mg/L, correspondiente a una tasa de producción de 4,6 µg/h.

60

- La Figura 3 muestra el curso temporal de la producción de metano en presencia de *Methanobacterium* spp.. Condiciones de operación: potencial de cátodo = -0,8 V frente a SHE, HRT de cátodo = 12,5 h, HRT de ánodo = 62 h, membranas aniónicas y catiónicas. Durante estos experimentos, también se detectó la producción de compuestos de cloro en el ánodo del sistema a una concentración de 1 mg/L, correspondiente a una tasa de producción de 16 µg/h.

65

**Ejemplos de la invención****Ejemplo 1. Producción de biometano a partir de CO<sub>2</sub>.**

El cátodo se inoculó con un cóctel microbiano enriquecido en *Methanobacterium* ssp. y se utilizaron gránulos de grafito como material conductor biocompatible. La celda se operó a un potencial de cátodo constante de -0,8 V frente al electrodo de hidrógeno estándar (SHE). Una vez que se alcanzó un funcionamiento estable, el sistema puede funcionar en diferentes condiciones de operación. La Figura 2 muestra los resultados obtenidos con una alimentación acuosa que contiene CO<sub>2</sub> disuelto (~30 mM) a un HRT de cátodo de 6,2 h.

El promedio de cinco pruebas diferentes bajo las mismas condiciones demostró una tasa de producción de metano de  $54,3 \pm 2,0$  mMCH<sub>4</sub> día<sup>-1</sup>, eficiencia culombónica de  $80,9 \pm 2,8\%$ , al obtener un biometano con  $78,6 \pm 2,3\%$  de metano.

**Ejemplo 2. Producción de acetato, butirato y alcoholes a partir de CO<sub>2</sub>.**

El cátodo se inoculó con un cóctel microbiano de microorganismos carboxidotróficos enriquecidos en *Clostridium* ssp. y se utilizó tela de carbono como material conductor biocompatible. La celda se operó a un potencial de cátodo constante de -0,8 V frente al electrodo de hidrógeno estándar (SHE). El reactor se operó en modo de lote alimentado, suministrando periódicamente gas CO<sub>2</sub> por burbujeo directo en solución acuosa (CO<sub>2</sub> ~30 mM) en un recipiente de recirculación.

El efluente final resultante contiene acetato (30-100 mmol de carbono por litro (mMC), butirato (20-87 mMC), etanol (3-20 mMC), butanol (0-5 mMC) y pequeñas cantidades de otros compuestos, tales como propionato, valerato y caproato, con eficiencias culombónicas generales que oscilan entre 40 y 85%.

**Ejemplo 3. Producción anódica de compuestos de cloro**

El catalizador electroquímico de titanio recubierto con óxidos metálicos mixtos ("Ti-MMO", por sus siglas en inglés) se utilizó en el ánodo del dispositivo BES. La celda se operó a un potencial de ánodo constante de +1,4 V frente a SHE. El reactor se alimentó con salmuera (100 g de NaCl L<sup>-1</sup>) en modo por lotes.

Se obtuvo una concentración de cloro de 46 mg Cl<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> en 25 h, alcanzando una tasa de producción de cloro de 1,8 mg L<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. La eficiencia culombónica obtenida osciló entre 1-1,5%.

**Ejemplo 4. Acoplamiento de la producción de compuestos de biometano y cloro**

El cátodo se inoculó con un cóctel microbiano enriquecido en *Methanobacterium* ssp. y se utilizaron gránulos de grafito como material conductor biocompatible. La celda se operó a un potencial de cátodo constante de -0,8 V frente al electrodo de hidrógeno estándar (SHE). El catalizador electroquímico de titanio recubierto con óxidos metálicos mixtos (Ti-MMO) se utilizó en el ánodo del dispositivo BES. El cátodo se alimentó con una solución acuosa que contenía CO<sub>2</sub> disuelto (~30 mM) a un HRT de cátodo de 12,5 h. El reactor se alimentó con salmuera (10 g de NaCl L<sup>-1</sup>), a un HRT de ánodo de 62 h.

La Figura 3 muestra los resultados obtenidos durante 50 horas de experimento. Se produjo metano a una tasa de  $18,6 \pm 0,1$  mMCH<sub>4</sub> día<sup>-1</sup>, eficiencia culombónica de  $79,0 \pm 2,0\%$ , obteniéndose un biometano con  $89,4 \pm 5,1\%$  de metano.

Además, se observó la producción de compuestos de cloro en el ánodo, alcanzando concentraciones de efluente de 1 mg/L, lo que es suficiente para lograr la desinfección en algunas aplicaciones (es decir, tratamiento terciario de aguas residuales).

El proyecto que dio lugar a esta solicitud ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención No. 685793.

