



(12)

## PATENTE

(43) Fecha de publicación: **08/02/2017** (51) Int. Cl: **H01G 11/08** (2013.01)  
**H01G 11/26** (2013.01)  
(22) Fecha de presentación: **29/08/2014**  
(21) Número de solicitud: **2014010797** **H01G 11/02** (2013.01)

(71) Solicitante:  
**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO  
TECNOLÓGICO EN ELECTROQUÍMICA, S.C.  
Parque Tecnológico Querétaro S/N 76703 PEDRO  
ESCOBEDO Queretaro MX**

(72) Inventor(es):  
**FRANCISCO MHERANDE CUEVAS MUÑIZ  
Parque Tecnológico Querétaro S/N PEDRO  
ESCOBEDO Queretaro 76703 MX  
ABRAHAM ULISES CHAVEZ RAMIREZ  
JANET LEDESMA GARCIA  
LUIS GERARDO ARRIAGA HURTADO  
RAUL JIMENEZ GONZALEZ  
ALONSO MORENO SURIA  
CESAR RAFAEL FARIAS ZUÑIGA**

(74) Representante:  
**NORA DE LA PEÑA ESNARRIAGA  
Camino a los Olvera No. 44 Municipio de Corregidora  
Queretaro 76904 MX**

(54) Título: **MICROSISTEMA INTEGRADO DE GENERACION, ADECUACION Y ALMACENAMIENTO DE ENERGIA ELECTRICA, BASADO EN UN ARREGLO DE CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROFLUIDICAS, SUPERCAPACITORES Y MICROELECTRONICA.**

(54) Title: **INTEGRATED MICROSYSTEM FOR THE GENERATION, ADEQUACY AND STORAGE OF ELECTRIC POWER, WHICH IS BASED ON AN ARRANGEMENT OF MICROFLUIDIC FUEL CELLS, SUPERCAPACITORS AND MICROELECTRONIC.**

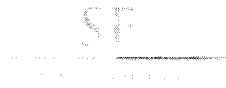
(57) Resumen

La presente invención trata de un microdispositivo integrado que incluye tres componentes esenciales: un arreglo de celdas de combustible microfluídicas sin membrana, un medio de almacenamiento de energía basado en supercapacitores y una interfaz microelectrónica para su acoplamiento a dispositivos electrónicos comerciales de bajo consumo. La celda de combustible microfluídica funciona como el elemento generador de la energía, este dispositivo convierte la energía química del combustible líquido en energía eléctrica, es un sistema de generación estable, ya que mientras exista un ingreso constante de combustible, la celda proporcionará energía; es limpio ya que los productos de la reacción de acuerdo con el combustible que se ingrese será agua y CO<sub>2</sub>; al ser un dispositivo sin membrana el diseño permite miniaturizar el dispositivo a una escala que compita con las actuales baterías ion-Litio. La interfaz microelectrónica tiene la función de regular y adecuar la señal eléctrica proveniente de la celda microfluídica para alimentar un dispositivo electrónico de bajo consumo. Finalmente, el medio de almacenamiento es un supercapacitor el cual tiene la virtud de almacenar una cantidad importante de energía en un volumen reducido. Estos tres componentes han sido diseñados para que cada uno de sus procesos (generación, adecuación y almacenamiento) puedan ser incorporados en un solo dispositivo, esto es conocido como tecnología LOC (Lab on a Chip). Se han utilizado técnicas de micromaquinado, sputtering y microelectrónica, propiedades por las cuales se ha logrado un nivel de miniaturización competitivo con algunas baterías de última generación.

(57) Abstract

The present invention refers to an integrated microdevice formed by three main components: An arrangement of membrane-less microfluidic fuel cells, a means for storing energy based on supercapacitors and a microelectronic interface to be coupled to commercial electronic devices of low power consumption. The microfluidic fuel cell may act as an element for generating energy, this device converting the chemical energy of the liquid fuel into electric energy; it is a stable generation system as the cell will provide energy while a constant inlet of fuel is available; it is a clean system since the reaction products will be water and CO<sub>2</sub>, depending on the fuel to be used; as it is a membrane-less device, the design of the same allows the device to be miniaturized at a scale competing with current ion-Lithium batteries. The microelectronic interface is intended to regulate and adapt the electric signal resulting from the microfluidic cell for supplying an electronic device of low power consumption. Finally, the storage means is a supercapacitor intended to store an important amount of energy in a reduced volume. These three components have been designed in such a manner that each one of their processes (generation, adequacy and storage) may be incorporated in a single device, this is known as Lab on a Cheap technology (LOC). Micromachined, sputtering and microelectronic techniques have been used for achieving a level of miniaturization competitive with some cutting-edge batteries.





## TÍTULO DE PATENTE No. 348946

**Titular(es):** CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN ELECTROQUÍMICA, S.C.; UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

**Domicilio:** Parque Tecnológico Querétaro, Sanfandila, 76703, Pedro Escobedo, Querétaro, MÉXICO

**Denominación:** MICROSISTEMA INTEGRADO DE GENERACIÓN, ADECUACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA, BASADO EN UN ARREGLO DE CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROFLUÍDICAS, SUPERCAPACITORES Y MICROELECTRÓNICA.

**Clasificación:** CIP: H01G11/08; H01G11/02; H01G11/26  
CPC: H01G11/08; H01G11/02; H01G11/26

**Inventor(es):** LUIS GERARDO ARRIAGA HURTADO; ABRAHAM ULISES CHÁVEZ RAMÍREZ; FRANCISCO MHERANDE CUEVAS MUÑOZ; JANET LEDESMA GARCÍA; RAÚL JIMÉNEZ GONZÁLEZ; ALONSO MORENO SURIA; CÉSAR RAFAEL FARIÁS ZUÑIGA

### SOLICITUD

**Número:** MX/a/2014/010797  
**Fecha de Presentación:** 29 de Agosto de 2014  
**Hora:** 11:09

**Vigencia:** Veinte años

**Fecha de Vencimiento:** 29 de agosto de 2034

**Fecha de Expedición:** 8 de febrero de 2017

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.) 27/08/1991, reformada el 02/08/1994, 25/10/1996, 26/12/1997, 17/05/1999, 26/01/2004, 16/06/2005, 25/01/2006, 06/05/2009, 06/01/2010, 18/06/2010, 28/06/2010, 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. 14/12/1998, reformado el 01/07/2002, 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).

El presente oficio se signa con firma electrónica avanzada (FIEL), con fundamento en los artículos 7 BIS 2 de la Ley de la Propiedad Industrial; 3o de su Reglamento, y 1 fracción III, 2 fracción V, 26 BIS y 26 TER del Acuerdo por el que se establecen los lineamientos para el uso del Portal de Pagos y Servicios Electrónicos (PASE) del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, en los trámites que se indican.

### LA DIRECTORA DIVISIONAL DE PATENTES NAHANNY CANAL REYES



Cadena Original:  
NAHANNY MARISOL CANAL REYES|00001000000403252793|Servicio de Administración  
Tributaria|1695|MX/2017/52846|MX/a/2014/010797|Título de patente normal|1220|RRGO|Pág(s)  
1|cKhVfv02n3XhJEtatrezKhnX1Ts=

Sello Digital:  
DKAIP0IjWIDHCtq2rFeUhzlgvjWfWOb/H2IREZwO3SCcfA8wO3nfHSfCnXiJU2EyyY2qYEU+S0ijeQosznP/Th3Ls  
DksaBle36Y8C5GJVA3Yg+GO26H8brE20eg9s2leZsCDL7eczWfPjNXESqkF9siy3foHtENLVX7BXX044yjUzL0FYQVe  
Z1MIRY0sZrxtszfOmg8C2Np/8Zzh2c/dSrJCb+6S+c30EnDcwbIr6xoWB6mhNesOyt9bLGiMiuLnzy1xFwkdzi  
cRnTEOWjmiErW0pZSUIBp3IVvVjV8YUH39nHwAYLYQhSWEUJk7ppdtvLw/bxEufzUHTq/g==

Arenal No. 550. Piso 1, Pueblo Sarita Maria Tepepan, Xochimilco. 16020.  
Ciudad de México  
(55)53340700 www.gob.mx/impi



MX/2017/52846

**MICROSISTEMA INTEGRADO DE GENERACIÓN,  
ADECUACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA, BASADO EN UN ARREGLO DE CELDAS  
DE COMBUSTIBLE MICROFLUÍDICAS,  
5 SUPERCAPACITORES Y MICROELECTRÓNICA**

**CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION**

10 La presente invención se relaciona con el proceso de  
generación de energía eléctrica a partir de celdas de  
combustible, más específicamente se relaciona con las celdas  
microfluídicas sin membrana y en particular aquellas que  
utilizan ácido fórmico, metanol y/o glucosa como combustible.  
15 Asimismo, la presente invención se refiere a diseño de una  
nueva arquitectura de una celda de combustible microfluídica  
sin membrana que considera la integración de respiraderos para  
un suministro constante de oxidante. Otro aspecto de la  
presente invención se refiere a la integración de un medio de  
20 almacenamiento de energía basado en supercapacitores e  
interfaz microelectrónica para su acoplamiento a dispositivos  
electrónicos comerciales de bajo consumo.

13 FEB 2015

## **OBJETIVOS DE LA INVENCION**

El primer objetivo de la presente invención es proveer una nueva arquitectura que mejore la mecánica de fluidos en las celdas de combustible microfluídicas.

- 5 El segundo objetivo de la presente invención es incrementar la eficiencia de conversión energética en bajos niveles de flujo de combustible, para entregar mayores densidades de potencia.

El tercer objetivo de la presente invención es proveer un medio integrado en la arquitectura propuesta para la salida del dióxido de carbono formado en los microcanales de la celda de combustible microfluídica, que impida la formación de burbujas y el bloqueo del flujo de combustible/oxidante.

10

Un cuarto objetivo de la presente invención es integrar un medio de almacenamiento de energía basado en supercapacitores e interfaz microelectrónica, para su acoplamiento a dispositivos electrónicos comerciales de bajo consumo.

