



(12)

SOLICITUD de PATENTE

(43) Fecha de publicación: **22/03/2016** (51) Int. Cl: **C02F 3/34** (2006.01)
C02F 1/00 (2006.01)
(22) Fecha de presentación: **09/12/2011**
(21) Número de solicitud: **2011013241** **C02F 1/469** (2006.01)

(71) Solicitante:
CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA DE YUCATAN, A.C.
Calle 43 #130 97200 Mérida Yucatán MX

(72) Inventor(es):
LILIANA MARÍA ALZATE GAVIRIA
Calle 43 #130 MERIDA Yucatán CP. 97200 MX
JORGE ARTURO DOMÍNGUEZ MALDONADO
ORLANDO GARCÍA RODRÍGUEZ

(74) Representante:
JOSUE JOSAFAT LIÉVANO MÉRIDA
Guillermo Gonzalez Camarena No. 1100-7° piso
ALVARO OBREGON Distrito Federal CP. 01210 MX

(54) Título: **FOSA SEPTICA CON CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBIANA PARA LA GENERACION DE ELECTRICIDAD Y TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.**

(54) Title: **SEPTIC TANK WITH MICROBIAL FUEL CELL FOR GENERATING ELECTRICITY AND TREATING WASTEWATER.**

(57) Resumen

La presente invención se refiere a una fosa séptica que comprende una celda de combustible microbiana de flujo ascendente que comprende: (a) una carcasa que tiene una entrada inferior y una salida superior; (b) un ánodo y un cátodo; (c) el ánodo tiene una cámara anódica que contienen un anolito y el cátodo tiene una cámara catódica que contiene un catolito; caracterizado porque el ánodo y el cátodo comprenden una bolsa metálica que contiene carbón granulado y además comprende (d) una membrana de intercambio protónico colocada entre ambas cámaras anódica y catódica. Una celda de combustible microbiana (CCM) (150) para tratamiento de aguas residuales, que comprende: i. un ánodo (160), formado por una cámara anódica (161), para contener un anolito (165), que tiene una abertura (166) de entrada y salida de anolito, y un electrodo (165), contenido en la cámara anódica (161), ii un cátodo (170), formado por una cámara catódica (171), para contener un catolito, que tiene una abertura de entrada y salida de catolito, y un electrodo (175), contenido en la cámara catódica (171); y iii una membrana de intercambio protónico (180), que tiene una cara en contacto con el ánodo (160) y una cara en contacto con el cátodo (170), caracterizada porque a) la cámara catódica (171), la cámara anódica (161) y la membrana (180) son coaxiales y se disponen de manera vertical, estando la cámara catódica (171) dispuesta en la porción superior de la celda; b) la cámara catódica (171) tiene un diámetro y volumen menor que la cámara anódica (161) y está dispuesta de manera anular dentro de la cámara anódica (161); y c) membrana estando dispuesta en el fondo de la cámara catódica y teniendo una cara orientada a la cámara catódica (171) y una cara orientada a la cámara anódica (161). Figuras 3A y 3B.

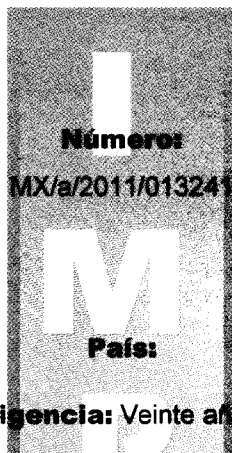
(57) Abstract

Described is a septic tank, which comprises an upstream microbial fuel cell that comprises: (a) a carcass with a lower inlet and an upper outlet; (b) an anode and a cathode; (c) the anode has an anodic chamber that contains an anolyte and the cathode contains a cathodic chamber with a catholyte; the anode and the cathode comprise a metallic bag containing granulated coal and also comprising (d) a proton exchange membrane located between both chambers, anodic and cathodic.



TÍTULO DE PATENTE NO. 337952

Titular(es): CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE YUCATÁN A.C.
Domicilio: Calle 43 # 130, Col. Chuburná de Hidalgo, 97200, Mérida, Yucatán, MÉXICO
Denominación: FOSA SEPTICA CON CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBIANA PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD Y TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL
Clasificación: Int.CI.8: C02F1/00; C02F1/469; C02F3/34
Inventor(es): LILIANA MARÍA ALZATE GAVIRIA; JORGE ARTURO DOMÍNGUEZ MALDONADO; ORLANDO GARCÍA RODRÍGUEZ



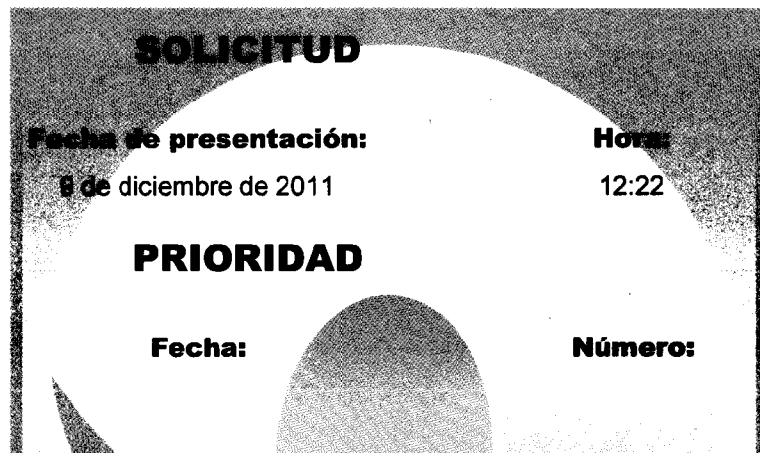
Número:

MX/a/2011/013241

País:

Vigencia: Veinte años

Fecha de Vencimiento: 8 de diciembre de 2031



Fecha de presentación:

8 de diciembre de 2011

Hora:

12:22

PRIORIDAD

Fecha:

Número:

La patente de referencia se otorga con fundamento en los artículos 1º, 2º fracción V; 6º fracción III, y 59 de la Ley de la Propiedad Industrial.

De conformidad con el artículo 23 de la Ley de la Propiedad Industrial, la presente patente tiene una vigencia de veinte años improrrogables, contada a partir de la fecha de presentación de la solicitud y estará sujeta al pago de la tarifa para mantener vigentes los derechos.

Quien suscribe el presente título lo hace con fundamento en lo dispuesto por los artículos 6º fracciones III y 7º bis 2 de la Ley de la Propiedad Industrial (Diario Oficial de la Federación (D.O.F.) 27/06/1991, reformada el 02/08/1994, 25/10/1996, 26/12/1997, 17/05/1999, 26/03/2004, 16/06/2005, 25/01/2006, 06/05/2009, 06/01/2010, 18/06/2010, 20/06/2010, 27/01/2012 y 09/04/2012); artículos 1º, 3º fracción V inciso a), 4º y 12º fracciones I y III del Reglamento del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (D.O.F. 14/12/1999, reformado el 01/03/2002, 15/07/2004, 28/07/2004 y 7/09/2007); artículos 1º, 3º, 4º, 5º fracción V inciso a), 16 fracciones I y III y 30 del Estatuto Orgánico del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (D.O.F. 27/12/1999, reformado el 10/10/2002, 29/07/2004, 04/08/2004 y 13/09/2007); 1º, 3º y 5º inciso a) del Acuerdo que delega facultades en los Directores Generales Adjuntos, Coordinador, Directores Divisionales, Titulares de las Oficinas Regionales, Subdirectores Divisionales, Coordinadores Departamentales y otros subalternos del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. (D.O.F. 15/12/1999, reformado el 04/02/2000, 29/07/2004, 04/08/2004 y 13/09/2007).

Fecha de expedición: 22 de marzo de 2016

LA DIRECTORA DIVISIONAL DE PATENTES

NAHANNY CANAL REYES




Arenal No. 550, Piso 1,
Col. Pueblo Santa María Tepepan,
Xochimilco, C.P. 16020.
Ciudad de México
Tel (55) 53 34 07 00 www.impi.gob.mx



MX/2016/23610

IMPI



FOSA SEPTICA CON CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBIANA
PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD Y TRATAMIENTO DE
AGUA RESIDUAL

5 **ANTECEDENTES.**

1. Campo de la invención.

La presente invención se refiere al tratamiento de aguas residuales, en particular al tratamiento de aguas residuales en fosas sépticas. Más particularmente al tratamiento de aguas residuales y generación continua de electricidad generada en una instalación doméstica, pública, comercial o industrial a través de una celda de combustible microbiana instalada en una fosa séptica.

2. Antecedentes generales de la invención.

En México y muchos países latinoamericanos sólo es tratado el 38% de las aguas residuales, generalmente incluye el tratamiento de los efluentes que se colectan en una red de drenaje municipal. Sin embargo, las aguas que son descargadas en fosas sépticas son consideradas como pretratamientos en ingeniería sanitaria, como resultado, el agua contaminada escurre hacia el subsuelo contaminando de esta manera los mantos acuíferos que en turno son explotados para proveer de agua dulce a la población.

En el caso de la península de Yucatán, el problema es aún mayor. La tierra es caliza, dura y muy permeable, de manera que el agua pluvial se filtra por el subsuelo, formando cavidades y aguadas interiores conocidas como cenotes, las cuales son una fuente fundamental de agua para la población. En virtud de las características del suelo calcáreo de la península, los mantos freáticos son vulnerables a cualquier foco contaminante que se encuentre en la superficie. Además, en las ciudades, pueblos y rancherías de la península de Yucatán no existe un sistema de alcantarillado debido a que es muy costoso perforar la laja. De tal manera, que el desecho de las aguas residuales se realiza por medio de

fosas sépticas, por lo que el subsuelo recibe directamente escurrimientos superficiales y por tanto tiene lugar la inminente contaminación del manto freático.

Se estima que en las fosas sépticas tiene lugar solamente un pretratamiento que elimina un máximo de 25% de la materia orgánica contenida en el agua residual. Convirtiéndose tales fosas en focos de contaminación para cenotes, acuíferos y finalmente el mar que en la península de Yucatán tiene una importancia turística fundamental. Además, en el caso de la Ciudad de Mérida, Yucatán, la única fuente de agua dulce es el acuífero cárstico bajo la ciudad. Debido a esto, es necesario buscar una alternativa que permita el manejo integral de las aguas residuales y evitar que se siga contaminando.

El resto de México no es la excepción respecto a la mala disposición de los residuos líquidos que contaminan tanto aguas superficiales como subterráneas. Tales disposiciones no cumplen la norma mexicana de vertimiento para límites de contaminantes NOM-001-ECOL-1996.

Al problema anterior se le suma otro más: la contaminación atmosférica, la cual se debe principalmente a la quema de combustibles fósiles, los cuales son recursos limitados. La energía generada por dichos combustibles es importante para el desarrollo humano, sin embargo, entre las consecuencias de su uso se encuentra la generación de gases de efecto invernadero tales como bióxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno, etc. los cuales contribuyen al calentamiento global. Las fosas sépticas también contribuyen a la contaminación ambiental resultado de la liberación de gases como el metano y el bióxido de carbono al aire. Por tanto, es deseable proporcionar un sistema que genere energía pero que no produzca gases contaminantes como el metano.