Parte de los resultados sujetos a protección son fruto de una investigación realizada en el marco del proyecto CIEN SMART GREEN GAS, financiado por el CDTI.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método para la producción simultánea de compuestos de cloro y compuestos neutros en carbono mediante un sistema bioelectroquímico, que comprende una cámara de ánodo (1) con un ánodo que comprende un catalizador electroquímico, una cámara de cátodo (5) con un electrodo de cátodo (6) que comprende un material conductor biocompatible, que permite la conversión bioeléctrica de CO<sub>2</sub> disuelto en una corriente acuosa en compuestos neutros en carbono (8) y agua clarificada (11), en donde el catalizador electroquímico en el ánodo (4) y/o el material conductor biocompatible en el cátodo (6) son electrodos a base de carbono, tales como espuma de carbono, papel de carbono, tela de carbono, fieltro de carbono, lana de carbono, nanotubos de carbono, fibras de carbono, carbón activado, carbono vítreo o grafito (en cualquier forma); grafeno, polímeros conductores, electrodos dimensionalmente estables ("DSA", por sus siglas en inglés), diamante conductor eléctrico ("ECD", por sus siglas en inglés), tal como el diamante dopado con boro ("BDD", por sus siglas en inglés); cobalto, cobre, oro, iridio, hierro, níquel, paladio, platino, rutenio, plata, acero inoxidable, estaño, titanio, tungsteno y combinaciones de los mismos, una fuente de energía (9) y al menos una membrana de intercambio aniónico y/o catiónico (10) que separa la cámara de ánodo (1) y la cámara de cátodo (5), caracterizado porque comprende los siguientes pasos:
- 10
- 15 a) añadir microorganismos bioelectroactivos seleccionados de *Acetitomalacum*, *Acetoanaerobium*, *Acetobacterium*, *Azospira*, *Blautia*, *Butyribacterium*, *Bacteroides*, *Clostridium*, *Desulfobacterium*, *Eubacterium*, *Geobacter*, *Geovibrio*, *Megasphaera*, *Methanobacterium*, *Metanobrevibacter*, *Methanococcus*, *Morella*, *Rhodobacter*, *Sporomusa*, *Sulfospirillum* y/o *Thermoanaerobacter*, y material conductor biocompatible en la cámara de cátodo (5);
- 20 b) alimentar una corriente acuosa (7) en la cámara de cátodo (5) y convertir el CO<sub>2</sub> disuelto en la corriente acuosa (7) en compuestos neutros en carbono (8);
- 25 c) alimentar una solución que contiene cloruro (2) en la cámara de ánodo (1) y transformar la solución que contiene cloruro (2) en compuestos de cloro (3) en presencia de un catalizador electroquímico;
- en donde una fuente de electrones se suministra total o parcialmente a partir de la oxidación electroquímica de la solución que contiene cloruro (2) a compuestos de cloro (3) en la cámara de ánodo (1) y se transfiere a través de un circuito externo al cátodo (5).
- 30 2. El método de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque la corriente acuosa (7) es agua mineral, agua subterránea, agua de mar, agua salobre, agua de rechazo, aguas residuales, aguas residuales tratadas u otras corrientes de agua.
- 35 3. El método de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque los microorganismos bioelectroactivos de la cámara de cátodo (5) se suspenden en la solución y/o en la forma de biopelícula fijada sobre el electrodo de cátodo (6).
- 40 4. El método de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones 1-3, caracterizado porque la solución que contiene cloruro (2) contiene sales de cloruro o combinaciones de las mismas con una concentración de cloruro entre 0,1 g L<sup>-1</sup> y 150 g L<sup>-1</sup>.
- 45 5. El método de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque el CO<sub>2</sub> se disuelve en la corriente acuosa (7) mediante inyección directa en la cámara de cátodo (5) o mediante una unidad de absorción previa.
- 50 6. El método de de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones 1-5, caracterizado porque los compuestos neutros en carbono (8) se producen a partir de CO<sub>2</sub> mediante reducción directa de electrones y/o usando hidrógeno como intermedio.