15

## **20 ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

En los últimos años, las celdas de combustible microfluídicas ( $\mu$ FFC) han surgido como una solución prometedora para la demanda de energía a pequeña escala, por ejemplo; computadoras portátiles, teléfonos móviles, sensores e implantes médicos.

25

En las celdas de combustible microfluídicas, todos los componentes y funciones de administración de fluido incluyendo, sitios de reacción y electrodos se limitan a un canal microfluídico. Las celdas de combustible microfluídica típicamente operan en una configuración de flujo de co-laminar sin una barrera física, tal como una membrana, creando una interfaz líquido-líquido para separar el ánodo y el cátodo, lo que implica el uso de menos componentes que las microceldas de combustible directas convencionales y por lo tanto su funcionamiento es más simple y requieren menos eventos de mantenimiento, a estas celdas se les denomina Celda de Combustible Microfluídica de Flujo Laminar sin Membrana (LM $\mu$ FC).

De acuerdo a lo descrito por R.J. Maloney, R.S. Jayashree, D. Natarajan, L.J. Markoski, P.J.A. Kenis y A.S. Hollinger, en "Nanoporous separator and low fuel concentration to minimize crossover in direct methanol laminar flow fuel cells," Journal of Power Sources, vol. 195, (2010) y por A. Dector, N. Arjona, M. Guerra-Balcázar, J. Ledesma-García, J.P. Esquivel, N. Sabaté, L. G. Arriaga, A.U. Chávez-Ramírez y A. Moreno-Zuria, en "Formic acid microfluidic fuel cell based on well-defined Pd nanocubes", Journal of Physics, vol. Conference Series: 476 (2013); el diseño de las celdas de combustible microfluídicas debe considerar la optimización de tamaño, peso y tiempo de vida para mejorar la fuente de alimentación para los dispositivos portátiles.

Existen ciertos factores que permiten que una LM $\mu$ FC sea eficiente, entre los que destaca principalmente la geometría, ya que esta es responsable del uso eficiente de los fluidos

involucrados en las reacciones electroquímicas, es decir que tanto se puede consumir y qué cantidad es la mínima para un correcto funcionamiento. Otros factores son los catalizadores, combustibles y oxidantes empleados.

- 5 De acuerdo a lo descrito por R.J. Maloney, R.S. Jayashree, D. Natarajan, L.J. Markoski, P.J.A. Kenis y A.S. Hollinger, en "Nanoporous separator and low fuel concentration to minimize crossover in direct methanol laminar flow fuel cells," *Journal of Power Sources*, vol. 195, (2010) y por A. Dector, N. Arjona, M. Guerra-Balcázar, J. Ledesma-García, J.P. Esquivel, N. Sabaté, 10 L. G. Arriaga, A.U. Chávez-Ramírez y A. Moreno-Zuria, en "Formic acid microfluidic fuel cell based on well-defined Pd nanocubes", *Journal of Physics*, vol. Conference Series: 476 (2013); el diseño de las celdas de combustible microfluídica 15 debe considerar la optimización de tamaño, peso y tiempo de vida para asegurar la alimentación energética para dispositivos electrónicos portátiles.

N. Djilali, D. Sinton E. Kjeang, en "Microfluidic fuel cells: A review," *Journal of Power Sources*, vol. 186, (2009); señalan 20 que desde su invención en el 2002, la tecnología de las celdas de combustible microfluídicas se han desarrollado rápidamente. Dichos sistemas emplean dos distintos flujos, el combustible y el oxidante. Estos se introducen en el microcanal a través de dos entradas que se encuentran separadas. Las soluciones 25 acuosas del anolito y catolito viajan por el canal de lado a lado formando un flujo co-laminar entre el ánodo y el cátodo, que se colocan típicamente en las paredes laterales a lo largo del canal. El flujo laminar en las celdas de combustible microfluídicas mantiene la separación del combustible y el



13 de mayo 2019

oxidante y por lo tanto juega un papel similar a la de la membrana sólida en las de celdas de combustible de membrana polimérica de intercambio de protones (PEMFC, por sus siglas en inglés). Sobre la base de este concepto, D. Sinton, N. Djilali y A. Bazylak, en "Improved fuel utilization in microfluidic fuel cells: A computational study," Journal of Power Sources, (2005); señalan que la invención de la celda de combustible microfluídica fue un importante paso adelante en el desarrollo de las celdas de combustible en miniatura porque este diseño novedoso supera los problemas y limitaciones que imponen las PEMFC tradicionales con la membrana sólida para su miniaturización. Además de las ventajas técnicas de la celda de combustible microfluídicas, hay algunas ventajas relativas a los costes. Por ejemplo, el coste de fabricación y mantenimiento asociado con la membrana también se elimina.

Tomando como base las afirmaciones realizadas por David Sinton, Ned Djilali y Aimy Bazylak, en "Improved fuel utilization in microfluidic fuel", Journal of Power Sources , vol. 143, (2005); así como las de N. Djilali, D. Sinton y E. Kjeang, en "Microfluidic fuel cells: A review", Journal of Power Sources, vol. 186, (2009); cuando los sistemas fluídicos se reducen de tamaño a escalas entre 1 y 1000  $\mu\text{m}$ , se establece régimen de flujo laminar el cual es gobernado por el número de Reynolds, el cual es adimensional. Un número de Reynolds bajo en dos corrientes acuosas, una que contiene al combustible la otra al oxidante, ambas dentro de un electrolito común, facilita el transporte iónico dentro de las corrientes y el mezclado de las especies se limita a mecanismos de difusión.

Larry J. Markoski, Andrzej Wieckowski, Paul J.A. Kenis y Eric R. Choban, en "Microfluidic fuel cell based on laminar flow", Journal of Power Sources, vol. 128, (2004); estudiaron los efectos dinámicos que ocurren en una LM $\mu$ FC. Posteriormente  
5 diseñaron y construyeron el dispositivo con una Geometría-Y, empleando Ácido Fórmico (HCOOH) como combustible, y como oxidante utilizaron Oxígeno (O<sub>2</sub>) y Permanganato de Potasio (KMnO<sub>4</sub>).

Otros documentos de patente, como el US2005/0181269A1,  
10 US2007/0243439A1 y US8168350B1, refieren celdas de combustible de estructura alargada sobre un eje longitudinal, la cual difiere significativamente de la estructura propuesta en la presente invención.

El documento de patente WO2006101967 describe una celda  
15 electroquímica, que si bien considera dos fluidos en flujo laminar paralelo, en donde cada uno de estos fluidos puede tener un pH diferente, propone una Geometría-Y de la celda, mientras que la presente invención propone una geometría en "Arquitectura de Árbol".

20 En el documento de patente US2009042083A1, se describe una microcelda combustible sin membrana, con flujo co-laminar a lo largo de un canal, que logra mantener un número de Reynolds bajo; sin embargo, esta configuración se asemeja nuevamente a la Geometría-Y.

25 Un método para la generación de corriente eléctrica utilizando una celda de combustible con una Geometría-X, se describe en el documento de patente US2010112391A1. Este método consiste en hacer fluir un primer flujo, que incluye un

combustible y un electrolito, a través de un primer canal y hacer  
fluir un segundo flujo, que incluye un oxidante y un electrolito, a  
través de un segundo canal que está abierto hacia el primer  
canal. Existe entonces pluralidad de zonas de intercambio en  
5 donde los flujos están orientados dentro de sus respectivos  
canales de tal manera que las corrientes de contacto en las  
zonas de cambio permiten el transporte de los productos de  
reducción y oxidación hacia el ánodo y el cátodo.

El documento de patente WO2010083219A1, propone una  
10 geometría tipo estrella, es decir, esta celda combustible incluye  
una pluralidad de pasos de fluido individuales, y cada uno  
conduce a una salida común. Cada paso de fluido incluye un  
ánodo y un cátodo; donde un arreglo de puertos, tanto de  
combustible como de oxidante, está conectado a los pasos de  
15 fluido. La disposición de los puertos, ánodos y cátodos permite  
oxidar el combustible y generar electrones para la conducción a  
una carga y productos de oxidación y reducción a través de la  
salida común.

Por otra parte, A. Westly, Alexander Pechenik, Héctor D. Abruña  
20 y Jamie L. Cohen, en "Fabrication and preliminary testing of a  
planar membraneless microchannel fuel cell", Journal of Power  
Sources, vol. 139, (2005); desarrollaron una LM $\mu$ FC con una  
Geometría-F, empleando HCOOH y O<sub>2</sub> saturado como  
combustible y oxidante respectivamente ambos en una solución  
25 de electrolito 0.1 M de Ácido Sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) en donde los  
electrodos se encontraban a los costados usando diferentes  
distancias entre los mismo. Con esta celda, obtuvieron una  
densidad de potencia máxima de 0.18 mW·cm<sup>-2</sup>.

Asimismo, los documentos de patente WO2006031268, US2006003217A1 y US7435503B2 proponen una celda de combustible de microfluidos, cuyo diseño busca eliminar la necesidad de una membrana mecánica, proporcionando un canal de flujo en el que existen regímenes de flujo laminar en dos líquidos que fluyen en contacto mutuo para formar una "interfaz virtual" en el canal de flujo. En esta celda de combustible, la difusión en la interfaz es el único modo de transporte de masa entre los dos fluidos, y propone un diseño plano que proporciona grandes áreas de contacto entre las dos corrientes, que son flujos de combustible y de oxidante, y entre cada corriente el electrodo respectivo. Los microcanales de silicio de longitud fija y la anchura y altura variable, se han utilizado para generar energía usando ácido fórmico como combustible y oxígeno como oxidante; las densidades de potencia entregadas por este dispositivo son del orden de  $180 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ . Si bien esta celda considera el flujo co-laminar, propone una estructura del tipo Geometría-F.

Otra propuesta de Geometría-F está descrita en el documento de patente US2012148931A1, en donde el método de operación utiliza bombeo. Esto es, la celda de combustible incluye un solo canal que tiene dos de sus lados formados por el ánodo y el cátodo, teniendo cada uno un catalizador adecuado; de un lado del canal se coloca una válvula, para la formación de burbujas en la zona de reacción en el ánodo y el cátodo del canal, mientras que del otro lado del canal se coloca un respiradero.

