



(11) **MX 2015009108 A**

(12)

SOLICITUD de PATENTE

(43) Fecha de publicación: **09/01/2017** (51) Int. Cl: **H01M 4/88** (2006.01)
H01M 6/00 (2006.01)
(22) Fecha de presentación: **08/07/2015**
(21) Número de solicitud: **2015009108** **H01M 8/00** (2006.01)

(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):
**LUIS GERARDO ARRIAGA HURTADO
Parque Tecnológico Querétaro S/N PEDRO
ESCOBEDO Queretaro 76703 MX
ABRAHAM ULISES CHAVEZ RAMIREZ
JANET LEDESMA GARCÍA
ALONSO MORENO SURIA
WALTER NOÉ VELÁZQUEZ ARJONA
RAÚL ANTONIO JIMÉNEZ GONZÁLEZ
EUTH ORTIZ ORTEGA**

(74) Representante:
**CLAUDIA RÍOS ÁLVAREZ
Camino a los Olvera No.44 Corregidora Queretaro
76904 MX**

(54) Título: **CELDA DE COMBUSTIBLE NANOFLÚIDICA SIN MEMBRANA FABRICADA A PARTIR DE PAPEL ADHESIVO CON DISEÑO COMPACTO, LIVIANO, FLEXIBLE, RE-ENSAMBLABLE Y DE FÁCIL OPERACIÓN.**

(54) Title: **MEMBRANE-LESS NANOFLUIDIC FUEL CELL MANUFACTURED FROM ADHESIVE PAPER WITH A COMPACT, LIGHT, FLEXIBLE, RE-ASSEMBLABLE AND EASILY OPERATED DESIGN.**

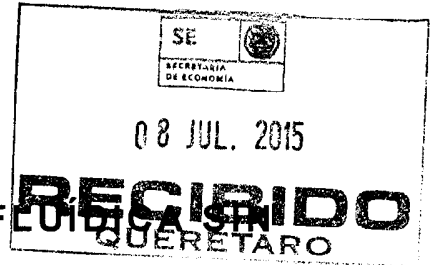
(57) Resumen

La presente invención resuelve el problema de la estructura rígida en las celdas de combustible, al utilizar una geometría que permite el paso de las especies a través de estructuras nanoporosas flexibles y que convergen a un microcanal el cual no requiere de mantener geometría específica. El uso de materiales flexibles basados en el papel permite reducir significativamente las dimensiones del dispositivo, así como conferirle propiedades de flexibilidad y ligereza. Asimismo, al no requerir de una interface bien definida de contacto entre las especies a lo largo del microcanal, la operación del dispositivo se simplifica al prescindir de un control de flujos. Al utilizar materiales como el papel adhesivo permite prescindir de los elementos de sujeción y en consecuencia simplificar significativamente su proceso de ensamble en un número definido de ocasiones permitiendo intercambiar componentes para su mantener su óptimo desempeño. Finalmente éste dispositivo tiene un diseño modular que permite la interconexión sencilla con demás unidades, permitiendo conformar arreglos que proveen de mayor entrega de energía.

(57) Abstract

The present invention solves the problem of rigid structures in fuel cells, upon using a geometry that allows the species to pass through flexible nanoporous structures, which converge in a microchannel that does not require a specific geometry. The use of flexible materials based on paper allows the size of the structure to be substantially reduced, also conferring the same properties of flexibility and lightness. In addition, the invention does not require a well-defined contact interface between the species along the microchannel, thus the operation of the device being simplified upon not requiring a flow control. The use of materials, such as adhesive paper, eliminates the use of fastening elements, therefore simplifying the assembling process in a substantial manner in a defined number of occasions, thus allowing components to be

exchanged for its optimum development. Finally, this device has a modular design that allows further units to be easily interconnected, forming arrangements for providing more delivered energy.



**CELDA DE COMBUSTIBLE NANOF
MEMBRANA FABRICADA A PARTIR DE PAPEL
ADHESIVO CON DISEÑO COMPACTO, LIVIANO,
FLEXIBLE, RE-ENSAMBLABLE Y DE FÁCIL
OPERACIÓN**

5

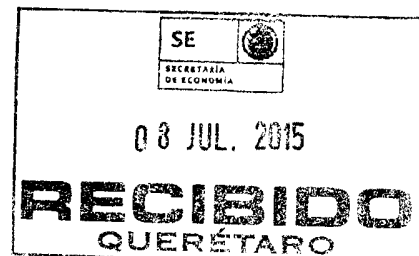
CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION

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 nanofluídicas sin membrana y en particular aquellas que utilizan combustibles líquidos como ácido fórmico y/o glucosa.

Asimismo, la presente invención se refiere al diseño de una nueva arquitectura de una celda de combustible nanofluídica de diseño compacto y fabricación a base de papel adhesivo que le confiere propiedades de flexibilidad, liviandad y facilidad en el proceso de ensamble.

Otro aspecto de la presente invención se refiere al modo de operación de la nanocelda el cual se basa en el paso de las disoluciones reactantes a través de electrodos de estructura nanoporosa para converger en un microcanal, esta arquitectura le permite al dispositivo entregar energía de forma estable independientemente de la relación de flujo de las especies combustible y oxidante.

25



OBJETIVOS DE LA INVENCION

El primer objetivo de la presente invención es proveer un medio de generación de energía compacto, delgado, flexible y liviano.