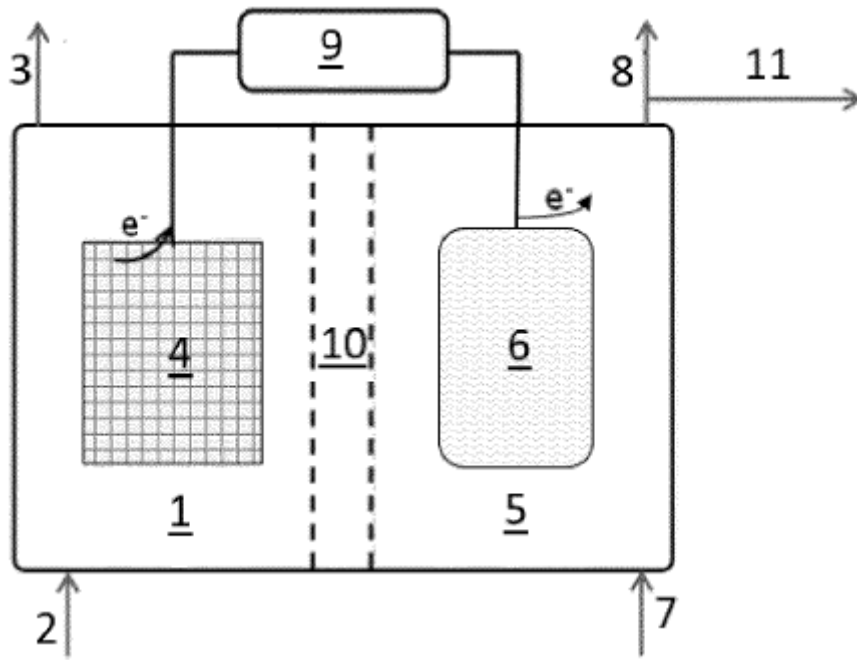


FIG.1

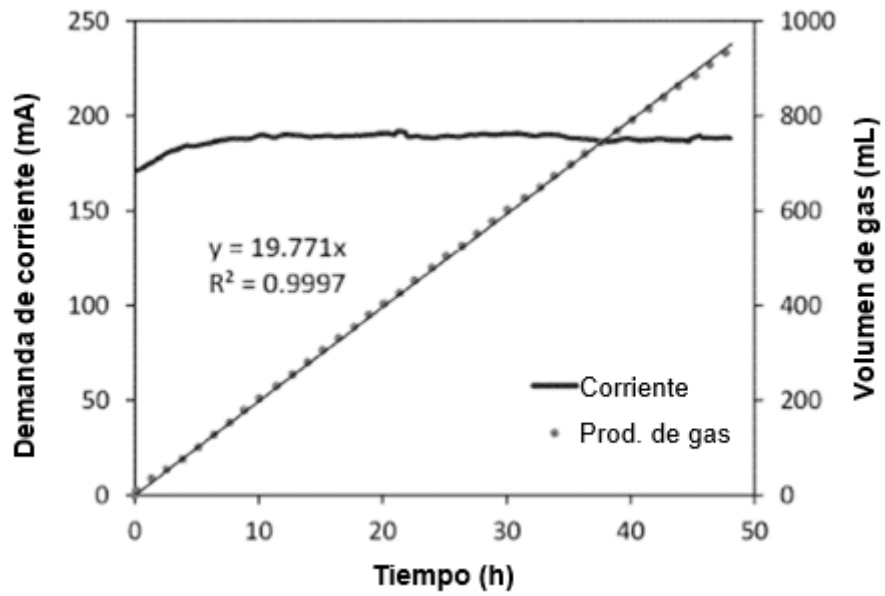
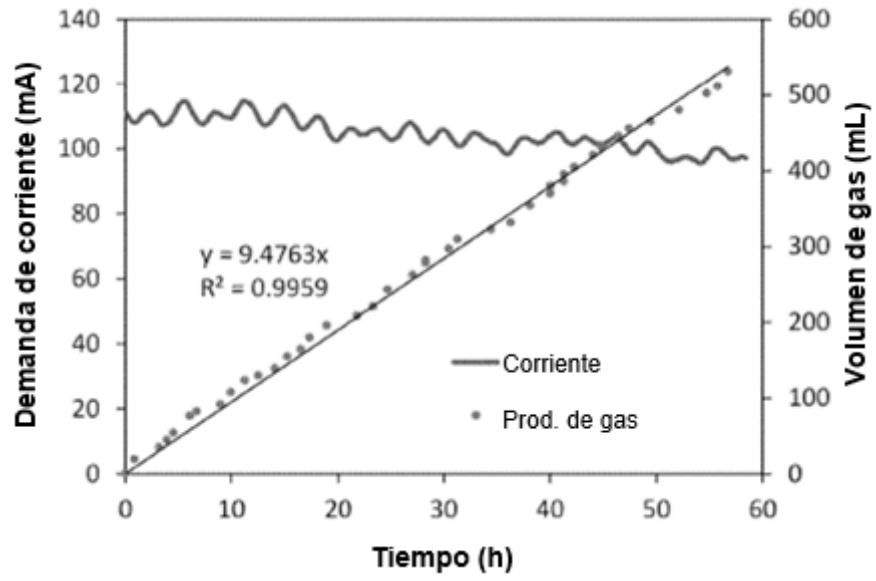


FIG.2



**FIG. 3**