El documento de patente US2006228622A1, describe una celda de flujo de microfluidos sin membrana formada con múltiples

- soluciones de electrolitos ácida/alcalina. El combustible es hidrógeno disuelto en 0,1 M de Hidróxido de Potasio (KOH), y el oxidante es oxígeno disuelto en 0,1 M de  $H_2SO_4$ . Describe microcanales de diferentes dimensiones que pueden incluir variaciones de espesor y diferentes tasas de flujo de las soluciones de electrolitos de ácido/base. A diferencia de la presente invención, este documento refiere también una Geometría-F, así como el uso de diferentes combustibles y oxidantes.
- 5
- 10 Otro arreglo de LM $\mu$ FC's es el desarrollado por David Sinton, David Erickson y Sean Moore, en "A plate-frame flow-through microfluidic fuel cell stack", Journal of Power Sources, vol. 196, (2011), donde se conectaron dos celdas en paralelo empleando especies de  $VO^{2+}$  y  $V^{2+}$  como oxidante y combustible respectivamente, usando electrodos porosos y una configuración cuadrada.
- 15

El control del mezclado de las corrientes se puede realizar por modificaciones en la anchura del canal y en las velocidades de los flujos; así como en la disposición de los electrodos en las paredes, fondo o tapa de la LM $\mu$ FC de modo que no se localicen en la zona de interfaz líquido-líquido y prevenir el corto circuito químico, conocido en inglés como *crossover*. Una configuración laminar otorga la oportunidad de realizar una selección de la composición del combustible y el oxidante, lo cual permite mejorar los valores de reacción y del voltaje de la celda.

20

25

Con respecto al modelado de las LM $\mu$ FC's, el primer trabajo de este tipo fue el elaborado por David Sinton, Ned Djilali y Aimy Bazylak, en "Improved fuel utilization in microfluidic fuel",

Journal of Power Sources, vol. 143, (2005); donde desarrollaron una simulación con un modelo de Dinámica Computacional de Fluidos (CFD por sus siglas en inglés), tomando en cuenta los flujos acoplados, el transporte de especies y las cinéticas de reacción. La simulación numérica se realizó en 3D y mostró que la difusión de especies es limitada; el microcanal y los electrodos juegan un papel fundamental en el desempeño de la LM $\mu$ FC. De esta manera se determinó que las variaciones de estas geometrías, según sea el caso, mejoran o empeoran el uso eficiente del combustible.

Falin Chen, Nai-Siang Fang y Min-Hsing Chang, en "Analysis of membraneless fuel cell using laminar flow in a Y-shaped microchannel", Journal of Power Sources, vol. 159, (2006); hicieron uso del paquete CFD para la simulación de la LM $\mu$ FC y por primera vez introdujeron a los resultados la ecuación de Butler-Volmer con la cual predijeron las curvas de polarización. De igual manera analizaron la geometría y el tamaño del canal. Sus resultados mostraron que el transporte de masa sobre los electrodos, especialmente en el cátodo representa el parámetro de mayor importancia en la eficiencia del uso de combustible para la LM $\mu$ FC.

Con relación a los materiales, H. Rodríguez G., Luis A. Godínez, L.G. Arriaga y D. Morales-Acosta, en "Performance increase of microfluidic formic acid fuel cell using Pd/MWCNTs as catalyst", Journal of Power Sources, vol. 195, (2010); describen que el uso de materiales poliméricos como el polimetacrilato de metilo (PMMA) y la película de acetato de celulosa ha sido recientemente propuesto para la construcción de componentes de celdas de combustible microfluídica de bajo

costo, simplificando el proceso de fabricación y reduciendo el tiempo de construcción.

Como ya se conoce, las celdas de combustible microfluídica utilizan con frecuencia el ácido fórmico, metanol y glucosa como combustible. En el lado del oxidante, en general el oxígeno se incorpora en el flujo por burbujeo en el electrolito, o bien, obtienen el oxígeno directamente del aire, denominándose a éstas últimas como celdas de combustible microfluídica que respira aire.

Respecto a la integración de respiraderos, se han encontrado referencias como la de Ho-Chieh Wu, Bing-Shyan Her y Shou-Shing Hsieh, en "Design, fabrication and characterization of micro-electro mechanical system", Sensors and Actuators, vol. A 187 (2012), en donde se muestra un arreglo de Celdas Combustible de Metanol Directo (DMFC por sus siglas en inglés). Se conectaron en serie ocho celdas usando una concentración 0.5 M de metanol a un flujo de  $16 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$  ( $960 \text{ ml}\cdot\text{h}^{-1}$ ) las cuales obtuvieron un máximo potencial a circuito abierto de 4.52 V, una densidad máxima de corriente de  $105.40 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$  y una potencia de  $10.39 \text{ mW}\cdot\text{cm}^{-2}$ . A diferencia de la presente invención, no incluye la incorporación de depuradores de Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ).

A la fecha existen pocos trabajos que hayan colocado un respiradero en una  $\text{LM}\mu\text{FC}$  empleando  $\text{HCOOH}$  como combustible. Jayashree, et al., en "Air-Breathing Laminar Flow-Based Microfluidic Fuel Cell", Journal of the American Chemical Society, vol. 127, (2005); construyeron una  $\text{LM}\mu\text{FC}$  con respiradero y una Geometría-F, cuyo cátodo consistió en un

electrodo poroso de difusión de gas; este desarrollo no  
incorpora depuradores de CO<sub>2</sub>. En su operación, se usaron  
distintas concentraciones de HCOOH en una solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>  
y al optimizar la LM $\mu$ FC se obtuvo una densidad máxima de  
5 potencia de 26 mW·cm<sup>-2</sup> con HCOOH 1 M y la densidad máxima  
de corriente fue de 130 mA·cm<sup>-2</sup>.

## 10 PROBLEMA TÉCNICO A RESOLVER

Con base en lo descrito, existen ya tecnologías que aplican al  
desarrollo propuesto; sin embargo, estas tecnologías aún no  
resuelven el problema del consumo eficiente del combustible  
debido a la ineficiente dinámica de fluidos que presentan en sus  
15 geometrías. Asimismo, ninguna de estas tecnologías propone  
una solución a la liberación de las burbujas de CO<sub>2</sub> generadas  
en la reacción y que producen bloqueos en los microcanales,  
inhibiendo la operación correcta de las celdas de combustible  
microfluídicas. Por último, se resuelve el problema de la  
20 entrega de energía a dispositivos electrónicos comerciales de  
bajo consumo a través de la incorporación de una interfaz  
microelectrónica y un medio de almacenamiento de energía.



## BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

A diferencia de lo descrito en el estado de la técnica, la presente invención consiste en una novedosa arquitectura de árbol en las celdas de combustible microfluídicas, que incorpora depuradores de CO<sub>2</sub>, para evitar la acumulación de burbujas en los microcanales, optimizando el uso de combustible e incrementando así la entrega de potencia a nivel comercial.

La arquitectura elegida cuenta con una entrada que permite la distribución hacia dos puntos y posteriormente hacia cuatro microcanales dispuestos en una forma de árbol, que proveen una excelente distribución de los líquidos, y que convergen hacia una sola salida. Esta arquitectura permite que cada uno de los cuatro microcanales opere de manera independiente, haciendo flexible al usuario definir cuántas celdas pueden interconectarse. Este arreglo de celdas de combustible microfluídicas puede operar con diferentes combustibles, tales como el ácido fórmico, metanol y glucosa. Sin embargo, los mejores resultados se obtuvieron usando HCOOH 2M como combustible y velocidad de 36 ml·h<sup>-1</sup>. La máxima densidad de potencia fue de 20.89 mW·cm<sup>-2</sup>, con una densidad total de corriente de 100 mA·cm<sup>-2</sup> y el potencial a circuito abierto fue de 0.71 V.

Asimismo, la presente invención integra un microsistema de generación, almacenamiento y aplicación de energía eléctrica, basado en la celda de combustible microfluídica desarrollada, supercapacitores e interfaz microelectrónica, que permite el incremento del voltaje de salida a un nivel comercial para su uso en dispositivos que demandan energía a pequeña escala.

## BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Las figuras que se anexan se explican de la siguiente manera:

- Figura 1. Arquitectura de árbol desarrollada para el arreglo de celdas de combustible microfluídicas sin membrana con respiradero.  
5
- Figura 2a. Perfil de velocidad en la parte inicial de los microcanales del arreglo de celdas de combustible microfluídicas sin membrana con respiradero.
- Figura 2b. Perfil de velocidad en la parte final de los  
10 microcanales del arreglo de celdas de combustible microfluídicas sin membrana con respiradero.
- Figura 2b. Perfiles de velocidad del arreglo de celdas de combustible microfluídicas sin membrana con respiradero.
- Figura 3. Perfiles del número de Reynolds a media  
15 profundidad de la zona donde se encuentran los electrodos.
- Figura 4. Fotografías de las piezas fabricadas para el arreglo de celdas de combustible microfluídicas sin membrana con respiradero.
- Figura 5. Vista lateral del ensamble de las piezas para el  
20 arreglo de celdas de combustible microfluídicas sin membrana con respiradero.
- Figura 6a. Fotografías de la vista anterior del ensamble de las piezas del arreglo de celdas de combustible microfluídicas sin membrana con respiradero.
- Figura 6b. Fotografías de la vista posterior del ensamble de  
25 las piezas del arreglo de celdas de combustible microfluídicas sin membrana con respiradero.

- Figura 7a. Resultados normalizados sobre el área, a una concentración de HCOOH 0.5 M.
- Figura 7b. Resultados normalizados sobre el área, a una concentración de HCOOH 1.0 M.
- 5 • Figura 7c. Resultados normalizados sobre el área, a una concentración de HCOOH 1.5 M.
- Figura 7d. Resultados normalizados sobre el área, a una concentración de HCOOH 2.0 M.
- Figura 8. Circuito eléctrico del microsistema integrado de generación, almacenamiento y aplicación de energía eléctrica, basado en un arreglo de celdas de combustible microfluídicas sin membrana con respiradero, supercapacitores y microelectrónica.
- 10
- Figura 9a. Voltajes de salida de la celda.
- 15 • Figura 9b. Voltajes de salida del elevador tipo "Boost".

## DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención consiste en la construcción de un microsistema integrado de generación, adecuación y almacenamiento de energía eléctrica, basado en un arreglo de celdas de combustible microfluídicas sin membrana con respiradero, supercapacitores y microelectrónica. Mediante la combinación de diversas técnicas de modelado, diseño, micromaquinado y optimización de una monocelda, se logró desarrollar arquitectura que permite la distribución adecuada de los fluidos reactantes para la producción eficiente de energía.

20

25

El diseño computacional se desarrolló con un ~~programa basado~~ en elemento finito, el cual brindó el esquema de construcción del modelo propuesto y con la ayuda de un sistema de Control Numérico por Computadora (CNC) y un plotter de corte se fabricó cada componente que constituyó el arreglo de celdas de combustible microfluídicas sin membrana con respiradero. Se diseñó una novedosa arquitectura denominada “de árbol”, la cual se muestra en la Figura 1, para la construcción de celdas de combustible microfluídicas que mejoró la dinámica de fluidos y, por lo tanto, la eficiencia de uso de combustible respecto a las ya conocidas.

La presente invención consiste en un Arreglo de microcanales (4) y un Arreglo de cátodos (5). En cada uno de estos arreglos (4, 5) se genera una serie de canales abiertos, los cuales, una vez superpuestos se complementan para originar los Microcanales de trabajo (1a).

La geometría de estos canales cerrados es de una Arquitectura en forma de árbol (1), tal como se observa en la Figura 1. Cada uno con una sección transversal cuadrada, los cuales se extienden desde un Puerto de entrada (2) hacia un Puerto de salida (3).

A partir del Puerto de entrada (2) se tiene un Canal de entrada (1e) coaxial al eje longitudinal ( $i$ ) que se divide en una serie de bifurcaciones o Brazos de distribución a canal de paso (1d) en un número conveniente; de manera preferente se tiene un número de dos de ellos los cuales se extienden en un ángulo de  $75^\circ$  entre sí de manera simétrica al eje longitudinal ( $i$ ) que conduce a un Canal de paso (1c) ubicado paralelo a dicho eje longitudinal ( $i$ ); este Canal de paso (1c) se divide en unas bifurcaciones secundarias o Brazos de distribución a

microcanales (1b) que de manera preferente son dos, las cuales se extienden en un ángulo de  $75^\circ$  entre sí de manera simétrica al eje secundario ( $j$ ) que es coaxial al Canal de paso (1c); cada uno conduce hacia un Microcanal de trabajo (1a), en donde cada uno se extiende de manera paralela al eje longitudinal ( $i$ ); de esta forma se disponen de cuatro Microcanales de trabajo (1a), aunque el número puede variar dependiendo de las condiciones de diseño o demanda energética. Estos Microcanales de trabajo (1a) se comunican de manera fluida con el Puerto de salida (3) mediante unos Brazos de colectores a puerto de salida (1f). Cuando se superpone el Arreglo de microcanales (4) sobre el Arreglo de cátodos (5), de manera que se confrontan y se complementan, se generan los Microcanales de trabajo (1a).

Se tiene que el gas producido por la oxidación del combustible es  $\text{CO}_2$ , el cual disminuye la capacidad de generación de energía, por lo cual se debe liberar mediante una serie de Respiraderos (12) alineados en cada uno de los Microcanales de trabajo (1a) en comunicación fluida con el exterior.

Cada uno de estos microcanales de trabajo (1a) representa el componente principal de una monocelda, por lo que este dispositivo permite la interconexión de hasta cuatro monoceldas, en donde cada una de ellas puede funcionar de manera independiente. Los microcanales de trabajo (1a) propuestos tienen proporciones de 1X de ancho, 9X de largo y 0.3X de espesor, con un diámetro de inyección de flujos de 2X.

El funcionamiento de cada una de las cuatro monoceldas de forma independiente, arroja los siguientes resultados:

**Tabla 1.**

Densidad de corriente calculada en el arreglo de celdas microfluidicas.

Monocelda	Densidad de corriente (mA·cm <sup>-2</sup> )	Corriente (mA)
1	26.6	9.6
2	26.1	9.4
3	26.4	9.5
4	26.6	9.6
Total (arreglo)		38.1

5

Es entonces como la arquitectura desarrollada cuenta con un Puerto de entrada (2) para el flujo del combustible, el cual se distribuye inicialmente por el Canal de entrada (1e), por los Brazos de distribución a canal de paso (1d) hacia los Canales de paso (1c) y posteriormente hacia los Microcanales de trabajo (1a) dispuestos en una forma de árbol para la distribución de los líquidos y convergiendo mediante los Brazos colectores a puerto de salida (1f) hacia un solo Puerto de salida (3). Esta arquitectura de árbol permite que cada uno de los microcanales de trabajo (1a) opere de manera independiente, haciendo flexible al usuario definir cuántas monoceldas pueden interconectarse.

15

Los resultados obtenidos muestran una eficiencia del uso de combustible de 2.61%, basado en el siguiente cálculo:

20

$$\text{Eficiencia} = (C_{\text{HCOOH-Entrada}} - C_{\text{HCOOH-Salida}}) \cdot 100 = (0.5\text{M} - 0.4869\text{M}) \cdot 100 = 2.61$$

Se analizó el gradiente de velocidad ~~que interviene~~ directamente en la magnitud del número de Reynolds para comprobar que el arreglo de celdas de combustible microfluídicas sin membrana con respiradero, opera con fluidos  
5 en régimen laminar.

Las mayores magnitudes de velocidad al interior de los microcanales se encontraron a media profundidad (150  $\mu\text{m}$ ) de la sección transversal donde se localizan los Electrocatálizadores (15), como se muestra en la Figura 2, ya  
10 que sobre esta zona es donde se unen los flujos de las dos corrientes.

Como se aprecia en los perfiles de velocidad, mostrados en la Figura 3, el máximo valor sobre los Microcanales de trabajo (1a) fue de  $509 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , aunado a eso se comprobó que el número de  
15 Reynolds se mantuvo debajo de 10 sobre la misma zona y el centro alcanzó un máximo de 1.07.

El ángulo de inyección de los fluidos en cada Brazo de distribución a microcanales (1b) es de  $75^\circ$ , lo que permitió trabajar con un bajo número de Reynolds. Esta característica  
20 mejora el transporte por difusión de las especies involucradas en las reacciones químicas, mejorando el desempeño del arreglo de celdas de combustible microfluídicas sin membrana con respiradero.

Como se utiliza aquí, el término aproximadamente se refiere a una variación de  $\pm 20\%$  cuando se refiere a tiempos y de  $\pm 10\%$  cuando se refiere a longitudes, pesos y temperaturas.

El método para integrar el microsistema integrado de generación, adecuación y almacenamiento de energía eléctrica, basado en un arreglo de celdas de combustible microfluídicas, supercapacitores y microelectrónica, consiste la fabricación de cada componente del arreglo de celdas de combustible microfluídicas sin membrana con respiradero, mediante técnicas de micromaquinado y de depósito como se describe a continuación:

a. Fabricación de la Base (8) y Tapa (9)

a.1. Colocar dos piezas de acrílico de aproximadamente 6 mm de espesor en el sistema de micro fresado por Control Numérico por Computadora (CNC) y precargar el diseño realizado en el programa Computer Aided Design (CAD), el programa de diseño se encarga de cortar el perímetro de las piezas, así como en la parte interior de perforar los orificios correspondientes a las ventanas en la parte central de la Base (8) para formar los Respiraderos (12), las ventanas en la Tapa (9) para formar los Depuradores de  $\text{CO}_2$  (14), las perforaciones para colocar los Pines colectores de corriente (13), las perforaciones para colocar los Tornillos (17), un orificio para el Ingreso de combustible (10), un orificio para el Ingreso de oxidante (11) y un Puerto de salida (3).

a.2. Incorporar una máscara de resina epóxica comercial con el diseño del Circuito impreso (18) sobre la cara exterior de la Tapa (9) y depositar sobre esta pieza una película de metal



18 FEB 2015

conductor, tal como el oro o el cobre, mediante un sistema de pulverización catódica, conocida en inglés como metal sputtering deposition, a través de plasma de argón.

b. Preparación de los electrocatalizadores (15)

- 5 b.1. Preparar la tinta catalítica mezclando 7  $\mu$ l de copolímero fluorado basado en tetrafluoroetileno sulfonado (Nafion®) al 5% y 73  $\mu$ l de alcohol isopropílico (J.T. Baker) por cada 1 mg de catalizador y colocar esta mezcla en un baño ultrasónico por 20 minutos.
- 10 b.2. Utilizar del lado del ánodo Pd/C XC-72 (20% peso/peso, E-TEK) y Pd/cubos (20% peso/peso), considerando 1 mg de Metal  $\text{cm}^{-2}$ .
- b.3. Utilizar del lado del cátodo Pt/C XC-72 (30% peso/peso, E-TEK), considerando 1 mg de Metal  $\text{cm}^{-2}$ .