Se conocen en la técnica algunos tratamientos de agua para sistema de alcantarillado, por ejemplo, lodos activados es el más empleado, seguido de reactores anaerobios de flujo descendente tipo filtro, todos ellos requieren de personal capacitado para la operación, compuestos químicos y la construcción ingenieril de sistemas de sedimentación previos y posteriores así como la cons-

trucción del alcantarillado con pendiente que respete velocidades mínimas incluidas sus cámaras de inspección (manhall) lo que incrementa el presupuesto de construcción teniendo en cuenta las características de laja en la región.

Sin embargo, tales soluciones no son aplicables a sistemas de fosas sépticas.

5

SUMARIO DE LA INVENCION

Un objeto de la invención consiste en proporcionar una fosa séptica modificada que prevenga:

10

- La contaminación de mantos acuíferos
- La centralización de aguas residuales que implica la construcción de infraestructuras de ingeniería de aguas, personal capacitada y química para el funcionamiento del sistema.
- La generación de electricidad de forma renovable a partir de pasivos ecológicos.

15

En un aspecto de la invención, se proporciona saneamiento y generación de electricidad descentralizado de acuerdo a las características de la zona.

20

Los anteriores objetos se consiguen por medio de proporcionar una fosa séptica que incluye una celda de combustible microbiana de flujo ascendente que comprende: (a) una carcasa que tiene una entrada inferior y una salida superior; (b) un ánodo y un cátodo; el ánodo teniendo una cámara anódica que contiene un anolito y el cátodo teniendo una cámara catódica que contiene un catolito, caracterizado porque el ánodo y el cátodo comprenden una bolsa metálica que contiene carbón granulado y además comprende una membrana de intercambio protónico colocada entre ambas cámaras anódica y catódica.

25

El método de la presente invención además remueve por arriba del 95% de la materia orgánica a diferencia de tan solo el 25% ó menos de una fosa convencional.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS



A modo de ejemplo, se hace ahora referencia a los dibujos que se acompañan.

5 La FIG. 1 ilustra un diagrama de bloques del sistema de tratamiento de aguas residuales para una instalación doméstica, pública, comercial o industrial conforme a la presente invención.

La FIG. 2 ilustra una fosa séptica que incorpora un sedimentador y una celda de combustible microbiana.

10 La FIG. 3A ilustra la celda de combustible microbiana.

La FIG. 3B ilustra el flujo de agua en la celda de combustible microbiana.

La FIG. 4 ilustra el circuito equivalente utilizado para Espectroscopia de Impedancia Electroquímica (EIS) para la celda de combustible microbiana.

15 La FIG. 5 ilustra un electrodo preferido de la celda de combustible microbiana.

La FIG. 6 ilustra el arreglo de la membrana de intercambio protónico.

La FIG. 7 ilustra el filtro percolador preferido.

La FIG 8A ilustra el voltaje a circuito abierto al arranque de la operación.

La FIG 8B ilustra el voltaje a circuito abierto con sustrato de 200 ppm.

20 La FIG 8C ilustra el voltaje a circuito abierto con sustrato de 500 ppm.

La FIG 8D ilustra el voltaje a circuito abierto con sustrato de 1000 ppm.

La FIG. 9A ilustra las curvas de polarización y densidad de poder correspondientes a una alimentación de 200 ppm.

25 La FIG. 9B ilustra las curvas de polarización y densidad de poder correspondientes a una alimentación de 500 ppm.

La FIG. 9C ilustra las curvas de polarización y densidad de poder correspondientes a una alimentación de 1000 ppm.

La FIG. 10A ilustra las curvas de impedancia correspondientes a la alimentación con sustrato de 500 ppm.

30 La FIG. 10B ilustra las curvas de impedancia correspondientes a la alimentación con sustrato de 1000 ppm.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La fosa séptica de la presente invención consta de tres partes: (a) sedimentador de alta tasa (SAT) 110, (b) una Celda de combustible microbiana (CCM) 150 y por último (c) un filtro percolador 190. La Fig. 1, ilustra un sistema de tratamiento de aguas residuales conforme a una realización de la invención en la forma de un diagrama de bloques. La Fig. 2, ilustra un corte transversal de la fosa séptica 110 conforme a la realización preferida de la presente invención.

Sistema.

Conforme a la presente invención, por instalación doméstica se entiende por ejemplo una casa habitación un edificio multifamiliar, o un condominio vertical; por una instalación gubernamental, se entiende por ejemplo, oficinas gubernamentales; por una instalación comercial, se entiende por ejemplo, restaurantes, almacenes, centros comerciales, estadios, teatros ó cines entre otros; por una instalación industrial la invención se refiere principalmente a fábricas de la industria alimenticia, por ejemplo embutidos y lácteos. Sin embargo puede ser aplicada a otras industrias que generen aguas residuales con un alto contenido de carbohidratos.

En la Fig. 1 se muestra el sistema de tratamiento de aguas residuales de una instalación, se prefiere que el agua residual se separe previamente en aguas grises y aguas negras. Las aguas grises comprenden, por ejemplo, el agua procedente de baños (regaderas), lavabos (lavamanos) y lavaderos y lavadoras; en tanto que, las aguas negras consisten principalmente del agua procedente del inodoro y la cocina.

La corriente de aguas negras residuales se hace pasar por la fosa séptica de la invención, en donde en primer instancia, el agua residual se pone en contacto con el sedimentador de alta tasa (SAT) 110, y posteriormente se alimenta como un flujo ascendente, al ánodo de una pluralidad de celdas de combustible

microbianas (CCM) 150. Por su parte, las aguas grises se alimentan al cátodo de las celdas de combustible microbiana (CCM) 150 y finalmente las aguas tratadas procedentes de las celdas de combustible microbiana (CCM) 150 y las aguas grises se llevan a un filtro percolador 190 desde donde se obtiene una agua tratada, no contaminante, que puede opcionalmente recircularse a la instalación, utilizarse para riego o bien, ser descargada a los mantos acuíferos subterráneos.

Como será evidente a un técnico en la materia, el agua residual puede no ser separada en aguas grises y negras, por ejemplo en el caso en que el sistema se aplique a una instalación existente en donde no es posible hacer cambios en el sistema de drenaje, y en tal caso, el sistema de la invención también es viable. En este caso, se requiere proporcionar un catolito externo a las celdas de combustible microbiana (CCM) 150, pero las CCM también realizarán la degradación de la materia orgánica y la consecuente generación de electricidad a partir de las aguas negras que se suministren a la fosa séptica.

Estructura.

La fosa séptica 100 de la presente invención que se ilustra en la Fig. 2, está conformada por tres sistemas unitarios, es decir, (a) un sedimentador de alta tasa 120, seguido de (b) una pluralidad de celda de combustible microbiana 150 y (c) un filtro percolador 190. El espacio empleado es equivalente al tamaño convencional de una fosa séptica y/o un pozo de absorción utilizado actualmente.

Las dimensiones de la fosa séptica de la invención considerando una casa de 4 habitantes que generan 560 litros de aguas residual por habitante al día, es de aproximadamente 2.60 metro de largo, profundidad total promedio de 1.25 metros, ancho de 0.9 metro y espesor de los muros externos de 10 centímetros. El sistema hidráulico empleado a la entrada del mismo consiste de un tubo de 6 pulgadas en PCV tipo sanitario, diámetro mínimo empleado por diseño de ingeniería de aguas para satisfacer la salida del accesorio del sanitario en la casa.

Material

El material empleado para la obra civil de la fosa séptica 100 de la invención consiste de material convencional, tal como cemento, arena, grava, con acabado liso en las paredes y sellado que garantice estanqueidad al sistema.

5 En una realización de la invención, las placas del sedimentador del SAT de la celda de combustible consisten de placas de acrílico de 15 mm de espesor de buenas propiedades mecánicas, alto rendimiento por su resistencia a la abrasión y al desgaste, buena resistencia térmica, buena resistencia química, ligereza y excelente relación costo/beneficio, resistencia a bacterias, hongos, y enzimas,
10 higiene y facilidad de maquinado.

Alternativamente se pueden utilizar paneles de concreto prefabricados que ya incorporan insertos y elementos para el ensamble de las fosas sépticas en el sitio y que se sellan con mortero. También pueden utilizarse cualquier material polimérico tal como policarbonato.

15 Como se aprecia en la Fig. 2, la estructura de la fosa 100 comprende una cámara de sedimentación 110 que aloja al sedimentador 120 y una cámara de celda de combustible microbiana 140 que aloja una pluralidad de unidades de celdas de combustible microbianas (CCM) 150. En una realización preferida de la invención, la cámara de sedimentación 110 tiene dimensiones mayores que la
20 cámara donde va ensamblada la celda de combustible microbiana 140. En una realización de la invención, el volumen total de la fosa séptica es de 2.925 m³ con un volumen útil de 2.448 m³.

La cámara de sedimentación 110 está en comunicación fluida, con la cámara de la celda de combustible microbiana 140, para tal efecto se disponen
25 conductos 131 en la pared 130 que divide ambas cámaras 110 y 140.

La cámara de sedimentación 110 puede alternativamente poseer un fondo cónico, de manera que tenga una o más paredes inclinadas, semejante a la pared

inclinada 144. En la cámara de sedimentación 110 las aguas negras del afluente 103 se clarifican por sedimentación, en la porción inferior se depositan algunos sólidos disueltos y sedimentables mientras que la porción de agua clarificada fluye hacia la cámara de celdas de combustible microbiana 140 una vez que alcanza la altura necesaria para fluir a través de los conductos de conexión 131.

Por su parte, la cámara de celdas de combustible microbiana 140 comprende una zona de recepción 143 y una zona de celdas 145 separadas entre sí. En la realización ilustrada en la Fig. 2, las zonas 143 y 145 están separadas por una pared intermedia 147 y una base perforada 148 que tiene orificios 149. La zona de celdas 147 aloja una pluralidad de unidades (CCM) celdas de combustible microbianas 150 que se fijan sobre cada orificio 149 y se sellan herméticamente para que el paso del agua residual continúe de manera ascendente solo a través del ánodo de las celdas 140.

Para evitar la contaminación de la fosa séptica ya sea con agua de lluvia, insectos, basura y dar anaerobiosis parcial, la fosa séptica de la invención está sellada herméticamente con una tapa (no ilustrada) para la cisterna 100 o bien sendas tapas para la cámara de sedimentación 110 y la cámara de celda de combustible microbiana 140. Las tapas están fabricadas en cualquier material resistente.

En una realización de la invención, las tapas se construyeron en policarbonato para cubrir tanto la cámara de sedimentación 110, como la cámara de la celda de combustible microbiana 140. Los bordes del policarbonato se sellan con silicón e incluyen bisagras las cuales fueron unidas al concreto de la fosa séptica. Posteriormente se sujetaron las placas a la fosa séptica utilizando tornillos de acero inoxidable y cemento. Las tapas también fueron pintadas para no permitir el paso de luz al interior de la fosa séptica y evitar la proliferación de algas.