5 El segundo objetivo de la presente invención es proveer un nuevo diseño que mejore la eficiencia de conversión energética al incorporar electrodos nanoporosos que incrementan el área de contacto con las especies reactantes, con lo cual se promueven las entregas de energía superiores a 100 mW cm^{-2}

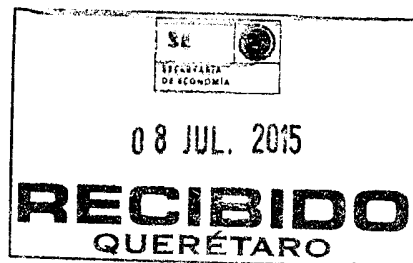
10 El tercer objetivo de la presente invención es simplificar el proceso de ensamble, y el reproceso cuando así sea requerido, asegurando la hermeticidad de la celda.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15 El concepto de celdas de combustibles sin membrana que operan a través del uso de combustibles líquidos y agentes oxidantes líquidos conducidos por una diferencia de presión en régimen laminar ha sido propuesto desde el año 2002 según señalan N. Djilali, D. Sinton E. Kjeang, en "Microfluidic fuel cells: A review," Journal of Power Sources, vol. 186, (2009). Por otro lado, en el

20 trabajo elaborado por E. Kjeang, R. Michel, D. A. Harrington, N. Djilali, y D. Sinton "A microfluidic fuel cell with flow-through porous electrodes" Journal of American Chemistry Society, vol. 130 (2008) se indica que el uso de materiales microporosos puede incrementar la potencia y eficiencia ya que los microporos actúan

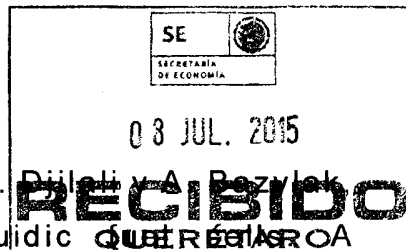
25 como canales microfluídicos por donde fluyen el combustible y el



oxidante, denominándose a este tipo de sistemas como celdas de combustible microfluídicas de flujo entre los electrodos.

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 μ FC).

N. Djilali, D. Sinton E. Kjeang, en "Microfluidic fuel cells: A review," *Journal of Power Sources*, vol. 186, (2009); señalan 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 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 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).

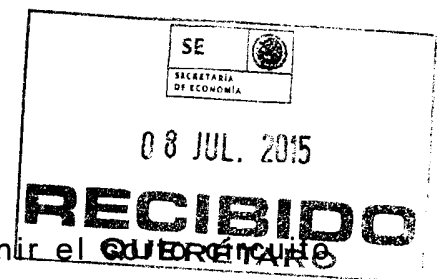


Sobre la base de este concepto, D. Sinton, N. Djilali y A. Bozlik, en "Improved fuel utilization in microfluidic computational study," Journal of Power Sources, (2005); señalan que la invención de la celda de combustible microfluídica fue un importante paso adelante en el desarrollo de las celdas de combustible en miniatura.

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 μ FC. Posteriormente diseñaron y construyeron el dispositivo con una Geometría-Y, empleando Ácido Fórmico (HCOOH) como combustible, y como oxidante utilizaron Oxígeno (O₂) y Permanganato de Potasio (KMnO₄).

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 H₂SO₄. 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.

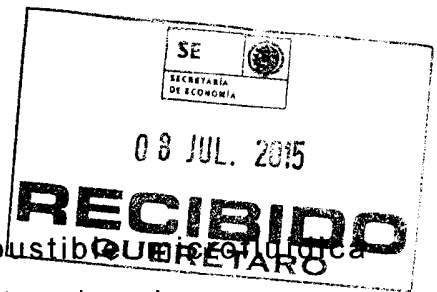
El control del mezclado de las corrientes se puede realizar por modificaciones en la anchura del canal y en las velocidades de los flujos; así como en la disposición de los electrodos en las paredes, fondo o tapa de la LM μ FC de modo que no se localicen



en la zona de interfaz líquido-líquido y prevenir el crossover 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.

Con respecto al modelado de las LM μ 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 μ 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 μ 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 μ FC.

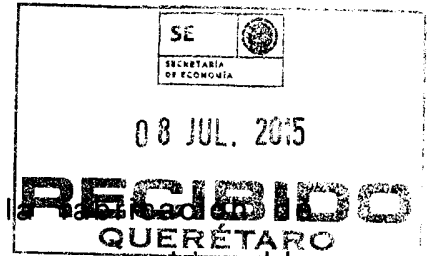


Como ya se conoce, las celdas de combustible microfluídica utilizan con frecuencia el ácido fórmico, metanol y glucosa como combustible. En el lado del oxidante, en general el oxígeno se incorpora en el flujo por burbujeo en el electrolito, o bien, obtienen el oxígeno directamente del aire, denominándose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

Los documentos de patente US2013341188-A1 y WO2013189973-A1 describen una celda combustible que comprende al menos un canal de microfluidos, acopladas a una región absorbente, una zona catódica y una zona anódica; que a diferencia de la presente invención emplea un flujo capilar a través de superficies absorbentes en base a papel que al saturarse de las soluciones combustible y oxidante limitan su vida útil y son desechables.

En el documento de patente CN103199294-A, se describe una celda combustible con las siguientes características, que posee canal microfluídico construido en la superficie de un vidrio conductor y los electrodos se sitúan en las caras externas del canal, la cual se diferencia de la presente invención en que posee geometría de canal en "F", con una estructura rígida y el ensamble es irreversible, una vez sellado el dispositivo no puede ser reutilizado.

En los documentos de patente EP1779455A2, US7709134B2 se describen un sistemas portátiles basados en cartuchos de liberación de combustible de alimentación para celdas de combustible, que a diferencia de la presente invención son fuentes de suministro de combustible y no dispositivos de conversión de energía.



En el documento CN1981404A se refiere a ánodos enzimáticos y cátodos organometálicos para una bicelda de combustible microfluídica multicanal construida sobre un sustrato de vidrio, el cual le confiere una estructura rígida

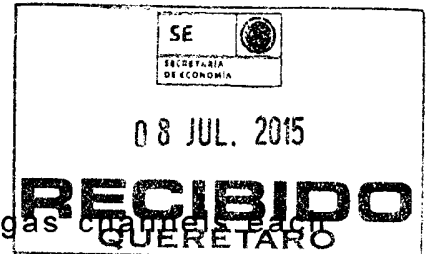
5 En los documentos de patente WO2014186517, WO2006068279, WO2006070929, US20140322617A1, US20140342247A1, US7976968, US8137860, EP1840993, EP1852928, KR1245419, KR1261074, CN101107738A describen celdas combustible flexibles; sin embargo, a diferencia de la presente invención, aún
10 incluye una membrana dispuesta entre el ánodo y el cátodo para hacer una separación física de los mismos.