15 c. Fabricación del Arreglo de cátodos (5):

- c.1. Acoplar cuatro láminas de mica (Fellowers®) y someter a calor a través de una enmicadora (Heatseal H425®) para obtener una sola capa.
- 20 c.2. Cortar el perímetro de la mica obtenida, así como las orificios de acceso a los Pines colectores de corriente, Tornillos, Depuradores de  $\text{CO}_2$  y los correspondientes a la arquitectura de árbol, mediante el uso de un software (Silhouette Studio®), el cual sirve como vectorizador e interface para el cortador 2D (Grapthec America, Inc.).
- 25 c.3. Incorporar la tinta catalítica directamente sobre la superficie

de los cátodos mediante deposición homogénea usando un aerógrafo adaptado a un mini sistema de CNC.

d. Fabricación del arreglo de los microcanales (4):

d.1. Cortar el arreglo de microcanales de la LM $\mu$ FC sobre una  
5 película de polímero de silicona de 300  $\mu$ m, así como las perforaciones para permitir el contacto de los pines colectores de corriente sobre los electrodos, las perforaciones de los tornillos y los correspondientes a la arquitectura de árbol, mediante el uso de un software  
10 (Silhouette Studio®).

e. Fabricación del arreglo de ánodos microporosos (6):

e.1. Utilizar papel carbón (Toray®-ElectroChem, Inc.) y cortar los canales de ingreso del anolito, las perforaciones que permiten el contacto de los pines colectores de corriente,  
15 las perforaciones de los tornillos y los correspondientes a la arquitectura de árbol, mediante el uso de un software (Silhouette Studio®) el cual sirve como vectorizador e interface para el cortador 2D (Grapthec America, Inc.).

e.2. Incorporar la tinta catalítica directamente sobre la superficie  
20 de los ánodos mediante deposición homogénea usando un aerógrafo adaptado a un mini sistema de CNC.

f. Preparación de los Empaques de sellado de base(7a) y de tapa (7b)

f.1. Mezclar los epóxidos del tipo Silicona RTV de base y de  
25 curado (RTV Silicones Rubber Base® y RTV Silicones Rubber Curing Agent®) en una proporción de 9:1

respectivamente.

18 FEB. 2015

f.2. Secar por un día.

f.3. Realizar los cortes del perímetro y los correspondientes a la arquitectura de árbol en interiores, mediante el uso de un software (Silhouette Studio®) el cual sirve como vectorizador e interface para el cortador 2D (Graphtec America Inc.). En el caso del empaque de sellado de base (7a) cortar además los orificios de acceso a los pines colectores de corriente, a los tornillos y principalmente las ventanas de los respiraderos; en el caso del empaque de sellado de tapa (7b) cortar además los orificios de acceso a los pines colectores de corriente, tornillos y depuradores de CO<sub>2</sub>.

g. Armado del elevador de voltaje tipo "Boost" (18)

g.1. Acoplar un primer capacitor de montaje superficial (SMD) 0.1  $\mu$ F (18a), un primer capacitor de montaje superficial (SMD) 10  $\mu$ F (18b), el inductor de montaje superficial (SMD) 10  $\mu$ H (18c), el circuito integrado TS3310 (18d), resistencia de montaje superficial (SMD) 3.3 Mega Ohms (18e), un segundo capacitor de montaje superficial (SMD) 0.1  $\mu$ F (18a), un segundo capacitor de montaje superficial (SMD) 10  $\mu$ F (18b), un supercapacitor 1F (BZ01 AVX Bestcap®) (18f) y el circuito impreso (18g).

g.2. Configurar a un voltaje de salida (18i) a un valor de aplicación comercial (de 2.5 a 3.5 V).



18 FEB. 2015

Una vez fabricadas todas las piezas descritas, se procede a ensamblar el arreglo de celdas de combustible microfluídicas, colocando cada una de las piezas sobre la Base (8), en el siguiente orden:

1. Pines colectores de corriente (13) en los orificios correspondientes.
  2. Empaque de sellado de base (7a)
  3. Arreglo de ánodos microporosos (6)
  - 10 4. Arreglo de microcanales (4)
  5. Arreglo de cátodos (5)
  6. Empaque de sellado de tapa (7b)
  7. Tapa (9)
- 15 Posteriormente se debe fijar este ensamble con Tornillos (17) y colocar los Conectores plásticos (16) en los orificios de Ingreso de combustible (10) e Ingreso de oxidante (11). Colocar los Pines colectores de corriente (13) en arreglo de pares, en cada una de las perforaciones de la Base (8) y la Tapa (9)
- 20 correspondientes.

Finalmente, el proceso para la fabricación del microsistema integrado de generación, adecuación y almacenamiento de energía eléctrica, basado en un arreglo de celdas de combustible microfluídicas, supercapacitores y microelectrónica; consiste en soldar el circuito sobre la cara exterior de la Tapa (9) un elevador de voltaje tipo "Boost" (18) configurado a un

voltaje de salida de aplicación comercial (de 2.5 a 3.5 V). El diagrama del circuito y los componentes se muestran en la Figura 8.

5 En la presente invención el circuito es utilizado para la elevación del voltaje obtenido de una celda microfluidica, como se puede apreciar en la Figura 9a el voltaje de la celda es de  $0.85V \pm 15\%$ , y al acoplarlo elevador de voltaje tipo "Boost" (18) se incrementa el voltaje de salida comercial de  $2.9V \pm 5\%$ , como se muestra en la Figura 9b.

10

El invento ha sido descrito suficientemente como para que una persona con conocimientos medios en la materia pueda reproducirlo y obtener los resultados que mencionamos en la presente invención. Sin embargo, cualquier persona hábil en el campo de la técnica que compete el presente invento puede ser capaz de hacer modificaciones no descritas en la presente solicitud, no obstante, si para la aplicación de estas modificaciones en composición o proceso de manufactura del mismo, se requiere la materia reclamada en las siguientes reivindicaciones, dichas composiciones o procesos deberán ser comprendidos dentro del alcance de la presente invención.

15

20

## LISTADO DE COMPONENTES Y SUS CARACTERÍSTICAS:

- 1 Arquitectura de árbol
- 1a Microcanales de trabajo
- 1b Brazos de distribución a microcanales
- 5 1c Canal de paso
- 1d Brazos de distribución a canal de paso
- 1e Canal de entrada
- 1f Brazos colectores a puerto de salida
- 2 Puerto de entrada
- 10 3 Puerto de salida
- 4 Arreglo de microcanales
- 5 Arreglo de cátodos
- 6 Arreglo de ánodos microporosos
- 7a Empaque de sellado de base
- 15 7b Empaque de sellado de tapa
- 8 Base
- 9 Tapa
- 10 Ingreso de combustible
- 11 Ingreso de oxidante
- 20 12 Respiraderos
- 13 Pines colectores de corriente
- 14 Depuradores de CO<sub>2</sub>
- 15 Electrocatalizadores
- 16 Conectores plásticos
- 25 17 Tornillos
- 18 Elevador tipo "Boost"
- 18a Capacitor de montaje superficial (SMD) 0.1 $\mu$ F
- 18b Capacitor de montaje superficial (SMD) 10  $\mu$ F
- 18c Inductor de montaje superficial (SMD) 10  $\mu$ H
- 30 18d Circuito integrado TS3310
- 18e Resistencia de montaje superficial (SMD) 3.3 Mega Ohms
- 18f Supercapacitor 1F (BZ01 AVX Bestcap®)
- 18g Circuito impreso
- 18h Voltaje de Entrada
- 35 18i Voltaje de Salida



18 FEB 2015

**REINVINDICACIONES**

La descripción de la invención se considera como una novedad  
5 y por lo tanto se reclaman como propiedad lo contenido en las  
siguientes cláusulas:

1. Un arreglo de celdas de combustible microfluídicas sin  
membrana con respiradero que comprende un Arreglo de  
cátodos (5), un Arreglo de ánodos microporosos (6), una  
10 Base (8), un Empaque de sellado de base (7a), un Empaque  
de sellado de tapa (7b), un orificio para Ingreso de  
combustible (10), un orificio para Ingreso de oxidante (11),  
Electrocatalizadores (15) y una Tapa (9); **caracterizado** por  
tener una arquitectura de árbol.
- 15 2. Un arreglo de celdas de combustible microfluídicas sin  
membrana con respiradero de conformidad con la  
reivindicación 1, **caracterizado** por contar con Microcanales  
de trabajo (1a) en comunicación fluida por un extremo con los  
Brazos de distribución a microcanales (1b) y por el otro  
20 extremo con los Brazos colectores a puerto de salida (1f).
3. Un arreglo de celdas de combustible microfluídicas sin  
membrana con respiradero de conformidad con las  
reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado** porque en una  
modalidad preferida, los Microcanales de trabajo (1a) están  
25 en un número de cuatro.
4. Un arreglo de celdas de combustible microfluídicas sin  
membrana con respiradero de conformidad con las  
reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** por contar con al

menos cuatro pares de Electrocatalizadores (15).

5. Un arreglo de celdas de combustible microfluídicas sin membrana con respiradero de conformidad con las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque cada uno de los Brazos de distribución a microcanales (1b) está en comunicación fluida con los Canales de paso (1c), con los Brazos de distribución a canal de paso (1d), con el Canal de entrada (1e) y con el Puerto de entrada (2).
6. Un arreglo de celdas de combustible microfluídicas sin membrana con respiradero de conformidad con las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque cada uno de los Microcanales de trabajo (1a) cuentan con un respiradero (12) en la parte central.
7. Un arreglo de celdas de combustible microfluídicas sin membrana con respiradero de conformidad con las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado** porque cada uno de los Microcanales de trabajo (1a) cuentan con un Depurador de CO<sub>2</sub> (14).
8. Un arreglo de celdas de combustible microfluídicas sin membrana con respiradero de conformidad con las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado** porque cuenta con Pines colectores de corriente (13) que permiten habilitar su interconexión entre cada Microcanal de trabajo (1a).
9. Un arreglo de celdas de combustible microfluídicas sin membrana con respiradero de conformidad con las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado** porque los Microcanales de trabajo (1a) son formados por el ensamble de los Electrocatalizadores (15).
10. Un método para fabricar un microsistema integrado de generación, adecuación y almacenamiento de energía



eléctrica basado en un arreglo de celdas de combustible microfluídicas sin membrana con respiradero, de conformidad con la reivindicación 1, **caracterizado** porque comprende las etapas de:

- 5 a. Fabricación de la Base (8) y Tapa (9)
  - a.1. Colocar dos piezas de acrílico de 6 mm de espesor en el sistema de micro fresado por Control Numérico por Computadora (CNC) y precargar el diseño realizado en el programa Computer Aided Design (CAD), el programa de  
10 diseño se encarga de cortar el perímetro de las piezas, así como en la parte interior de perforar los orificios correspondientes a las ventanas en la parte central de la Base (8) para formar los Respiraderos (12), las ventanas en la Tapa (9) para formar los Depuradores de CO<sub>2</sub> (14), las  
15 perforaciones para colocar los Pines colectores de corriente (13), las perforaciones para colocar los Tornillos (17), un orificio para el Ingreso de combustible (10), un orificio para el Ingreso de oxidante (11) y un Puerto de salida (3).
  - a.2. Incorporar una máscara de resina epóxica comercial con el  
20 diseño del Circuito impreso (18) sobre la cara exterior de la Tapa (9) y depositar sobre esta pieza una película de metal conductor, tal como el oro o el cobre, mediante un sistema de pulverización catódica, conocida en inglés como metal sputtering deposition, a través de plasma de argón.
- 25 b. Preparación de los electrocatalizadores (15)
  - b.1. Preparar la tinta catalítica mezclando 7 µl de copolímero fluorado basado en tetrafluoroetileno sulfonado (Nafion®) al

5% y 73  $\mu$ l de alcohol isopropílico (J.T. Baker) por cada 1 mg de catalizador y colocar esta mezcla en un baño ultrasónico por 20 minutos.