En otra realización de la invención las tapas incluyen un bastidor metálico el cual se acopla en el concreto a manera de una escotilla, de manera que las tapas puede mantenerse cerradas herméticamente y retirarse para inspección de la fosa



y mantenimiento de las celdas de combustible microbiana cuando se requiera.

SEDIMENTADOR DE ALTA TASA (SAT)

Conforme la presente invención un Sedimentador de Alta Tasa (SAT) 120 está alojado en la cámara 110. El sedimentador 120 está compuesto por una pluralidad de placas, por ejemplo en un número entre 4 y 50 dependiendo de las dimensiones de la fosa séptica, colocadas en posición inclinada con respecto a la horizontal. Las placas pueden fabricarse en cualquier material conveniente resistente a la corrosión, por ejemplo: (a) placas metálicas, por ejemplo de acero, bronce o latón; (b) placas de plástico, por ejemplo de policarbonato ó polietileno; (c) placas de vidrio; ó (d) placas de concreto.

En la realización de la invención ilustrada en la Fig. 2, el sedimentador está compuesto de 8 placas de acrílico, de las cuales 2 placas tienen la función de soporte (placas de soporte 128) y 6 son placas inclinadas (placas inclinadas 127). Las placas de soporte 128 no están inclinadas, sino que son perpendiculares a la base (verticales). En una realización de la invención las placas de soporte fueron fabricadas con placa de acrílico de 15 mm de espesor, con medidas de 105 X 30 cm. Cada placa de soporte 128 incluye guías 124, tal como canales o ranuras por ejemplo con 5 mm de profundidad, dos canales con 16 mm de ancho y los 4 canales centrales inclinados con 13 mm de ancho para la inserción de las placas inclinadas 127. Cada placa inclinada 127 tiene una inclinación adecuada para favorecer la sedimentación. Sin embargo, se prefiere que las placas tengan una inclinación de 45°, una separación de 10 cm entre ellas y estén colocados a una altura de 5 cm sobre el borde inferior de las placas de soporte 128. El resto de las placas se cortaron con medidas de 78 x 63 cm, la primera y última placa inclinadas tienen un grosor de 15 mm, mientras que las 4 placas centrales 12 mm. Para armar el sedimentador de alta tasa 120 se introdujeron las placas inclinadas 127 en las ranuras de las placas soporte 128.

En el caso de placas metálicas, el ensamble puede realizarse de cualquier manera conveniente, por ejemplo usando tornillo, pernos o soldadura. En el caso

de una fosa de concreto prefabricada las placas inclinadas ~~pueden sujetarse~~ directamente a las paredes de la cámara por medio de insertos, por ejemplo tornillos y tuercas adaptados en las placas y las paredes de la cámara. O bien colocando pestañas en las paredes de concreto que sirven como guía y tope para la introducción de las placas inclinadas.

Las placas se instalan a una altura determinada del piso de la cámara y separadas una distancia determinada de la entrada del afluente 103, por ejemplo a una altura de 20 cm sobre el nivel del piso de la cámara 110 y separadas a 20 cm de la pared donde entra el afluente 103.

El sedimentador 120 emplea la fuerza de gravedad para separar los residuos sólidos presentes en el agua residual doméstica (aguas negras). En uso, las aguas residuales entran a la cámara de sedimentación 110 por medio del afluente 103 de agua residual, las aguas residuales inundan parcialmente la cámara de sedimentación 110 y cubren el sedimentador 120. Al contacto con las placas inclinadas del sedimentador los sólidos presentes en el agua residual se asientan y resbalan sobre las superficie de las placas inclinadas 127 por la fuerza de la gravedad y empiezan a depositarse en el fondo de la cámara en contra del flujo de agua que sube por las placas en menor espacio para posteriormente descomponerse en compuestos disueltos como son ácidos grasos volátiles de bajo peso molecular, fuente de carbono de fácil transformación para los biocatalizadores de la Celda de combustible Microbiana. El Sedimentador de Alta Tasa (SAT) 120 tiene ventajas respecto de los sedimentadores poco profundos y extensos. Sin embargo, como será evidente a un técnico en la materia puede usarse un arreglo de sedimentación convencional y deberán entonces ajustarse las dimensiones y/o los tiempos de residencia del agua residual en la fosa séptica.

Conforme a una realización de la invención, la dotación de agua potable que se emplea para el diseño de una casa habitación de 4 personas es de 140 litros por habitante al día (diseño ingeniería sanitario sin pérdidas en agua potable de abasto), con un factor de retorno de alcantarilla del 85%, el volumen del

sedimentador 120 es de 1.9 m³ aproximadamente y su tiempo de retención hidráulica de 8 horas.

En la parte inferior, la fosa incorpora opcionalmente un sistema para limpieza, aunque la mayor parte de los lodos sedimentados se convierten en metabolitos secundarios disueltos.

CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBIANA

La fosa séptica de la invención incluye celdas de combustible microbianas. Aún cuando puede utilizarse cualquier celda de combustible microbiana conocida, conforme a la presente invención se ha desarrollado una celda de combustible tipo PEM (Proton Exchange Membrane por sus siglas en inglés), es decir, con presencia de membrana selectiva para el paso de protones que se reducen en el cátodo acuoso. Las generalidades de estas celdas están descritas en la literatura (Logan et. al 2008; Min et. al 2005; Logan et. al 2006).

La fosa séptica incluye una pluralidad de unidades de Celda de combustible Microbianas (CCM) 150, en un número entre cinco y ciento cincuenta dependiendo de las dimensiones de la cámara de sedimentación 140 y del flujo a tratar. En una realización de la invención para una casa habitación de 4 personas, la fosa incluye 15 unidades con un volumen útil de 2 L/unidad en el ánodo y 0.5 L/unidad en el cátodo. Las celdas de combustible microbianas 150 de la presente invención tienen un diseño de flujo ascendente que exhibe altas retenciones de la biomasa. La celda 150 de la presente invención tiene un desempeño mejorado respecto a la degradación de la materia orgánica y a la generación de electricidad en comparación con las celdas de la técnica previa. Su principal característica que hace la diferencia es el diseño en sí, arquitectónico, ingenieril e hidráulico.

Cada unidad CCM 150 está compuesta por un ánodo 160 y un cátodo 170, en una estructura tubular definida por dos cámaras cilíndricas (Fig. 3A y 3B), comprendiendo una cámara anódica 161 que aloja a un ánodo y un electrodo bolsa de carbón 165 y una cámara catódica 171 que aloja al cátodo y un electrodo

bolsa de carbón 175. Además, entre el ánodo 160 y cátodo 170, en el fondo de la cámara catódica 171, se dispone una membrana 180, esto con el fin de que la membrana separe y permita el paso de protones del anolito 165 al catolito 175 y con ello se genere un gradiente de potencial eléctrico.

5 En la realización preferida de la invención, el ánodo 160 tiene en su parte inferior un reductor de diámetro 169 opcional de 10 cm a 7.5 cm, el cual tienen por objeto adaptar las Unidades de Celda de Combustible Microbiana (CCM) 150 a los orificios 149 de la base perforada 148 de la cámara de celdas 140 de la fosa séptica 100.

10 La celda CCM de la invención se representa en las figuras 3A y 3B. Como se advierte, la cámara catódica (171), la cámara anódica (161) y la membrana (180) están dispuestas en un arreglo coaxial, es decir en un mismo eje, y se disponen de manera vertical. No obstante, la cámara catódica (171) tiene un diámetro menor que la cámara anódica (161) y está dispuesta de manera anular
15 dentro de la cámara anódica (161), la cámara catódica está dispuesta en la porción superior de la celda. Por su parte, la membrana 180 también tiene un diámetro menor al diámetro de la cámara anódica y está dispuesta en el fondo de la cámara catódica, de manera que la cara superior de la membrana está en contacto con el anolito, en tanto que la cara inferior de la membrana 180 está en
20 contacto con el catolito para permitir la transferencia de protones del anolito al catolito.

 El afluente y efluente de anolito a los ánodos se lleva a cabo por la abertura de entrada 166 dispuesto en la parte inferior. La cámara anódica 161 tiene como anolito afluente las aguas negras y como efluente agua tratada por los microorganismos exoelectrógenos contenidos en la celda de combustible 150. Por su parte,
25 el cátodo se alimenta con un catolito de una fuente de aguas grises que provienen de la instalación doméstica, comercial, gubernamental o industrial, por ejemplo una corriente de aguas grises que se obtiene de agua de regaderas o lavabos y que se envía a un filtro percolador. Las aguas grises se introducen a la celda CCM

150 por medio de una red 107 que está unida a la línea de aguas grises. Las aguas grises se introducen a la cámara catódica 171 y la inundan por la abertura de entrada 176. Tanto el ánodo como el cátodo se alimentan en modo batch (por lotes).

5 Para instalar las celdas CCM 150, dentro de la zona de celdas 145, la cámara 140 incluye una base perforada 148 que tiene orificios 149. Las unidades de celdas de combustible microbianas 150 se introducen por la parte inferior en los orificios 149. Posteriormente, para evitar fugas y garantizar la estanqueidad del sistema, se dispone un sellador, por ejemplo FT flextec 101™ en la parte inferior de las cámaras anódicas, de manera que el líquido residual (aguas negras) 10 necesariamente ingrese por la abertura inferior 166 a las celdas 150 y se introduzca e inunde la cámara anódica 161, en flujo ascendente. Una vez que el agua residual es tratada en el ánodo 160 por la acción de los microorganismos exoelectrúgenos, el agua tratada por los microorganismos exoelectrúgenos abandona la 15 celda por la abertura inferior 166 y entonces inunda la cámara 145 y sale hacia el filtro percolador 190 a través del conducto 194.

Electrodos – bolsa de malla metálica con carbón

Las dimensiones de las cámaras anódica y catódica dependen del volumen de efluentes residuales que deben ser tratados, sin embargo, en una realización 20 preferida para casa habitación, la cámara anódica 161 tiene un diámetro de 10 cm por 40 cm de altura, mientras que la cámara catódica 171 tienen un diámetro de 7.60 cm por 20 cm de altura.

Los electrodos- bolsa de malla metálica con carbón 165 y 175 se construyen ambos de carbón granular por su facilidad de suministro y costo, el ánodo 25 contiene 500 g mientras el cátodo contiene 400 g de carbón. El carbón 152 se coloca dentro de un forro o bolsa 153 de malla metálica, por ejemplo de acero, aluminio, bronce, latón, cobre o zinc, preferentemente acero inoxidable, la cual además funciona como colector de electrones y permite alcanzar mayores densidades de corriente. La salida al circuito externo es a través de conductores

eléctricos 154, tal como cables, conectados a la forro o bolsa 153, o a opcionales
barras de grafito inmersas en el carbón, que definen respectivamente al conductor
del ánodo 167 y el conductor de cátodo 177, desde donde se conectan a instru-
mentos (multímetro y/o potencióstato) que permitirán el seguimiento para determi-
5 nar el desempeño del sistema y finalmente a un sistema eléctrico para transfor-
mar, rectificar y aprovechar la energía producida, por ejemplo en iluminación
nocturna o cualquier otra aplicación.