En el documento de patente US20080213631A1 se describe una celda combustible flexible para uso en aplicaciones de baja potencia (menos de un vatio), en donde la diferencia respecto a
15 la presente invención, precisamente se relaciona con esta baja entrega de energía,

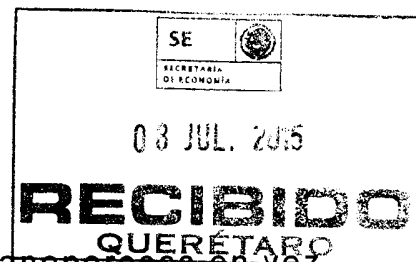
En el documento de patente CA2621658C se describe una celda combustible flexible microbiana, que además de incluir membrana, su diseño es específico para el uso de glucosa como
20 combustible.

El documento de patente CN103199294 describe una celda combustible fotocatalítica sin membrana con auto-respiración, que incluye un vidrio conductor, con cátodo de plomo conectado con el tubo de descarga del líquido residual, y dióxido de titanio
25 semiconductor.

Se revisaron otros trabajos como los descritos en los documentos de patente WO2011010961-A1 "Membrane-less fuel cell used as



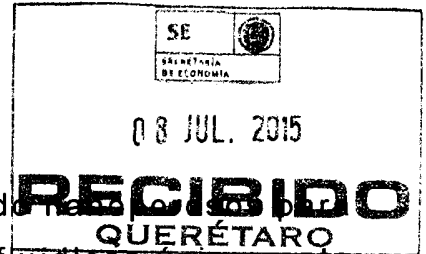
a power source, comprises fuel and oxidizer gas channel, each
comprises serially connected sub-cells, each sub-cell having
different configuration to compensate for consumption of fuel
gas"; el referido en los documentos de patente US2010196800-
5 A1, EP2237355, y US8163429-B2 "Fuel cell for e.g. laptops
comprises anode with anode catalyst, cathode having gas
diffusion electrode having cathode catalyst, microfluidic channel
contiguous with anode, and liquid comprising fuel in specific
concentration in channel"; el descrito en los documentos de
10 patente US2009023036-A1 y US7968248-B2 "Fuel cell system
that includes an electrode pair assembly comprises a porous flow-
through anode; a porous flow-by cathode confronting and spaced
apart from the anode; and a central plenum interposed between
the anode and the cathode"; el referido como US2009092882-A1
15 cuyo título es "Fuel cell e.g. microfluidic vanadium redox fuel cell
for use with liquid reactants, has inlets that are provided to direct
flow of liquid reactant through porous electrode and outlet"; los
trabajos del documento de patente US2009035644-A1 titulado
"Fuel cell for power supply device for electronic device, includes
20 anode with anode catalyst and in convective contact with fuel,
cathode comprising gas diffusion electrode and cathode catalyst,
and microfluidic channel contiguous with anode"; por último, en
los documentos de patente US2008248343-A1, WO2008122042-
A1 y EP2143162-A1 con título "Fuel cell useful in fuel cell stack,
25 power supply device and electronic device comprises anode,
cathode, microfluidic channel contiguous with at least one of
anode and cathode, and single flowing electrolyte". La
característica común en todos estos trabajos es que emplean al
menos un electrodo donde el combustible u oxidante fluyen a
30 través de él.



Por otro lado, cuando se emplean electrodos nanoporosos en vez de electrodos microporosos se les denomina a estos dispositivos celdas de combustible nanofluídicas de acuerdo a lo mencionado por J. W. Lee y E. Kjeang en “Nanofluidic fuel cell” Journal of Power Sources, vol. 243 (2013).

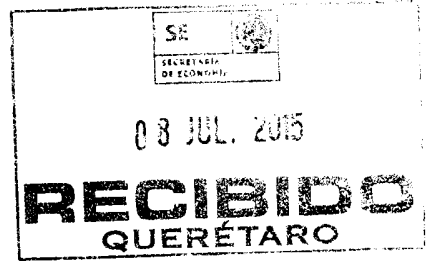
En el documento realizado por E. Ortiz-Ortega, M.-A. Goulet, J. W. Lee, M. Guerra-Balcázar, N. Arjona, E. Kjeang, J. Ledesma-García y L. G. Arriaga en “A nanofluidic direct formic acid fuel cell with a combined flow-through and air-breathing electrode for high performance” Lab on a Chip, vol. 14 (2014) se concluyó que el uso de electrodos nanoporosos resulta en un incremento del área superficial en comparación con electrodos microporosos. Este incremento del área tiene como resultado un incremento en la potencia del dispositivo. Además de emplear placas de acrílico y tornillos para sellar el sistema y a su vez, evitar fugas debido a que el combustible y el oxidante son utilizados en forma líquida.

El concepto de hacer fluir tanto el oxidante como el combustible a través de electrodos nanoporosos ha sido empleado por E. Keang “Nanofluidic fuel cell” Journal of Power Sources, vol. 243 (2013); E. Ortiz-Ortega. “A nanofluidic direct formic acid fuel cell with a combined flow-through and air-breathing electrode for high performance” Lab on a Chip, vol. 14 (2014) y J. Maya-Cornejo en “Copper-palladium core-shell as an anode in a multi-fuel membraneless nanofluidic fuel cell: toward a new era of small energy conversion devices” Chemical Communications, vol. 51 (2015).