5 b.2. Utilizar del lado del ánodo Pd/C XC-72 (20% peso/peso, E-TEK) y Pd/cubos (20% peso/peso), considerando 1 mg de Metal  $\text{cm}^{-2}$ .

b.3. Utilizar del lado del cátodo Pt/C XC-72 (30% peso/peso, E-TEK), considerando 1 mg de Metal  $\text{cm}^{-2}$ .

c. Fabricación del Arreglo de cátodos (5):

10 c.1. Acoplar cuatro láminas de mica (Fellowers®) y someter a calor a través de una enmicadora (Heatseal H425®) para obtener una sola capa.

15 c.2. Cortar el perímetro de la mica obtenida, así como las orificios de acceso a los Pines colectores de corriente, Tornillos, Depuradores de  $\text{CO}_2$  y los correspondientes a la arquitectura de árbol, mediante el uso de un software (Silhouette Studio®), el cual sirve como vectorizador e interface para el cortador 2D (Grapthec America, Inc.).

20 c.3. Incorporar la tinta catalítica directamente sobre la superficie de los cátodos mediante deposición homogénea usando un aerógrafo adaptado a un mini sistema de CNC.

d. Fabricación del arreglo de los microcanales (4):

25 d.1. Cortar el arreglo de microcanales de la LM $\mu$ FC sobre una película de polímero de silicona de 300  $\mu\text{m}$ , así como las perforaciones para permitir el contacto de los pines

colectores de corriente sobre los ~~electrodos~~, las perforaciones de los tornillos y los correspondientes a la arquitectura de árbol, mediante el uso de un software (Silhouette Studio®).

- 5 e. Fabricación del arreglo de ánodos microporosos (6):
- e.1. Utilizar papel carbón (Toray®-ElectroChem, Inc.) y cortar los canales de ingreso del anolito, las perforaciones que permiten el contacto de los pines colectores de corriente, las perforaciones de los tornillos y los correspondientes a la  
10 arquitectura de árbol, mediante el uso de un software (Silhouette Studio®) el cual sirve como vectorizador e interface para el cortador 2D (Grapthec America, Inc.).
- e.2. Incorporar la tinta catalítica directamente sobre la superficie de los ánodos mediante deposición homogénea usando un  
15 aerógrafo adaptado a un mini sistema de CNC.
- f. Preparación de los Empaques de sellado de base(7a) y de tapa (7b)
- f.1. Mezclar los epóxidos del tipo Silicona RTV de base y de curado (RTV Silicones Rubber Base® y RTV Silicones Rubber Curing Agent®) en una proporción de 9:1  
20 respectivamente.
- f.2. Secar por un día.
- f.3. Realizar los cortes del perímetro y los correspondientes a la arquitectura de árbol en interiores, mediante el uso de un  
25 software (Silhouette Studio®) el cual sirve como vectorizador e interface para el cortador 2D (Grapthec

America Inc.). En el caso del empaque de ~~sellado de base~~  
(7a) cortar además los orificios de acceso a los pines  
colectores de corriente, a los tornillos y principalmente las  
ventanas de los respiraderos; en el caso del empaque de  
5 sellado de tapa (7b) cortar además los orificios de acceso a  
los pines colectores de corriente, tornillos y depuradores de  
CO<sub>2</sub>.

g. Armado del elevador de voltaje tipo "Boost" (18)

g.1. Acoplar un primer capacitor de montaje superficial (SMD)  
10 0.1  $\mu$ F (18a), un primer capacitor de montaje superficial  
(SMD) 10  $\mu$ F (18b), el inductor de montaje superficial (SMD)  
10  $\mu$ H (18c), el circuito integrado TS3310 (18d), resistencia  
de montaje superficial (SMD) 3.3 Mega Ohms (18e), un  
segundo capacitor de montaje superficial (SMD) 0.1  $\mu$ F  
15 (18a), un segundo capacitor de montaje superficial (SMD) 10  
 $\mu$ F (18b), un supercapacitor 1F (BZ01 AVX Bestcap®) (18f) y  
el circuito impreso (18g).

g.2. Configurar a un voltaje de salida (18i) a un valor de  
aplicación comercial (de 2.5 a 3.5 V).

20 h. Ensamblar el arreglo de celdas de combustible microfluidicas,  
colocando cada una de las piezas sobre la Base (8), en el  
siguiente orden:

h.1. Pines colectores de corriente (13) en los orificios  
correspondientes.

25 h.2. Empaque de sellado de base (7a)

h.3. Arreglo de ánodos microporosos (6)

- h.4. Arreglo de microcanales (4)
- h.5. Arreglo de cátodos (5)
- h.6. Empaque de sellado de tapa (7b)
- h.7. Tapa (9)
- 5 i. Fijar este ensamble con Tornillos (17) y colocar los  
Conectores plásticos (16) en los orificios de Ingreso de  
combustible (10) e Ingreso de oxidante (11). Colocar los  
Pines colectores de corriente (13) en arreglo de pares, en  
cada una de las perforaciones de la Base (8) y la Tapa (9)  
10 correspondientes.
- j. Soldar sobre la cara exterior de la Tapa (9) un elevador de  
voltaje tipo "Boost" (18) configurado a un voltaje de salida de  
aplicación comercial (de 2.5 a 3.5 V).

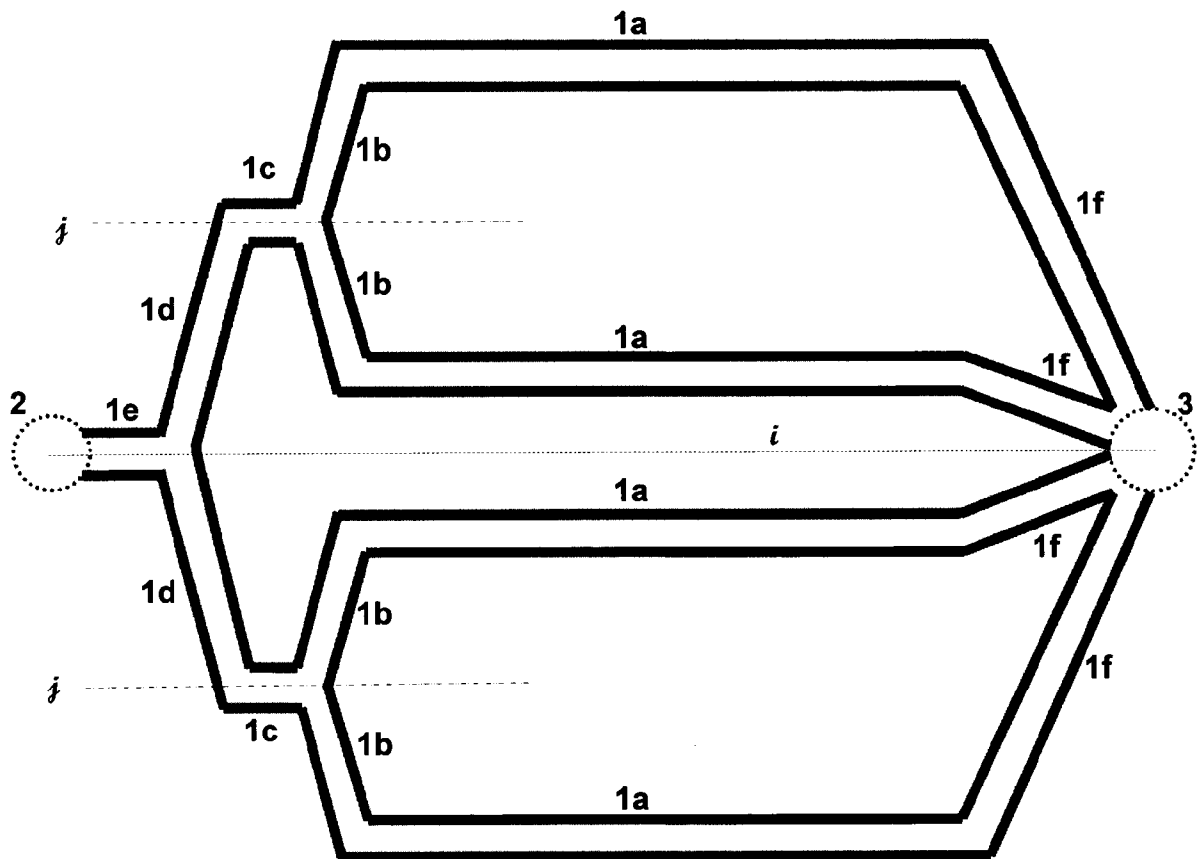
18 FEB. 2015

*[Faint signature or stamp]*

## RESUMEN DE LA INVENCION

La presente invención trata de un microdispositivo integrado que incluye tres componentes esenciales: un arreglo de celdas de combustible microfluídicas sin membrana, un medio de almacenamiento de energía basado en supercapacitores y una interfaz microelectrónica para su acoplamiento a dispositivos electrónicos comerciales de bajo consumo. La celda de combustible microfluídica funciona como el elemento generador de la energía, este dispositivo convierte la energía química del combustible líquido en energía eléctrica, es una sistema de generación estable, ya que mientras exista un ingreso constante de combustible, la celda proporcionará energía; es limpio ya que los productos de la reacción de acuerdo con el combustible que se ingrese será agua y CO<sub>2</sub>; al ser un dispositivo sin membrana el diseño permite miniaturizar el dispositivo a una escala que compita con las actuales baterías ion-Litio. La interfaz microelectrónica tiene la función de regular y adecuar la señal eléctrica proveniente de la celda microfluídica para alimentar un dispositivo electrónico de bajo consumo. Finalmente, el medio de almacenamiento es un supercapacitor el cual tiene la virtud de almacenar una cantidad importante de energía en un volumen reducido. Estos tres componentes han sido diseñados para que cada uno de sus procesos (generación, adecuación y almacenamiento) puedan ser incorporados en un solo dispositivo, esto es conocido como tecnología LOC (Lab on a Chip). Se han utilizado técnicas de micromaquinado, sputtering y microelectrónica, propiedades por las cuales se ha logrado un nivel de miniaturización competitivo con algunas baterías de última generación.