El agua residual tiene una carga orgánica típica de una casa habitación
para 4 personas, común de la ciudad de Mérida, Yucatán ó de las colonias y
10 pueblos del Valle de México. Si bien, un técnico en la materia encontrará que la
fosa séptica de la invención también es aplicable a otros tipos de instalaciones,
por ejemplo, edificios multifamiliares así como edificios públicos, oficinas guber-
namentales y privadas, hospitales; además de instalaciones comerciales, e
industriales por ejemplo supermercados, restaurantes, baños públicos, hoteles etc.

15 **Membrana**

Las cámaras de las celdas están separadas por una membrana de inter-
cambio protónico (PEM), por ejemplo la membrana Nafion™ 117 comercializada
por Du Pont. Los canales sulfónicos de la membrana se activan mediante el
procedimiento descrito a continuación.

20 1. Se somete la membrana a baño ultrasónico en acetona durante 30
minutos.

2. Posteriormente se enjuaga con agua desionizada, y después se pone en
una solución de peróxido de hidrógeno al 3% y es llevada a punto de ebullición
durante 30 minutos.

25 3. Terminada la etapa anterior, se enjuaga la membrana con agua desioni-
zada, y se coloca nuevamente en agua desionizada a temperatura de ebullición,
esta etapa se realiza dos veces (cambiando el agua desionizada para la segunda

ebullición).

4. A continuación la membrana se pone en una solución de ácido sulfúrico (H_2SO_4) a concentración de 1M y se lleva a un calentamiento cercano a los $80^{\circ}C$. Se deja la solución durante una hora.

5. Pasado el tiempo de calentamiento del paso anterior, se deja la membrana en esa misma solución durante 24 horas, por último se enjuaga y se deja en agua desionizada.

Una vez terminado el proceso antes descrito, la membrana se coloca en un soporte de diseño propio entre dos placas con orificios y ajustada con un empaque o-ring para proporcionarle soporte y evitar la deformación de ésta, debido a su hidratación y además de asegurar la estanqueidad del sistema. En la parte inferior del cátodo es el lugar donde se encuentra ubicada físicamente la membrana.

Conforme a una realización preferida de la invención ilustrada en la Fig. 6, el soporte de la membrana incluye un soporte plano 181 con orificios 182 que permite fijar la membrana 180 y evitar la deformación de ésta. El área activa de paso de cationes que conecta ambas cámaras se prefiere sea de al menos el 40% respecto al área transversal total de la celda.

Filtro percolador

El filtro percolador 190 tiene por objeto proporcionar un tratamiento de afinamiento del efluente dentro de la clasificación de ingeniería de aguas, contribuye entre un 5% adicional de remoción de DQO (Demanda Química de Oxígeno). Para este proceso unitario se requiere un pozo de absorción construido adyacente a la fosa séptica para garantizar la evacuación del líquido residual sin problemas, el diámetro de estos pozos de absorción varían entre 1-1.5 metros de diámetro y de profundidad cercana a 4 metros.

Conforme a la presente invención, se separan las aguas de la instalación en aguas grises y aguas negras, las aguas negras se alimentan a la fosa séptica

100 que incluye celdas CCM 150 en las cuales tiene lugar aproximadamente un 94% de remoción de carga orgánica respecto al afluente inicial del proceso, y posteriormente el agua residual proveniente de las CCM 150 se alimenta al filtro percolador 190.

5 Por su parte, el 30% de las aguas grises se envían directamente al filtro percolador 190 y el 70% restante a los cátodos de la CCM.

10 En filtro percolador preferido 190 se ilustra en la Fig. 7. Este contiene un lecho de grava 191 seguido de un cartucho de carbón activado 192 y antracita 193. El agua residual proveniente del CCM 150 y las aguas grises provenientes de la instalación se rocían por medio de un aspersor 195 sobre la grava de soporte superior 191, dejando que filtre a través de la oquedad del lecho. El tamaño de la piedra de soporte que contiene el medio filtrante es entre 2.5 a 3 cm de diámetro, la profundidad depende del diseño particular, una profundidad promedio es de 1.2 m.

15 El filtro percolador 190 tiene preferentemente una geometría circular y el sistema de distribución trabajará por gravedad empleando un aspersor 195; la parte inferior del filtro tiene como salida todo el área transversal, cuyo destino final será el manto acuífero. Además, se puede recircular una parte del agua tratada que deja al filtro 190 por la salida 196 para servicio, por ejemplo: sanitarios o riego de jardines de la casa.

20 En una realización de la invención, para una casa habitación de 4 personas, el filtro percolador 190 está diseñado para una área trasversal de 0.8 m², un tiempo de retención hidráulica de 8 horas, así como una altura de 1.2 metros y diámetro de 1 metro.

25 **Pruebas de estanqueidad fosa séptica**

Las pruebas de estanqueidad consisten en llenar la fosa séptica con agua, dejarla durante 3 días y observar si disminuye el nivel del agua las veces que sea

necesario para garantizar que no existan fugas de aguas negras hacia el subsuelo. Así como para verificar que no escurra el agua de la cámara 140 de celdas, por la base perforada 148, debajo de las celdas 150. Una vez terminadas las pruebas de estanqueidad, se procede a ensamblar tanto el SAT 120 como las celdas de combustible microbianas 150 introduciendo el resto de los componentes a la cámara anódica, se le proporcionó agua a la fosa séptica para comprobar que hidráulicamente presenta un desempeño de flujo por gravedad desde su afluente hasta su efluente. Asimismo, se verifica que el flujo de las celdas de combustible tuviera un flujo ascendente de agua, incluido su material de soporte sin ninguna obstrucción.

Inoculación y fuente de carbón

Las celdas de combustible microbianas utilizan a las bacterias exoelectrógenas como biocatalizadores para oxidar la materia orgánica y generar corriente, en la pluralidad de CCM 150. Para tal efecto se utilizó un total 20L de cultivo mixto no anaerobio como inóculo, obtenido a partir de excretas de ganado vacuno, porcino y tierra, el cual se añadió al ánodo. Una composición preferida consiste de suelo 30 g/L, excreta vacuna 300 g/L; excreta porcina 159 g/L; carbonato de sodio comercial 1.5 g/L; azúcar 5g/L y agua 1L (Alzate-Gaviria et al., 2010). El inóculo forma una biopelícula (biofilm) de bacterias en el ánodo de las celdas de combustibles sobre el carbón granular y la malla metálica (colector de electrones). Los reactores se operan en modo batch (por lotes) durante 3 días (arranque) agregando inóculo con fuente de carbono (sacarosa) cada 24 horas y posteriormente se alimentó durante 20 días con agua residual sintética (ARS) con una concentración de 4,000 ppm a esto se le añadió una recirculación de una hora diaria utilizando una bomba periférica de ½ HP para permitir que las bacterias tengan suficiente tiempo de contacto con el sustrato y puedan formar el biofilm. Se considera que el tiempo de arranque está muy relacionado con la aclimatación de las bacterias exoelectrógenas. Para el arranque se emplea ARS de características similares en carga orgánica a un agua residual doméstica típica de un casa habitación de Mérida con el propósito de validar un diseño de experimentos para diferentes



cargas orgánicas y variación de caudal, en la generación de electrones, protones, eficiencia coulombica y porcentaje de remoción del escalamiento respecto a concentraciones molares conocidas de la fuente de carbono, que en el caso del ARS utiliza sacarosa.

5

Operación

Los Tiempos de Retención Hidráulica con base al volumen del dispositivo (2.925 m³) y al caudal generado en una casa (alrededor de 500-600 L/día), variarán de 0.5 a 1 día.

10

Almacenamiento de energía

Debido a que las CCM comparten el mismo anolito no es posible sumar los voltajes de cada una de las unidades CCM 150, por lo que la energía generada por cada CCM 150 fue almacenada en su respectivo capacitor de 100 F y 2.7 V. Los capacitores están conectados en serie para que en el momento de la descarga se sumen los voltajes, para esto se diseñó una tarjeta con los capacitores para el almacenamiento de energía y elevación del voltaje.

15

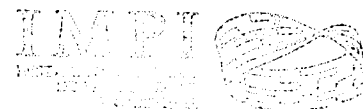
Medición de parámetros electroquímicos.

Generalmente las técnicas usadas comúnmente en estudios de CCM son las mismas utilizadas en los sistemas electroquímicos tradicionales (celdas de combustible químico y sistemas electrocatalíticos). Los procesos biológicos involucrados en las reacciones de transferencia de electrones son más complejos cuando se comparan con los clásicos sistemas electroquímicos.

20

La principal diferencia entre celdas de combustibles químicas (como la de hidrógeno) y las CCM es que la generación de electricidad en las CCM proviene de la actividad metabólica de los microorganismos, por lo que se deben mantener condiciones de operación que propicien el óptimo crecimiento y sustentabilidad de

25



las mismas.

Voltaje y corriente.

Para monitorear el dispositivo diariamente, se realizó la medición de voltaje a circuito abierto utilizando un multímetro marca Fluke™ modelo 289. También se midió el voltaje almacenado en los capacitores. Para la medición de la corriente generada en el dispositivo, se descargaron los capacitores tomando mediciones de la corriente con el multímetro. Multiplicando la corriente por el voltaje dividido entre el volumen del ánodo, obtendremos la densidad de poder por unidad de volumen (W/m^3).

Curvas de impedancia y polarización

Para realizar las mediciones de impedancia electroquímica se utilizó un potenciostato marca Biologic™ modelo VSP en un rango de frecuencia de 5 Hz a 2.5 MHz con una amplitud de señal de corriente alterna de 10 Mv y 15 puntos por década. El espectro de impedancia se llevó a cabo usando el ánodo de la CCM como electrodo de trabajo y el cátodo de la CCM como contra electrodo, y un electrodo de referencia calomel colocado en la cámara anódica.

Para obtener resultados más exactos se adaptaron los datos de la impedancia a un circuito equivalente, el cual consiste en elementos eléctricos comunes, como resistencias, capacitores e inductores que simulan las resistencias de la CCM para esto se utilizó el software EC-Lab® V10.2 que permite el desarrollo del circuito equivalente o utilizar uno de los preestablecidos, otros software utilizados son el Gamry Analyst software®, ZSimpWin3.10 software®, con esta herramienta se pudo hacer un mejor análisis de la CCM.

Las curvas de polarización se obtuvieron con un multímetro midiendo el voltaje con un intervalo de resistencias que varió desde muy altas (21000Ω) para obtener el voltaje a circuito abierto hasta pequeñas resistencias (64Ω). De las curvas V-I se pueden calcular las resistencias internas de las CCM así como las



curvas de poder P-V, estas curvas son usadas para determinar el voltaje de la celda a la cual se obtiene la mayor densidad de poder.

Medición de la demanda química de oxígeno (DQO)

La DQO es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar todos los compuestos orgánicos que existen en una muestra. La medición se realiza mediante el método de dicromato de potasio de solución digestiva para DQO de alto rango (20 a 1500 ppm) empleando un digestor DRB 200 marca Hach™ y un colorímetro marca Hach™ modelo DR/890. Se realizó la medición de DQO tanto en el afluente como en el efluente de la CCM. El procedimiento se menciona a continuación:

1.- Se toman 2 ml de muestra y se colocan en un vial con dicromato de potasio para DQO-High Range y se agita para homogenizar.