E. Keang ha utilizado el concepto de electrodos para la construcción de celdas de combustible nanofluidicas unicamente para su uso en baterías de flujo empleando vanadio como especies de reacción. La celda propuesta por E. Keang en 5 "Nanofluidic fuel cell" Journal of Power Sources, vol. 243 (2013) consiste en emplear la técnica de fotolitografía UV para diseñar la máscara micrométrica hecha de polidimetilsiloxano donde se fijaran los electrodos nanoporosos y un portaobjetos de vidrio como material rígido para el sellado de la celda. El sellado del 10 sistema para evitar fugas se realiza mediante ataque químico por plasma realizado a la máscara de polidimetilsiloxano y el portaobjetos de vidrio. La celda nanofluidica propuesta por E. Ortiz-Ortega y J. Maya-Cornejo consiste en el desarrollo de placas de acrílico como material rígido de sellado mediante 15 control numérico computacional. Utilizan electrodos nanoporosos y una película polimérica hecha de sellador de silicona marca Silastic® la cual funge como patrón donde se fijan los electrodos y como material de sellado del dispositivo. Además, E. Ortiz-Ortega y colaboradores emplean tornillos para evitar fugas tanto 20 del combustible como del oxidante.

Existen otros estudios y desarrollos similares como los descritos en los documentos de patente CN101084364, CN101635360, EP1812687, JP2008521209, KR1409385, KR2007089941, KR2012088240, US2006003217, US2011014546, US2012070766, 25 US2012219869, US7435503, US8795906, WO2006031268, WO2006104522, WO2009018213, WO2010148198, WO2012039977 y WO2012154276; sin embargo ninguno de ellos resuelve el problema técnico que propone la presente invención.

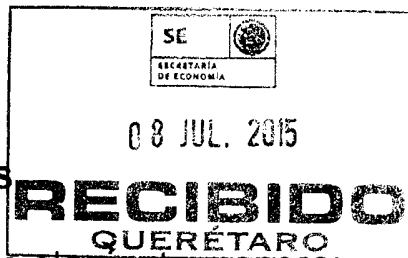


PROBLEMA TÉCNICO A RESOLVER

Con base en lo descrito, existen ya tecnologías que aplican al desarrollo propuesto; sin embargo, estas tecnologías aún no resuelven el problema de proveer un sistema flexible, que tenga
5 entregas de energía superiores a 100 mW cm^{-2} y que pueda re-ensamblarse permitiendo reducir el scrap y prolongar la vida útil.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

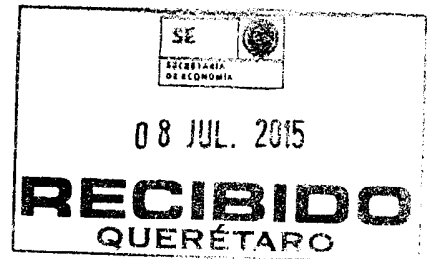
El presente trabajo resuelve el problema de la estructura rígida
10 al utilizar una geometría que permite el paso de las especies a través de estructuras nanoporosas flexibles y que convergen a un microcanal el cual no requiere de mantener geometría específica. El uso de materiales flexibles basados en papel permite reducir significativamente las dimensiones del dispositivo, así como
15 conferirle propiedades de flexibilidad y ligereza. Asimismo, al no requerir de una interface bien definida de contacto entre las especies a lo largo del microcanal, la operación del dispositivo se simplifica al prescindir de un control de flujos. Al utilizar materiales como el papel adhesivo permite prescindir de los
20 elementos de sujeción y en consecuencia simplificar significativamente su proceso de ensamble en un número definido de ocasiones permitiendo intercambiar componentes para su mantener su óptimo desempeño. Finalmente éste dispositivo tiene un diseño modular que permite la interconexión sencilla con
25 demás unidades, permitiendo conformar arreglos que proveen de mayor entrega de energía.



BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

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

- Figura 1. Vista superior de la celda combustible, en donde:
 - (a) Tapa de papel adhesivo
 - 5 (a¹) Respiradero de O₂
- Figura 2. Vista interior de la celda combustible sin película de silicona, en donde:
 - (a') Vista posterior
 - (b) Colectores de corriente
 - 10 (c) Electrodo nanoporoso
 - (c¹) Ánodo
 - (c²) Cátodo
- Figura 3. Vista interior de la celda combustible con película de silicona, en donde:
 - 15 (a') Vista posterior
 - (d) Empaque y/o microcanal de silicón
- Figura 4. Vista inferior de la celda combustible, en donde:
 - (e) Base de papel adhesivo
 - (e¹) Entrada de combustible
 - 20 (e²) Entrada de oxidante
 - (e³) Salida de productos



DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

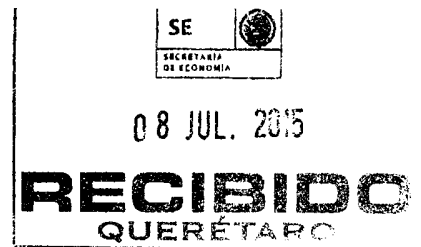
La presente invención consiste en la construcción de una celda de combustible nanofluidica sin membrana fabricada a partir de papel adhesivo con diseño compacto, liviano, flexible, re-
5 ensamblable y de fácil operación. Para la construcción de la celda se utilizan flexibles en base de papel adhesivo y películas de silicón.

Esta celda comprende una tapa de papel adhesivo (a) con ventana de respiración (a¹); un ánodo nanoporoso (c¹), un cátodo nanoporoso (c²), un microcanal grabado en máscara de silicón (d), una base de papel adhesivo (e) con un orificio para Ingreso de combustible (e¹), un orificio para ingreso del oxidante (e²) y un orificio para la salida de productos (e³).
10

Adicionalmente, cuenta con un microcanal central de trabajo (d) en contacto con los electrodos nanoporosos, cuya alimentación se lleva a cabo por las caras externas de cada electrodo (e¹ y e²) y por el final del canal con un puerto de salida (e³). En el cátodo (c²) cuenta con una ventana de respiración (a¹) en la parte superior.
15
20

Asimismo, cuenta con dos colectores de corriente/contactos eléctricos que permiten habilitar su interconexión con otras unidades (b), la cual puede realizarse en forma serial y paralela a través del contacto entre las placas colectoras de corriente (b).