**Figura 1**

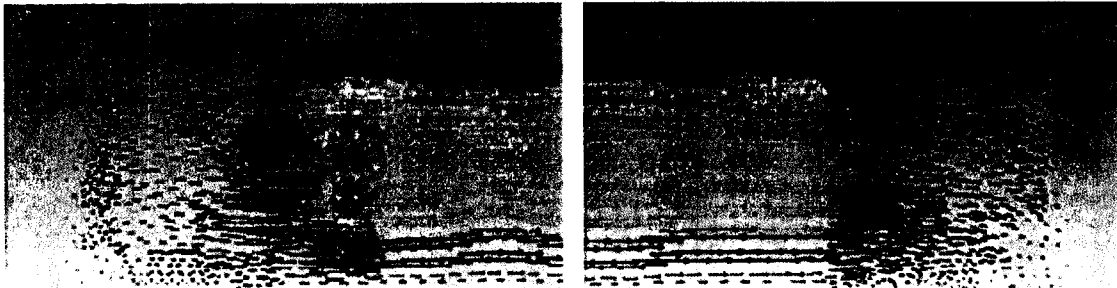


SE  
SECRETARÍA  
DE ECONOMÍA

29 AGO. 2014

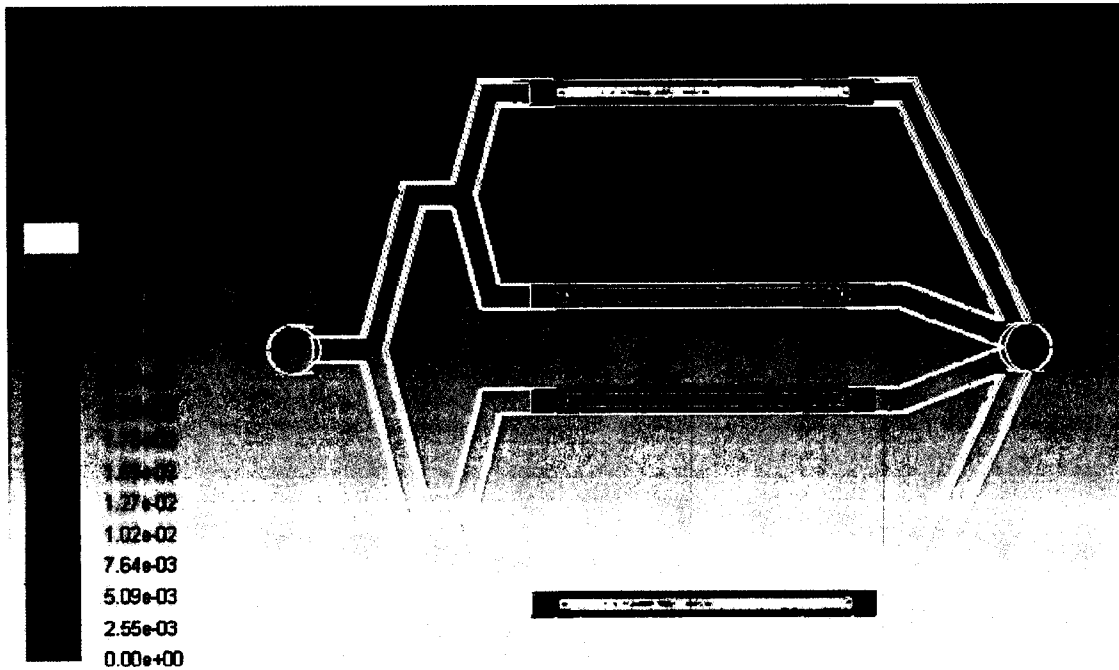
**RECIBIDO**  
QUERÉTARO

**Figura 2**



**2a  
(A)**

**2b  
(B)**



**2c**

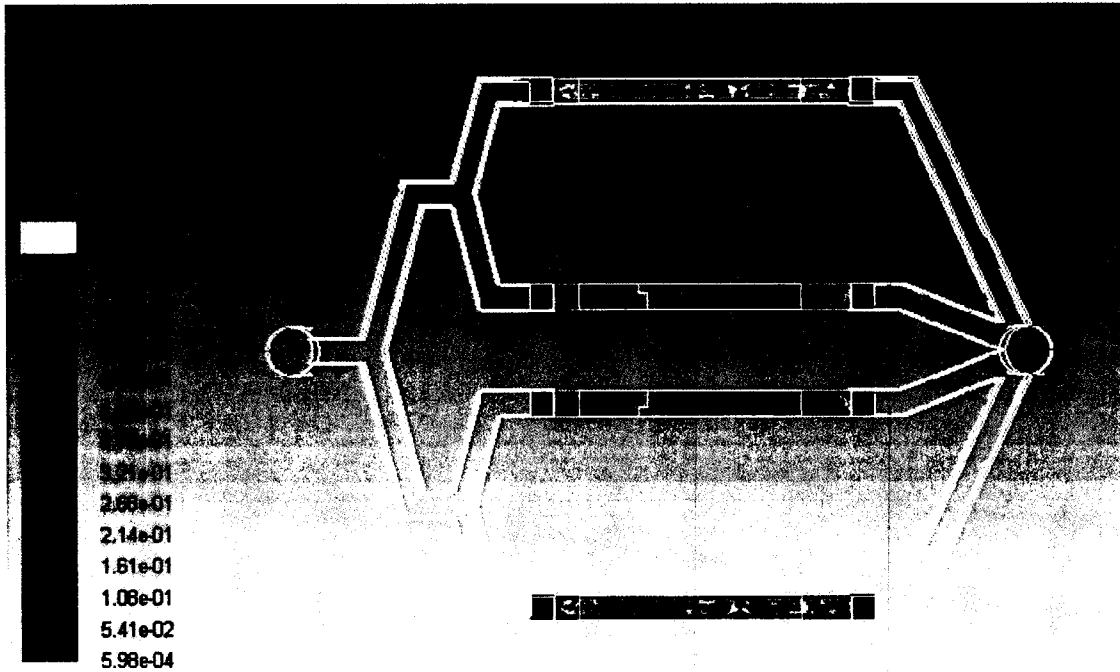
SE  
SECRETARÍA  
DE ECONOMÍA

29 AGO. 2014

**RECIBIDO**  
QUERÉTARO



Figura 3



SE  
SECRETARÍA  
DE ECONOMÍA

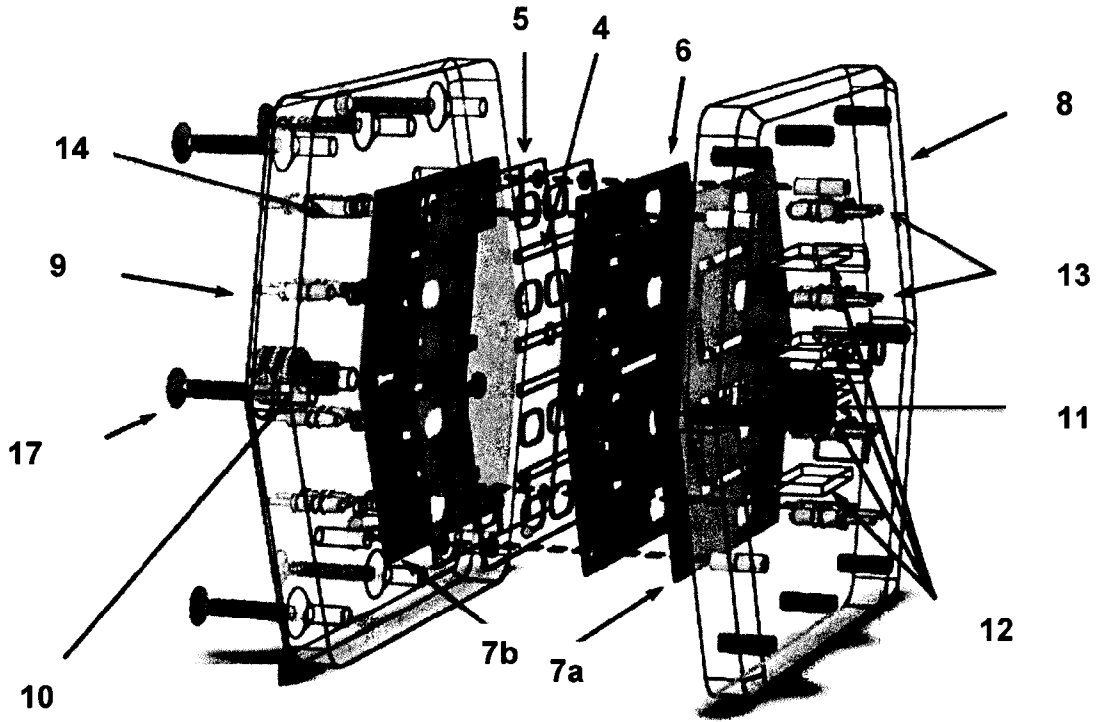
29 AGO. 2014

**RECIBIDO**  
QUERÉTARO

Figura 4



Figura 5

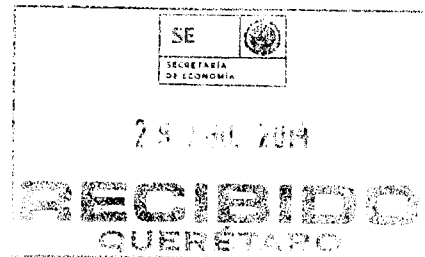
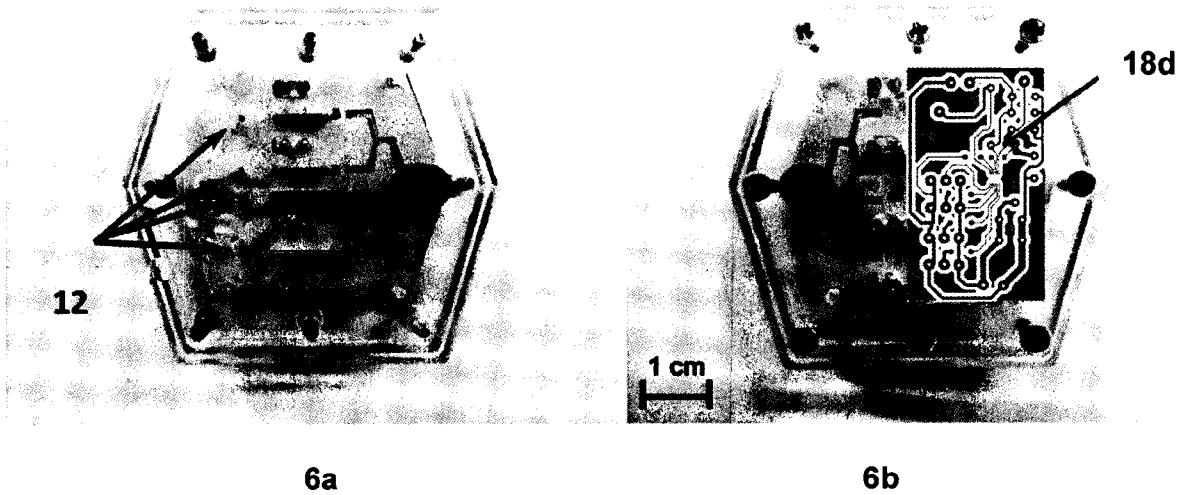


SE  
SECRETARÍA  