2.- Se coloca el vial en el digestor DRB 200 marca Hach™ para DQO a 140° C durante 2 horas.

3.- Terminadas las 2 horas se deja enfriar el vial y se toma la lectura de DQO utilizando un blanco previamente preparado en el cual se pusieron 2 ml de agua destilada en sustitución de la muestra y se siguió el mismo procedimiento antes descrito.

Determinación del potencial de hidrógeno (pH).

Para medir el pH se utilizó un multiparámetros Hach™ modelo HQ40d el cual se calibra utilizando dos soluciones estándares de pH 4 y 7. Se introduce el electrodo en la CCM cuidando que quede completamente cubierta la parte inferior del mismo y se espera a que se estabilice la lectura.

Ácidos Grasos Volátiles.

Los ácidos grasos volátiles, fueron analizados usando un equipo para cromatografía de gases marca Perkin Elmer™ modelo Clarus 500, equipado con un detector de Flama ionizada (FID) y una columna EC-1000 de 30m de longitud y 0.32 mm

de diámetro de la marca Alltech™. Las muestras fueron filtradas a través de papel filtro Whatman™ No. 41 antes del análisis. Las temperaturas de la columna en la cromatografía de gases empiezan a 140 °C y se incrementan a una velocidad de 2 °C/min hasta los 170 °C, de ahí en adelante la velocidad se incrementa a 10 °C/min hasta la temperatura final de 230 °C manteniéndose durante 10 minutos más. Las temperaturas del inyector y del detector son de 240°C y 250°C respectivamente.

Arranque de la CCM

Se considera que la CCM alcanza una estabilidad de operación cuando su voltaje permanece constante a variaciones de las condiciones químicas, resistencias óhmicas, de difusión y de transferencia de masa. A diferencia de las CCM operadas con inóculos puros, las que utilizan inóculos mixtos generalmente necesitan mayor tiempo para obtener una generación de poder estable. A escalas mayores el tiempo de arranque es más lento. Conforme a la presente invención, el arranque de las CCM 150 tomó alrededor de 30 días, hasta que estas alcanzaron voltajes a circuito abierto entre 0.5 y 0.7 V.

Voltaje a Circuito Abierto (VCA)

Una CCM es capaz de encender un dispositivo electrónico si almacenamos la energía en otro dispositivo externo tal como un capacitor, de esta forma se puede utilizar esta energía intermitentemente cuando se necesite. Con el propósito de poder sumar los voltajes generados en las CCM para darles una aplicación práctica se realizó la conexión en serie de 15 capacitores asociados a 15 celdas CCM 150.

Las gráficas de voltaje a circuito abierto se muestran en las Figs. 8A a 8D. Durante la alimentación con la carga de 200 ppm (Fig. 8B) el voltaje a circuito abierto se mantuvo estable, sin embargo, hubo un decremento en los voltajes de 0.06 ± 0.03 V el cual se atribuye a la disminución de concentración del sustrato, se obtuvo el mayor voltaje con la celda CCM A1 siendo este de 0.67 V y el menor

voltaje fue la celda CCM C5 con 0.42 V. Al aumentar la concentración a 500 ppm (Fig. 8C) los voltajes tuvieron un incremento de 0.05 ± 0.03 V. Posteriormente se utilizó una concentración de sustrato de 1000 ppm (Fig. 8D) con la cual hubo una ligera disminución en promedio de los voltajes de 0.01 ± 0.01 V. Tales resultados demuestran que las CCM tienden a incrementar su voltaje al aumentar la concentración de sustrato, sin embargo, a altas concentraciones el voltaje se ve afectado y empieza a disminuir. En las CCM de la presente invención, al incrementar la concentración de sustrato de 200 ppm a 500 ppm hubo un incremento en el voltaje, pero hubo un ligero decremento cuando se duplicó la concentración de sustrato a 1000 ppm. Probablemente se debió a que las bacterias que realizan la hidrólisis son el factor limitante, ya que se ha demostrado que sus constantes de velocidad son las menores en el proceso de digestión anaerobia por lo cual al aumentar la concentración de sustrato no lo degradan suficientemente rápido, ocasionando que las bacterias fermentativas y en consecuencia las exoelectrógenas se limiten a la cantidad de sustrato que degradan las bacterias hidrolíticas, por lo que el voltaje ya no puede seguir incrementándose, esto probablemente también ocasiona el aumento de homogeneidad en los voltajes ya que la degradación de sustrato empieza a depender de las bacterias hidrolíticas las cuales se encuentran principalmente en el SAT 120 y no de las fermentativas y/o exoelectrógenas que se encuentran en las CCM 150.

Curvas de Polarización y Densidad de Poder

Se obtuvieron curvas de polarización y densidad de poder con cada concentración de sustrato en las celdas de mayor, intermedio y menor VCA. La resistencia interna se obtuvo a partir de la pendiente de la curva de polarización.

La figura 9A corresponde a la curva de polarización y densidad de poder para una unidad CCM 150, a la concentración de sustrato de 200 ppm, se observan las curvas de polarización así como la densidad de poder obtenida a partir de estas curvas. La CCM tuvo una densidad de poder de entre 146.67 mW/m^3 y 79.30 mW/m^3 y una resistencia interna entre 333.97Ω y 387.75Ω .

La FIG. 9B ilustra la curva de polarización y densidad de poder para una unidad CCM 150 utilizando una concentración de sustrato de 500 ppm. La unidad CCM tuvo una densidad de poder de entre 151.20 mW/m³ y 91.12 mW/m³, y una resistencia interna de entre 345.40 Ω y 351.37 Ω.

5 Las curvas obtenidas para una concentración de 1000 ppm se muestran en la FIG. 9C. La CCM tuvo una densidad de poder entre 142.70 mW/m³ y 97.71 mW/m³ con una resistencia interna de 281.9 Ω y 271.28 Ω.

10 En las tres gráficas anteriores (Figs. 9A-9C) se observa que la resistencia interna decrece conforme se aumenta la concentración del sustrato, esto probablemente se debe a que la cantidad de iones se incrementa con la concentración de ARS, lo que propicia que la conductividad del anolito sea mayor resultando en una reducción de la resistencia interna. En el sistema de la presente invención se obtuvo un incremento en la densidad de poder conforme aumentó la concentración de sustrato de 200 ppm a 500 ppm. Sin embargo, en las concentraciones de sustrato mayores no se observa gran diferencia en cuanto a las densidades de poder.

15 Aunque los voltajes a circuito abierto con la concentración de 1000 ppm tuvieron un ligero decremento en comparación con los voltajes correspondientes a la concentración de 500 ppm, se ha demostrado que los factores físicos (por ej. La resistencia óhmica) tienen gran influencia en la eficiencia de las CCM, a lo cual podría atribuírsele el ligero aumento en las densidades de poder y menores resistencias internas a pesar de los VCA menores con la concentración de 1000 ppm.

Espectroscopia de Impedancia Electroquímica (EIS)

25 Para evaluar los datos de impedancia, los componentes que reaccionan en la CCM fueron convertidos a un circuito equivalente ilustrado en la Fig. 4, debido a que todas las CCM operan bajo las mismas condiciones se utilizó el mismo circuito equivalente para todas.

Los símbolos "R" y "C" representan una resistencia y un capacitor, respectivamente. El capacitor está formado en la interfase entre el electrodo y el electrolito que lo rodea (doble capa) cuando las cargas en el electrodo son separadas de aquellas en el electrolito. Los símbolos R1 y R3 son las resistencias a la transferencia de carga, relacionadas a la energía de activación del ánodo y del cátodo; R2 representa la resistencia del electrolito, incluyendo la resistencia de la PEM, anolito y catolito. Al igual que en las curvas de polarización se obtuvieron las impedancias de las CCM con mayor, intermedio y menor VCA. Los diagramas de Nyquist obtenidos durante la alimentación de 500 ppm FIG. 10A y su simulación a partir del circuito equivalente mostraron que la resistencia interna fue de entre 115 y 156 Ω .

En cuanto a la carga de 1000 ppm se encontró en la simulación del diagrama de Nyquist Fig. 10B que la resistencia interna para la CCM fue de entre 101 Ω y 135.5 Ω .

Las CCM de la presente invención han obtenido en promedio una densidad de poder de 580 mW/m² con una remoción de DQO (demanda química de oxígeno) superior al 95%, eficiencia coulombica 55% (% de conversión de la carga orgánica en electricidad), valores que se encuentran en un intervalo medio-alto respecto a otras investigaciones reportadas en literatura.

Un cálculo preliminar de la posible cantidad de energía generada en Kwh a partir de residuos líquidos generados en una casa de 4 habitantes, se muestra en seguida:

Una persona en promedio al año genera 1,640,00 litros de agua residual, suponiendo una eficiencia coulombica del 100%, es decir, el 95% de toda la carga orgánica se transforma en electricidad y asumiendo 216 w/m³, se estima que al mes se podría generar solo a partir de agua residual 3.24 kwh , que significa alrededor del 4% del consumo total de una casa habitacional, donde 4 habitantes consumen en promedio 80-140 kwh/mes.

El dispositivo adaptado a la fosa séptica significa un tratamiento exitoso a las cargas orgánicas que se generan en una casa habitación e incluso a cargas que duplican la DQO típica, probando una carga de 2000 ppm se obtuvo una remoción superior al 90%, lo cual indica que es un dispositivo eficiente en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

También se corroboró que la hidrólisis es la reacción limitante en la digestión anaerobia, debido a que los Ácidos Grasos Volátiles (AGVs) se consumían más rápidamente de lo que se generaban.

El dispositivo puede operar con cualquier carga orgánica típica generada en una casa habitación, sin embargo, se encontró que cuando se utiliza una carga orgánica de 1000 ppm se genera la mayor densidad de corriente alcanzando un promedio de 124 mW/m^3 por cada CCM. A través del uso de capacitores se pudo almacenar la energía generada por las CCMs y por medio de la conexión en serie de estos, generar un voltaje lo suficientemente alto como para poder darle una aplicación práctica a las CCMs.

Los sistemas biológicos son altamente resistivos. La resistencia interna de la CCM estuvo relacionada con la concentración de sustrato, donde a la menor concentración se generó la mayor resistencia y se obtuvo la menor resistencia con la concentración más alta de sustrato.

Debido a que el líquido en el dispositivo fluye por medio de la gravedad, no es necesario el uso de bombas para poder operarlo, por lo que el consumo energético de operación es nulo.

El pH no tuvo variaciones que afectaran el desempeño del sistema, por lo que no hubo la necesidad de agregar buffers, lo cual resulta muy benéfico para el costo del sistema. El material utilizado en la fabricación de la CCMs fue de bajo costo a excepción de la membrana, la cual puede ser sustituida por otra que tenga características similares para disminuir aún más el costo del dispositivo.