Al probarse diferentes diseños, se comprobó que el diseño octagonal de esta celda de combustible nanofluidica sin
25



membrana evita la formación de burbujas de CO_2 , lo que permite incrementar las entregas de energía por encima de los 100 mW cm^{-2} , haciéndola ya útil para las aplicaciones comunes. El diseño del microcanal está trazado en película de silicona (Silastic®, Dow
5 Corning). Asimismo, la estructura final obtenida en esta celda de combustible nanofluídica sin membrana es flexible, compacta y delgada.

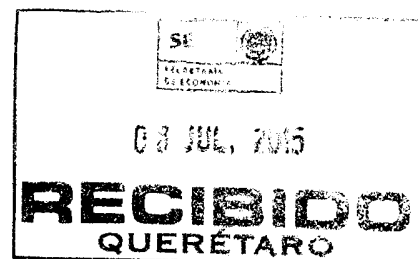
Para la fabricación de esta celda de combustible nanofluídicas sin membrana, se llevan a cabo las siguientes etapas:

10 a. Fabricación Tapa y Base de papel adhesivo

a.1. Colocar papel adhesivo (ARcare® 8259, Adhesives Research, 200- μm de grosor) en un plotter de corte mediante el uso de un software (Silhouette Studio®), el cual sirve como vectorizador e interface para el cortador 2D (Graphtec America, Inc.) para fabricar dos piezas (a) y (e) con
15 dimensiones de $20 \times 30 \text{ mm}$, la pieza (a) contiene un respiradero (a^1) de $1.8 \times 14.8 \text{ mm}$ con el propósito de tomar el O_2 presente en el aire donde su concentración aumenta de 2 mM hasta 10 mM y su constante de difusividad de $2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ a $0.2 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ comparada con la que presenta el O_2
20 disuelto, por otra parte, la pieza (e) contiene dos alimentaciones (e^1 y e^2) que permite la entrada de los reactivos y una salida de los productos obtenidos de las reacciones electroquímicas (e^2) todas con un diámetro de
25 1.2 mm .

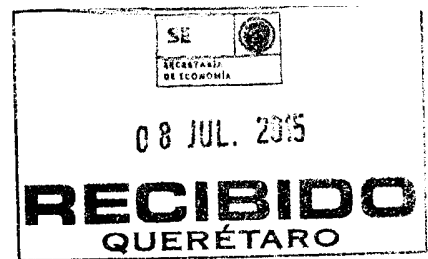
b. Fabricación del microcanal (d):

b.1. Cortar el diseño del microcanal sobre película de silicona



verde (Silastic[®], Dow Corning, preparada usando un filmógrafo Elcometer[®] Film Applicator con un grosor de 600 μm) mediante el uso de un software (Silhouette Studio[®]) el cual sirve como vectorizador e interface para el cortador 2D (Graphtec America, Inc.). El microcanal sirve como sello impidiendo que las corrientes líquidas permeen hacia sitios no deseado, al mismo tiempo, sirve como canal dirigiendo los reactivos hacia los electrodos y los productos hacia la salida; el canal tiene forma de octágono con las siguientes dimensiones: 2 lados de 2.2mm, 4 lados de 8.5mm y 2 lados 7mm, esta configuración permite una distribución más homogénea de los reactivos hacia los electrodos

- c. Fabricación de colectores de corriente (b):
 - c.1. Cortar a manualmente papel aluminio comercial (Alumark 50) con dimensiones alrededor de los 2x10.5 mm.
- d. Fabricación electrodos nanoporosos (c).
 - d.1. Cortar manualmente carbón comercial nanofoam (Marketech Inc., área superficial $450 \text{ m}^2\text{gr}^{-1}$) con dimensiones alrededor de los 2x15 mm
- e. Preparación de los electrocatalizadores
 - e.1. Preparar la tinta catalítica mezclando 14 μl de copolímero fluorado basado en tetrafluoroetileno sulfonado (Nafion[®]) al 5% y 120 μl de alcohol isopropílico (J.T. Baker) por cada 1 mg de catalizador y colocar esta mezcla en un baño ultrasónico por 20 minutos.
 - e.2. Utilizar del lado del ánodo Pd/C XC-72 (20% peso/peso, E-



TEK), considerando 1 mg de Metal cm^{-2} .

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

f. Depósito de la tinta catalítica

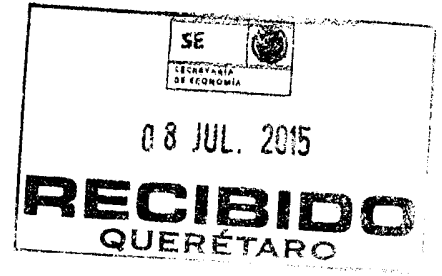
5 f.1. Incorporar la tinta catalítica directamente sobre la superficie de los electrodos porosos (ánodo y cátodo) mediante deposición homogénea usando un aerógrafo hasta obtener un carga total de catalizador de 0.6 mg.

g. Proceso de ensamble de la celda de combustible nanofluídica

10 g.1. De la parte posterior de la pieza (a) se retira la cubierta plástico para dejar expuesta la parte adhesiva y sobre la parte superior tanto izquierda como derecha se colocan las piezas (b) a una distancia de separación entre ellas de alrededor de 3 mm, a esa misma distancia y de manera paralela, sobre las
15 piezas (a) y (b) se colocan las piezas (c), posteriormente se coloca la pieza (d) de tal manera que se adhiera uniformemente sobre la pieza (a), por último se retira la cubierta de plástico de la parte posterior de la pieza (e) y se coloca presionando para quedar adherida uniformemente
20 sobre la pieza (d) sin hacer contacto con la pieza (a).