DE ECONOMÍA

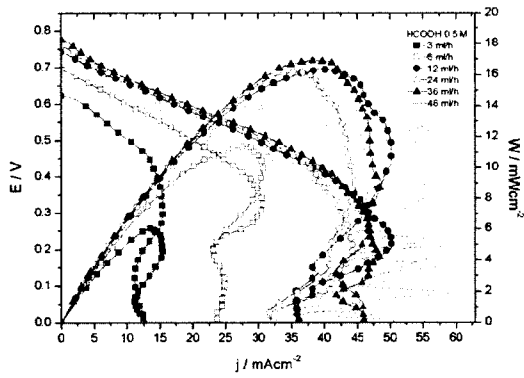
29 ABO. 2014

RECIBIDO  
QUERÉTARO

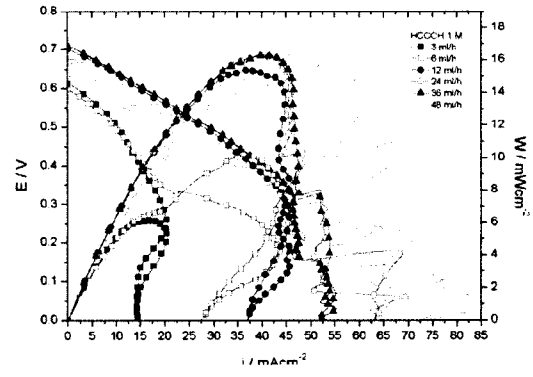
**Figura 6**



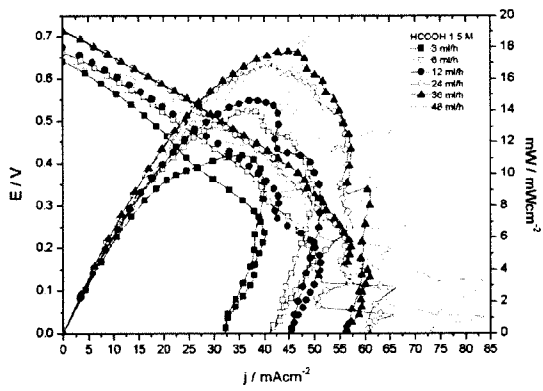
**Figura 7**



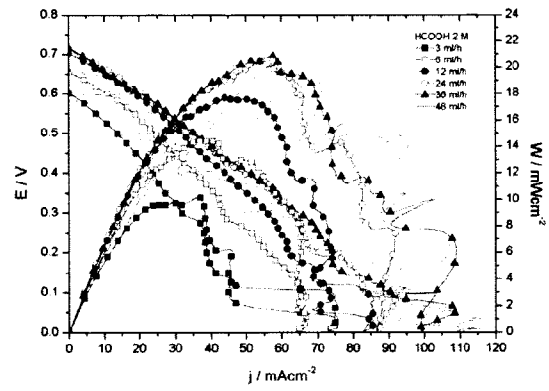
**7a**



**7b**



**7c**



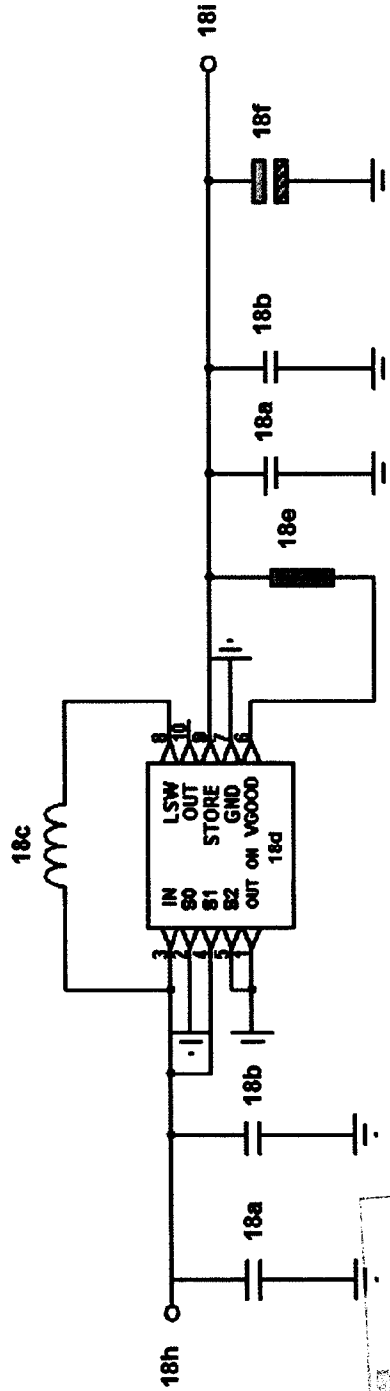
**7d**

SE  
 SECRETARÍA  
 DE ECONOMÍA

29 ABO. 2014

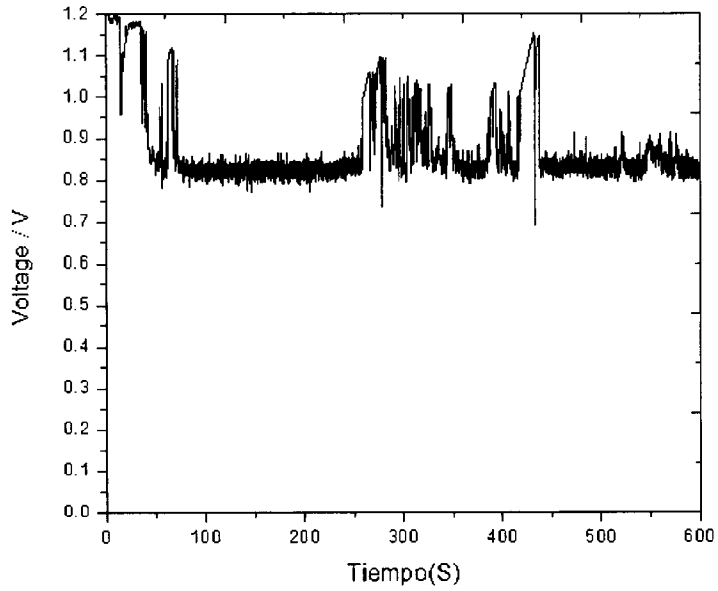
**RECIBIDO**  
 QUERÉTARO

Figura 8

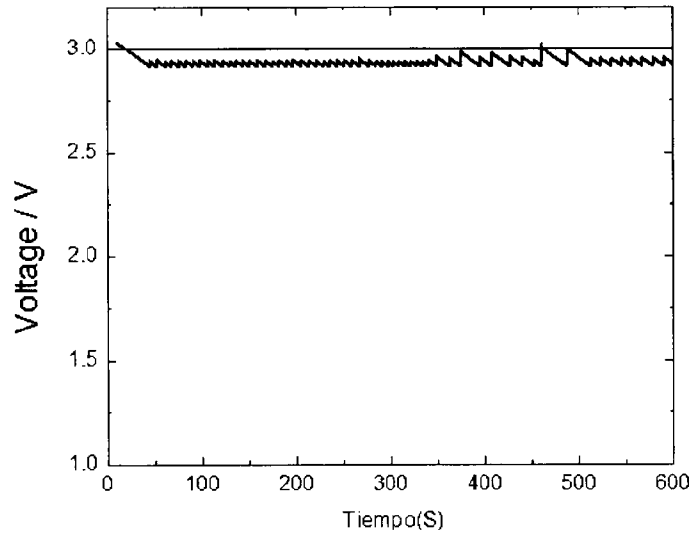


SE  
SECRETARÍA  
DE ECONOMÍA  
29 ABL 2014  
**RECIBIDO**  
QUERÉTARO

**Figura 9**



**9a**



**9b**