Separación d aguas grises

Opcionalmente, puede realizarse una separación de aguas residuales grises y negras en el interior de la casa habitación, la cual se consigue mediante la simple división del alcantarillado sanitario. Ya sea en el diseño y su construcción de nuevas o acondicionamiento de construcciones existentes. Tal separación permite generar menos residuos líquidos de contaminación y una mejor calidad de materia orgánica, en las aguas negras, de fácil degradación para la generación de electricidad. Aunque las aguas grises pueden recircularse al tanque del sanitario, o utilizarse para lavado o riego.

- 10 100 fosa séptica
- 103 afluyente aguas negras
- 105 afluyente aguas grises
- 107 alimentación aguas grises CCM
- 109 aguas tratadas
- 15 110 cámara de sedimentación
- 120 sedimentador
- 124 guías de placas soporte
- 127 placas inclinadas
- 128 placas soporte
- 20 130 pared intermedia cámaras
- 131 conductos de conexión de cámaras
- 140 cámara de celdas de combustible microbiana
- 143 zona de recepción
- 144 pared inclinada
- 25 145 zona de celdas
- 147 pared intermedia CCM
- 148 base perforada
- 149 orificios de la base
- 150 Unidades de Celda de combustible Microbiana (CCM)
- 30 152 carbón

- 153 forro de acero (bolsa de malla metálica)
- 154 conexión eléctrica
- 160 ánodo
- 161 cámara anódica
- 5 162 tapa de la cámara anódica
- 165 electrodo del anolito con carbón granulado
- 166 abertura de entrada y salida anolito
- 167 conductor de ánodo
- 169 reducción de diámetro
- 10 170 cátodo
- 171 cámara catódica
- 175 electrodo del catolito con carbón granulado
- 176 abertura de entrada y salida catolito
- 177 conductor de cátodo
- 15 180 membrana
- 181 soporte plano membrana
- 182 orificios
- 190 Filtro percolador
- 191 lecho piedra
- 20 192 lecho carbón
- 193 lecho antracita
- 194 entrada aguas grises
- 195 aspersor
- 196 salida agua tratada

25 Además, la descripción incluye cualquier combinación o subcombinación de los elementos de diferentes especies y/o modalidades descritas en la presente. Una persona con conocimientos técnicos en la materia reconocerá que estas características, y por lo tanto el alcance de esta divulgación, deberá interpretarse a la luz de las siguiente reivindicaciones y cualquier equivalentes de las mismas.

REIVINDICACIONES



1.- Una celda de combustible microbiana (CCM) (150) para tratamiento de aguas residuales, que comprende:

- 5
- i. un ánodo (160), formado por
 - una cámara anódica (161), para contener un anolito (165), que tiene una abertura (166) de entrada y salida de anolito, y
 - un electrodo (165), contenido en la cámara anódica (161);
 - ii. un cátodo (170), formado por
- 10
- una cámara catódica (171), para contener un catolito, que tiene un abertura de entrada y salida de catolito, y
 - un electrodo (175), contenido en la cámara catódica (171); y
- iii. una membrana de intercambio protónico (180), que tiene una cara en contacto con el ánodo (160) y una cara en contacto con el cátodo (170),

15 **caracterizada porque**

- a) la cámara catódica (171), la cámara anódica (161) y la membrana (180) son coaxiales y se disponen de manera vertical, estando la cámara catódica (171) dispuesta en la porción superior de la celda;
- b) la cámara catódica (171) tiene un diámetro y volumen menor que la cámara anódica (161) y está dispuesta de manera anular dentro de la cámara anódica (161); y
- c) la membrana estando dispuesta en el fondo de la cámara catódica y teniendo una cara orientada a la cámara catódica (171) y una cara orientada a la cámara anódica (161).

25

2.- La celda de combustible microbiana (CCM) (150), de conformidad con la reivindicación 1, caracterizada porque las cámaras anódica (161) y catódica (171) son tubulares.

30

3.- La celda de combustible microbiana (CCM) (150), de conformidad con la reivindicación 1, caracterizada porque la cámara anódica (161) tiene una capaci-

dad de 2 L y la cámara catódica (171) tiene e una capacidad de 0.5 L.

5 4.- La celda de combustible microbiana (CCM) (150), de conformidad con la reivindicación 1, caracterizada porque la membrana 180 consiste de una membrana Nafion 117™.

10 5.- La celda de combustible microbiana (CCM) (150), de conformidad con la reivindicación 1, caracterizada porque la membrana (180) se coloca entre dos soporte planos (181) con orificios (182), adyacentes a cada cara de la membrana.

6.- La celda de combustible microbiana (CCM) (150), de conformidad con la reivindicación 1, caracterizada porque el anolito consiste de aguas negras residuales y el catolito consiste de aguas grises residuales.

15 7.- La celda de combustible microbiana (CCM) (150), de conformidad con la reivindicación 1, caracterizada porque los electrodos (165) y (166) consisten de una bolsa metálica (153) que contiene carbón granulado (152).

20

RESUMEN



Se describe una celda de combustible microbiana (CCM) (150) para tratamiento de aguas residuales, que comprende: (i) un ánodo (160), formado por: (i1) una cámara anódica (161), para contener un anolito (165), que tiene una abertura (166) de entrada y salida de anolito, y (i2) un electrodo (165), que consiste de una bolsa metálica (153) que contiene carbón granulado (152), contenido en la cámara anódica (161); (ii) un cátodo (170), formado por: (ii1) una cámara catódica (171), para contener un catolito, que tiene un abertura de entrada y salida de catolito, y (ii2) un electrodo (175) que consiste de una bolsa metálica que contiene carbón granulado, contenida en la cámara catódica (171); y (iii) una membrana de intercambio protónico (180), que tiene una cara en contacto con el ánodo (160) y una cara en contacto con el cátodo (170), **caracterizada porqu** (a) la cámara catódica (171), la cámara anódica (161) y la membrana (180) son coaxiales y se disponen de manera vertical; (b) la cámara catódica (171) tiene un diámetro menor que la cámara anódica (161) y está dispuesta de manera anular dentro de la cámara anódica (161) en la porción superior de la celda; y (c) la membrana estando dispuesta en el fondo de la cámara catódica y en contacto con el anolito y el catolito.