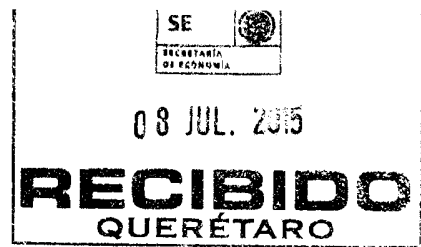
Finalmente el método de operación de esta celda de combustible nanofluídica consiste en la inyección a bajo nivel de flujo de operación contenido en el rango de 0.1 a 1.0 mL/h de las especies combustible/oxidante a través de jeringas controladas
25 por una bomba electrónica, de esta manera se pueden obtener entregas de energía superiores a 100 mW cm^{-2} .

REINVINDICACIONES

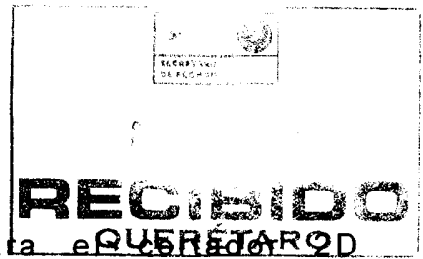


La descripción de la invención se considera como una novedad y por lo tanto se reclaman como propiedad lo contenido en las
5 siguientes cláusulas:

1. Una celda de combustible nanofluídica sin membrana **caracterizada** porque comprende una tapa de papel adhesivo (a) con ventana de respiración (a¹); un ánodo nanoporoso (c¹), un cátodo nanoporoso (c²), un microcanal grabado en máscara de silicón (d), una base de papel adhesivo (e) con un orificio para Ingreso de combustible (e¹), un orificio para ingreso del oxidante (e²) y un orificio para la salida de productos (e³).
10
2. Una celda de combustible nanofluídica sin membrana de conformidad con la reivindicación 1, **caracterizada** por tener una arquitectura octagonal.
15
3. Una celda de combustible nanofluídicas sin membrana con de conformidad con las reivindicaciones 1 y 2, **caracterizada** por contar con un microcanal central de trabajo (d) en contacto con los electrodos nanoporosos, cuya alimentación se lleva a cabo por las caras externas de cada electrodo (e¹ y e²) y por el final del canal con un puerto de salida (e³).
20
4. Una celda de combustible nanofluídicas sin membrana de conformidad con las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada** por el empleo de materiales flexibles en base de papel adhesivo y películas de silicón.
25
5. Una celda de combustible nanofluídica sin membrana de conformidad con las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizada** porque cuenta con dos colectores de corriente/contactos



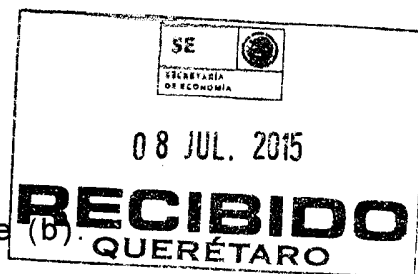
- eléctricos que permiten habilitar su interconexión con otras unidades (b).
6. Una celda de combustible nanofluídica sin membrana de conformidad con las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizada** por un diseño de microcanal trazado en película de silicona (Silastic®, Dow Corning).
 7. Una celda de combustible nanofluídica sin membrana de conformidad con las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizada** porque el cátodo (c²) cuenta con una ventana de respiración (a¹) en la parte superior.
 8. Un diseño de celda de combustible nanofluídica sin membrana de conformidad con las reivindicaciones 1 a 7 **caracterizada** por permitir la interconexión entre más unidades en forma serial y paralela a través del contacto entre las placas colectoras de corriente (b).
 9. Un método de operación de la celda de combustible nanofluídica de conformidad con las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado** por la inyección a bajo nivel de flujo de operación contenido en el rango de 0.1 a 1 mL/h de las especies combustible/oxidante a través de jeringas controladas por una bomba electrónica.
 10. Un método para fabricar celda de combustible nanofluídicas sin membrana, de conformidad con la reivindicación 1, **caracterizado** porque comprende las etapas de:
 - a. Fabricación Tapa y Base de papel adhesivo
 - a.1. Colocar papel adhesivo (ARcare® 8259, Adhesives Research, 200-µm de grosor) en plotter de corte mediante el uso de un software (Silhouette Studio®), el cual sirve



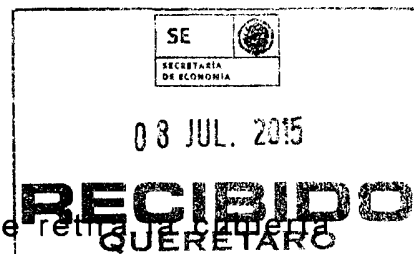
como vectorizador e interface para el cortador 2D (Grapthec America, Inc.) para fabricar dos piezas (a) y (e) con dimensiones de 20x30 mm, la pieza (a) contiene un respiradero (a^1) de 1.8x14.8 mm con el propósito de tomar el O_2 presente en el aire donde su concentración aumenta de 2mM hasta 10mM y su constante de difusividad de $2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ a $0.2 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ comparada con la que presenta el O_2 disuelto, por otra parte, la pieza (e) contiene dos alimentaciones (e^1 y e^2) que permite la entrada de los reactivos y una salida de los productos obtenidos de las reacciones electroquímicas (e^2) todas con un diámetro de 1.2mm.

b. Fabricación del microcanal (d):

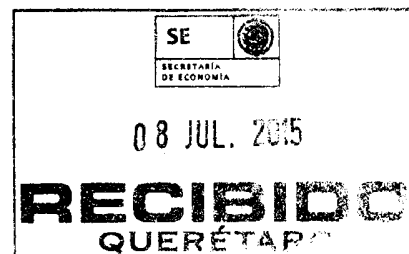
b.1. Cortar el diseño del microcanal sobre película de silicona verde (Silastic®, Dow Corning, preparada usando un filmógrafo Elcometer® Film Applicator con un grosor de 600 μm) mediante el uso de un software (Silhouette Studio®) el cual sirve como vectorizador e interface para el cortador 2D (Grapthec America, Inc.). El microcanal sirve como sello impidiendo que las corrientes líquidas permeen hacia sitios no deseado, al mismo tiempo, sirve como canal dirigiendo los reactivos hacia los electrodos y los productos hacia la salida; el canal tiene forma de octágono con las siguientes dimensiones: 2 lados de 2.2mm, 4 lados de 8.5mm y 2 lados 7mm, esta configuración permite una distribución más homogénea de los reactivos hacia los electrodos.