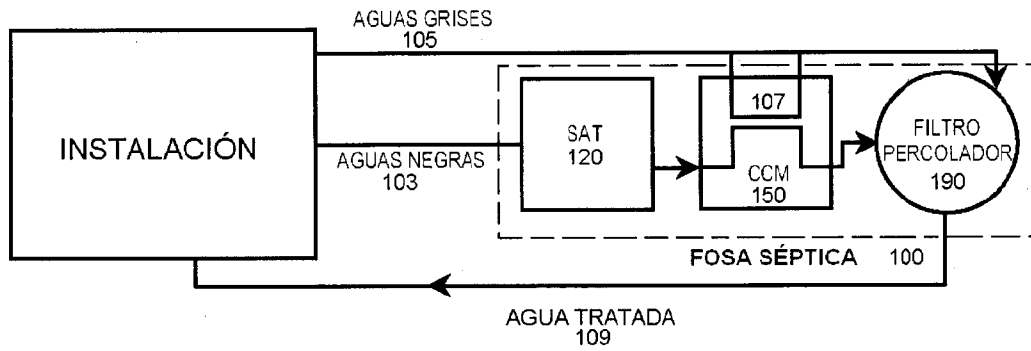


FIG. 1

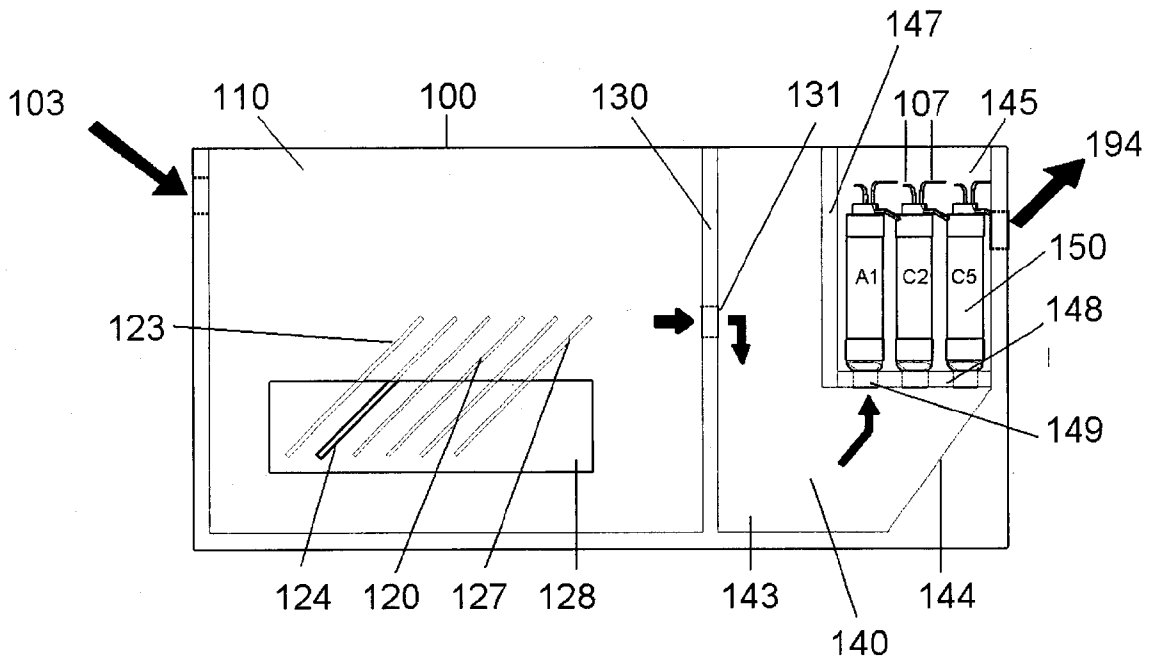


FIG. 2

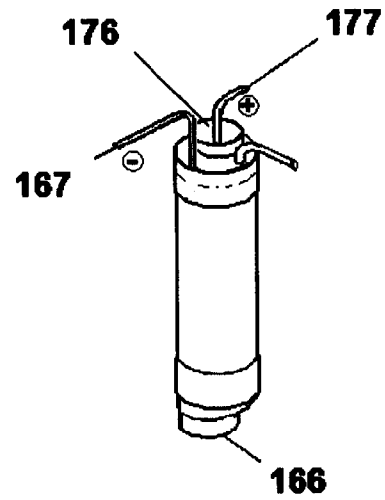
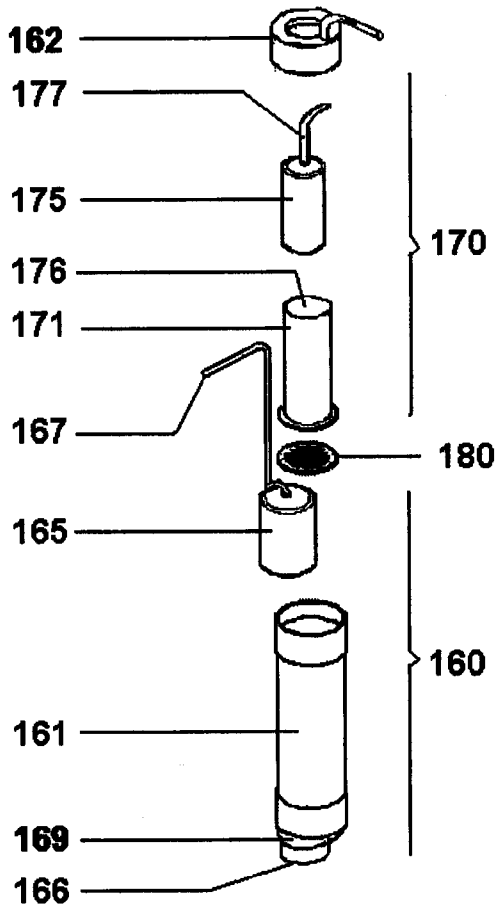
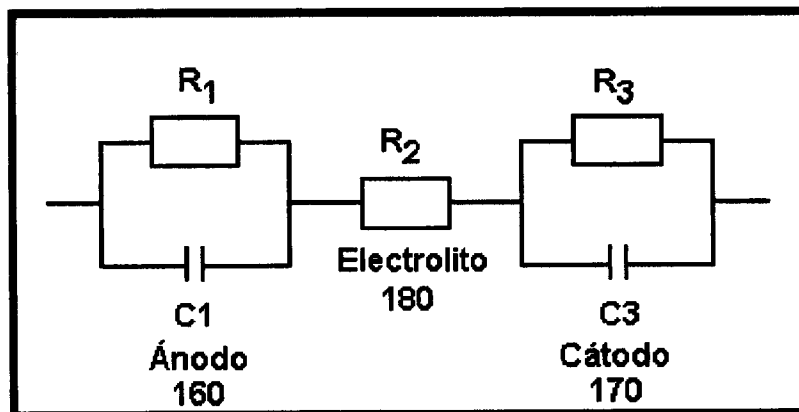