- c. Fabricación de colectores de corriente (b)
- c.1. Cortar a manualmente papel aluminio comercial (Alumark 50) con dimensiones alrededor de los 2x10.5 mm.
- d. Fabricación electrodos nanoporosos (c).
- 5 d.1. Cortar manualmente carbón comercial nanofoam (Marketech Inc., área superficial 450 m²gr⁻¹) con dimensiones alrededor de los 2x15 mm
- e. Preparación de los electrocatalizadores
- 10 e.1. Preparar la tinta catalítica mezclando 14 µl de copolímero fluorado basado en tetrafluoroetileno sulfonado (Nafion®) al 5% y 120 µl de alcohol isopropílico (J.T. Baker) por cada 1 mg de catalizador y colocar esta mezcla en un baño ultrasónico por 20 minutos.
- 15 e.2. Utilizar del lado del ánodo Pd/C XC-72 (20% peso/peso, E-TEK), considerando 1 mg de Metal cm⁻².
- e.3. Utilizar del lado del cátodo Pt/C XC-72 (30% peso/peso, E-TEK), considerando 1 mg de Metal cm⁻².
- f. Depósito de la tinta catalítica
- 20 f.1. Incorporar la tinta catalítica directamente sobre la superficie de los electrodos porosos (ánodo y cátodo) mediante deposición homogénea usando un aerógrafo hasta obtener un carga total de catalizador de 0.6 mg.
- g. Proceso de ensamble de la celda de combustible nanofluídica



- g.1. De la parte posterior de la pieza (a) se retira la cubierta de plástico para dejar expuesta la parte adhesiva y sobre la parte superior tanto izquierda como derecha se colocan las piezas (b) a una distancia de separación entre ellas de alrededor de 3 mm, a esa misma distancia y de manera paralela, sobre las piezas (a) y (b) se colocan las piezas (c), posteriormente se coloca la pieza (d) de tal manera que se adhiera uniformemente sobre la pieza (a), por último se retira la cubierta de plástico de la parte posterior de la pieza (e) y se coloca presionando para quedar adherida uniformemente sobre la pieza (d) sin hacer contacto con la pieza (a).



RESUMEN DE LA INVENCION

La presente invención resuelve el problema de la estructura rígida
5 en las celdas combustible, al utilizar una geometría que permite
el paso de las especies a través de estructuras nanoporosas
flexibles y que convergen a un microcanal el cual no requiere de
mantener geometría específica. El uso de materiales flexibles
basados en papel permite reducir significativamente las
10 dimensiones del dispositivo, así como conferirle propiedades de
flexibilidad y ligereza. Asimismo, al no requerir de una interface
bien definida de contacto entre las especies a lo largo del
microcanal, la operación del dispositivo se simplifica al prescindir
de un control de flujos. Al utilizar materiales como el papel
15 adhesivo permite prescindir de los elementos de sujeción y en
consecuencia simplificar significativamente su proceso de
ensamble en un número definido de ocasiones permitiendo
intercambiar componentes para su mantener su óptimo
desempeño. Finalmente éste dispositivo tiene un diseño modular
20 que permite la interconexión sencilla con demás unidades,
permitiendo conformar arreglos que proveen de mayor entrega de
energía.

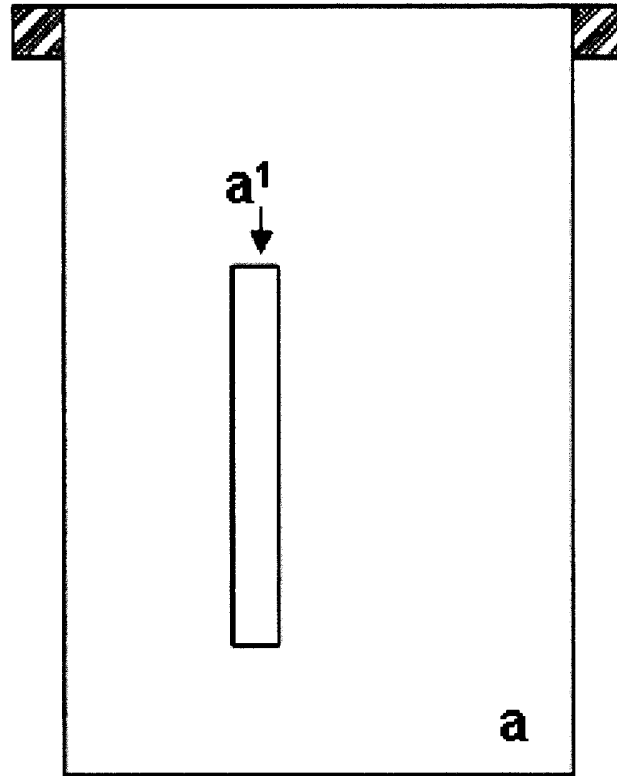
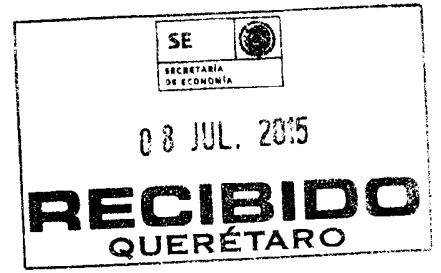


Figura 1

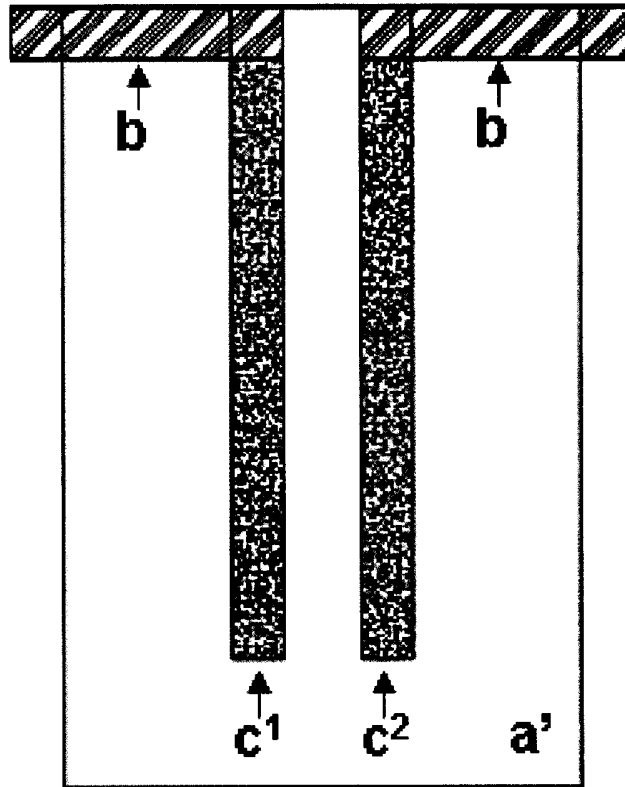
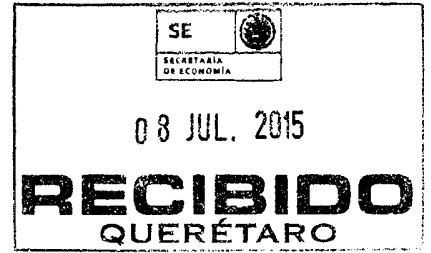


Figura 2

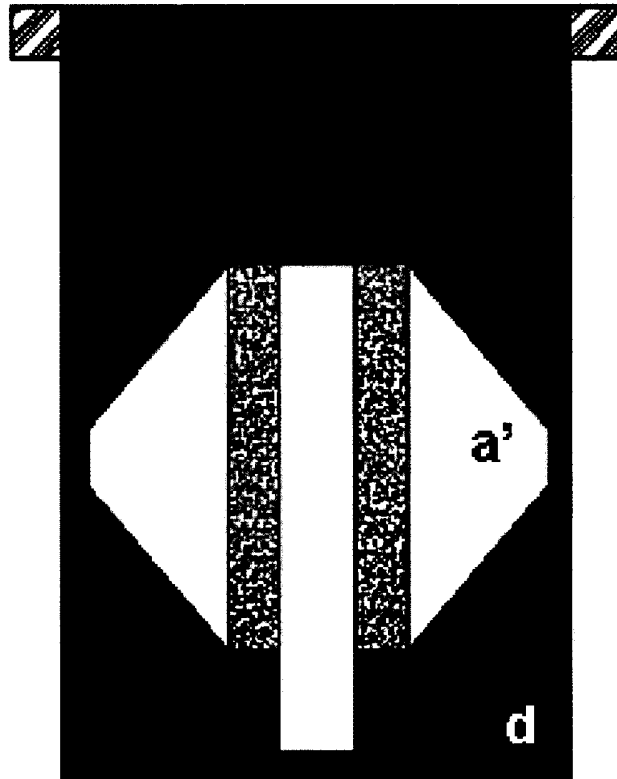
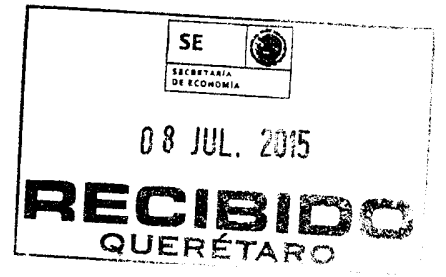


Figura 3

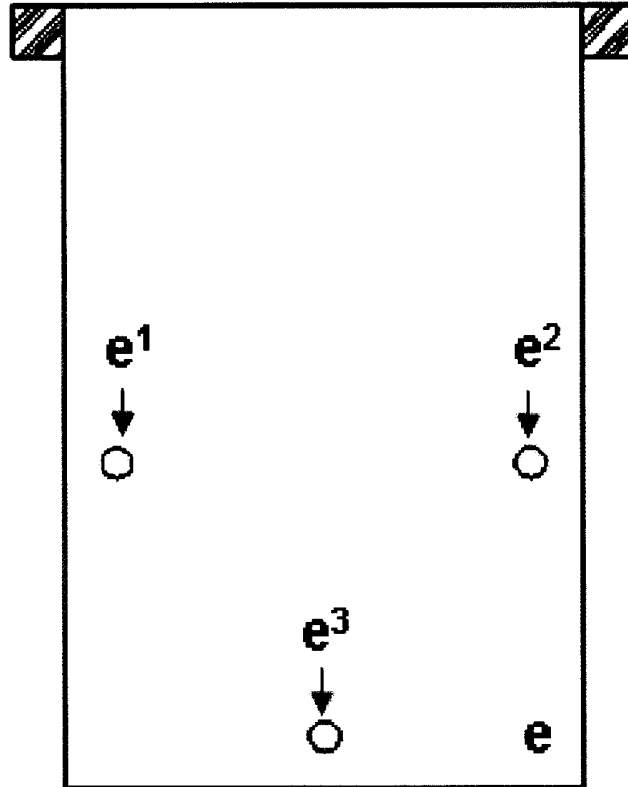
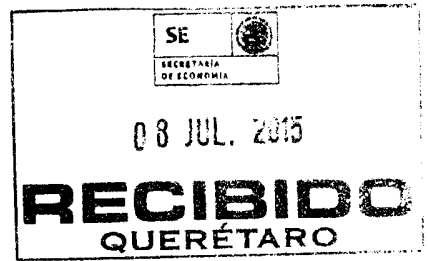


Figura 4