FIG. 3A

FIG. 3B



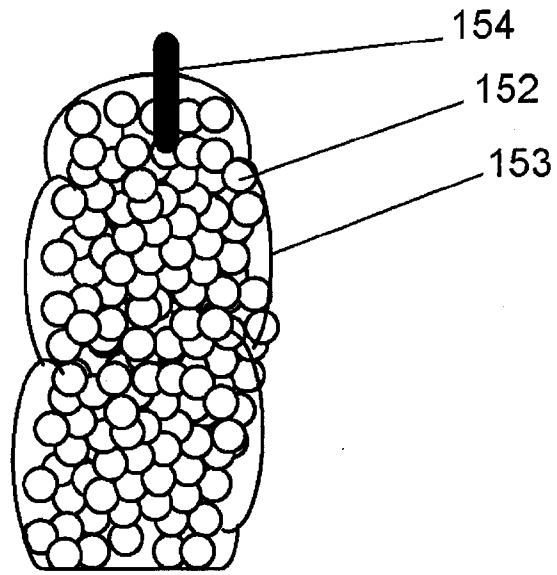


FIG. 5

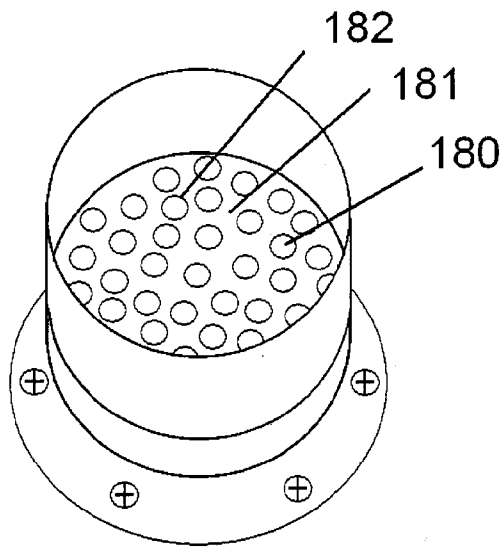


FIG. 6

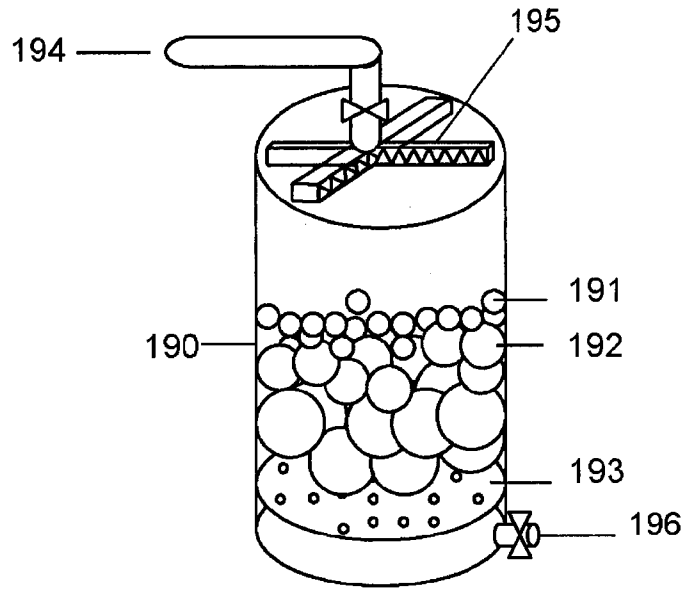


FIG. 7

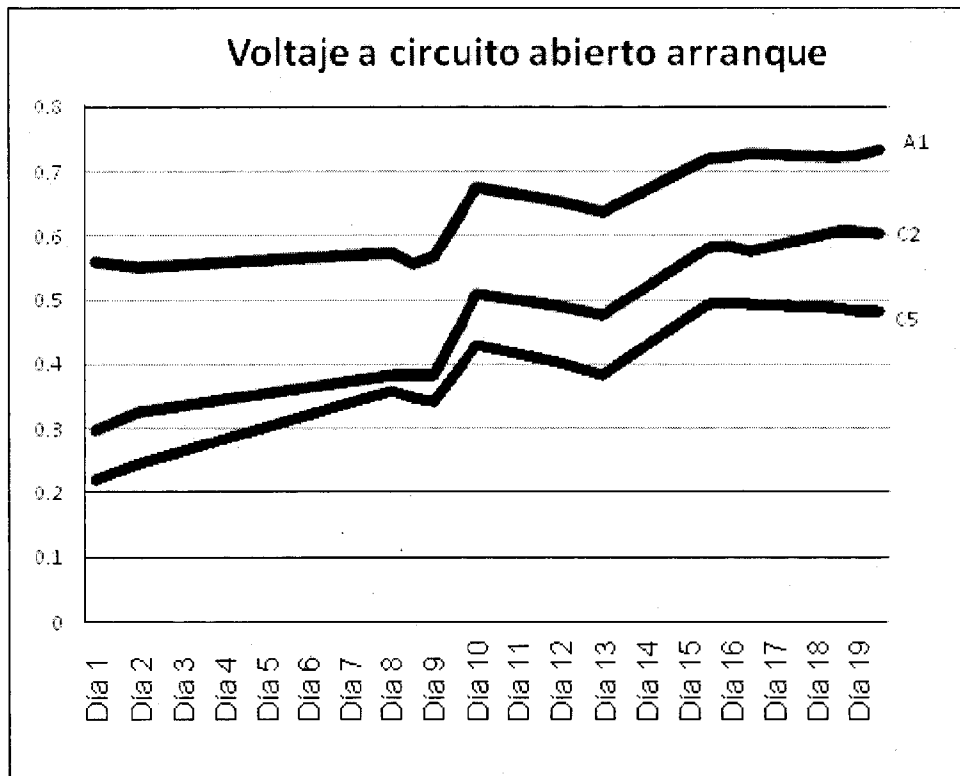


FIG. 8A

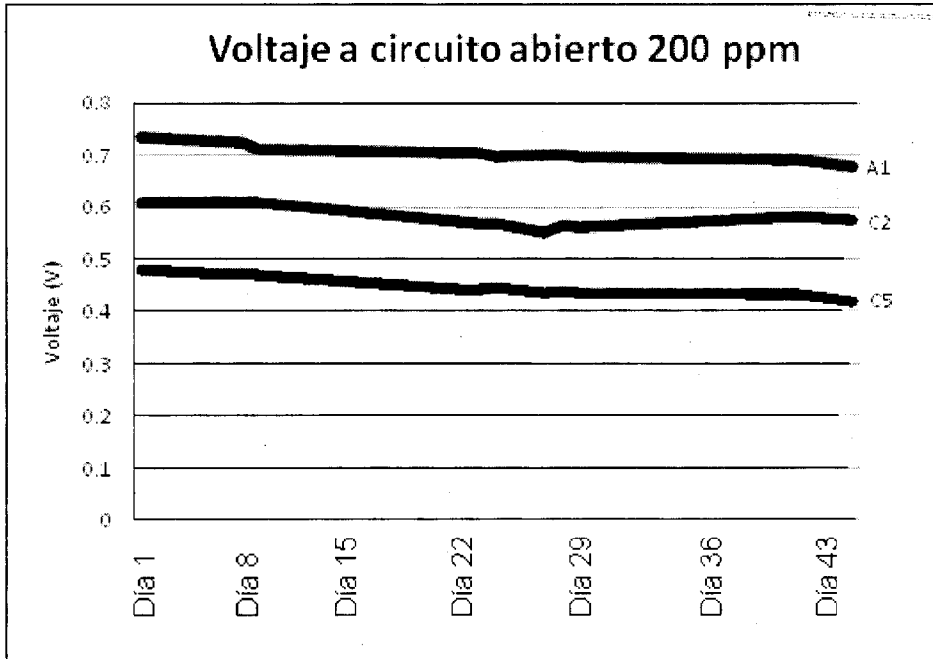


FIG. 8B

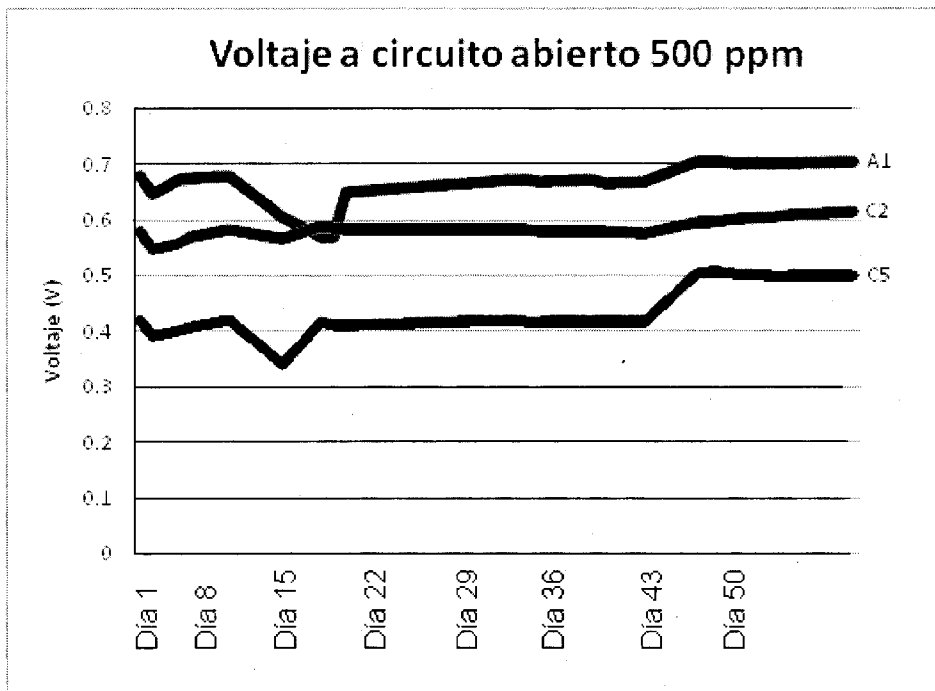


FIG. 8C

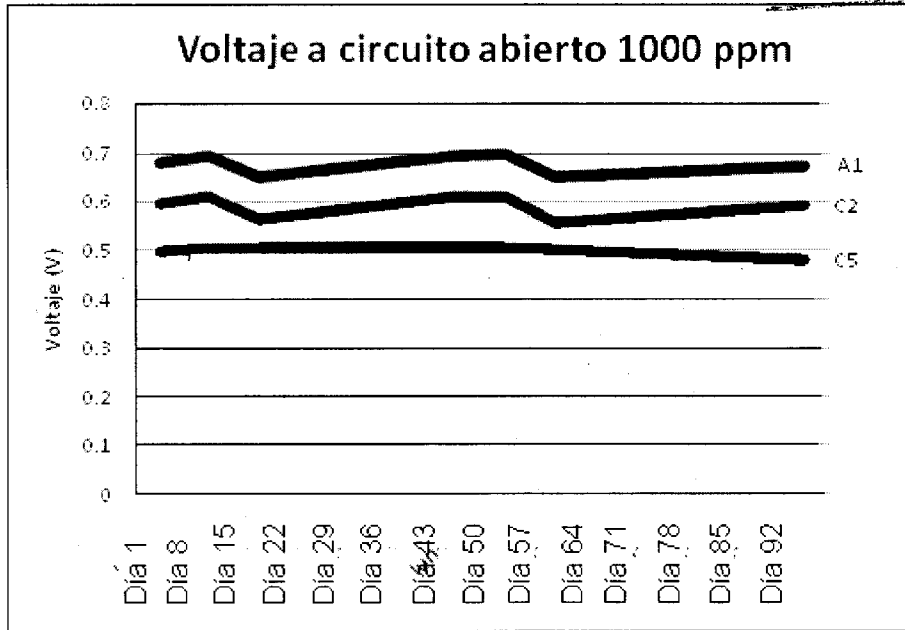


FIG. 8D

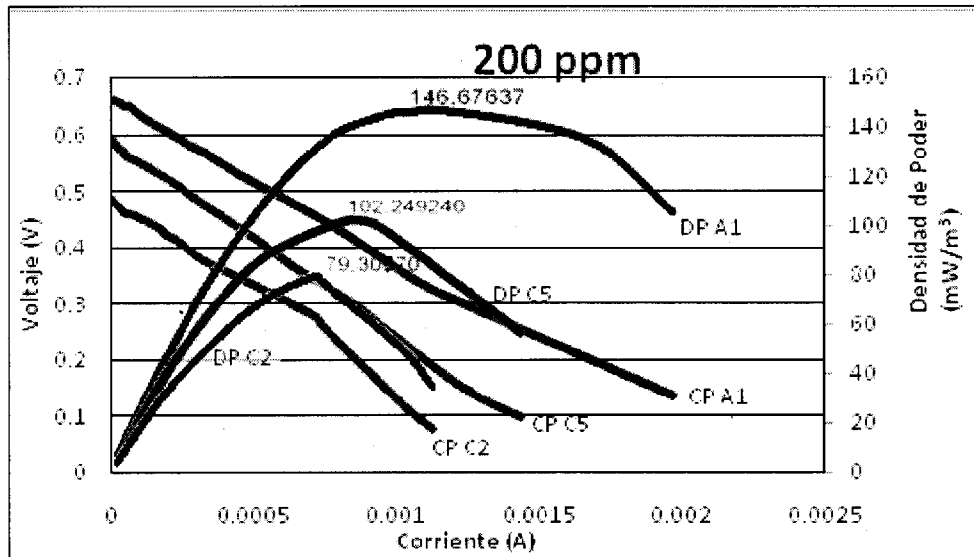


FIG. 9A

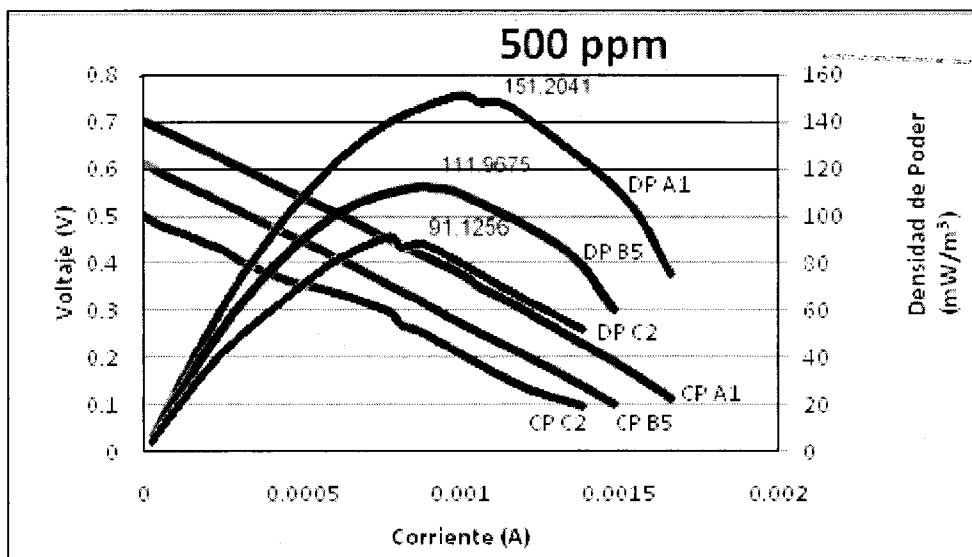


FIG. 9B

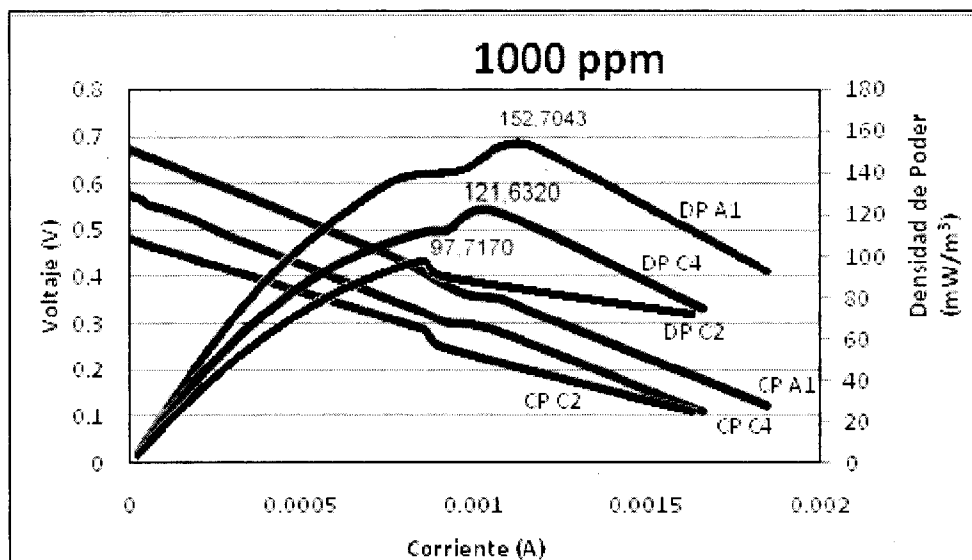


FIG. 9C

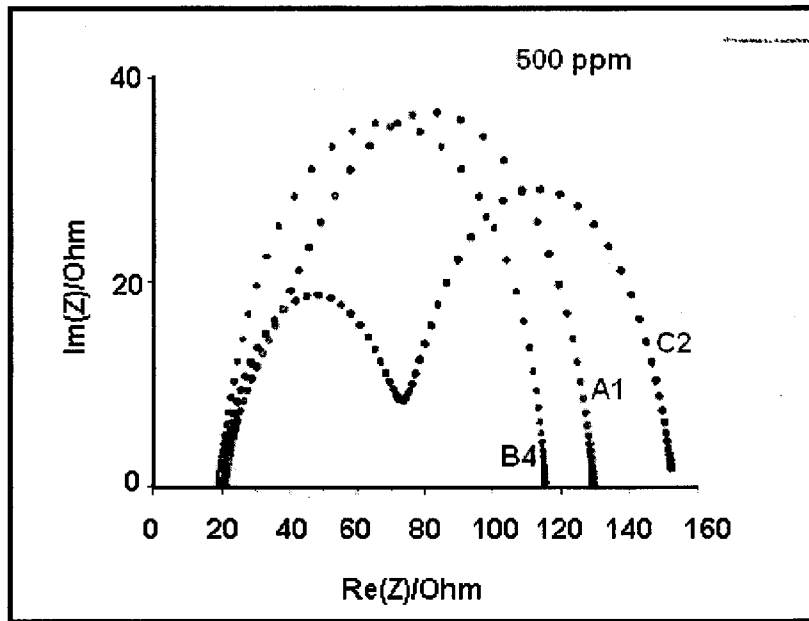


FIG. 10A

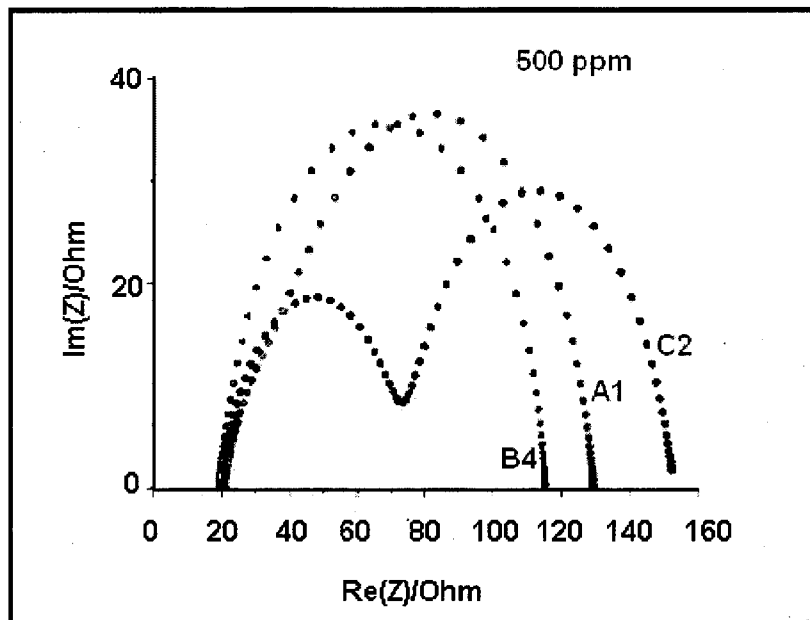


FIG. 10B