



(12)

SOLICITUD de PATENTE

(43) Fecha de publicación: **16/09/2014** (51) Int. Cl: **H01M 8/00** (2006.01)
(22) Fecha de presentación: **08/03/2013**
(21) Número de solicitud: **2013002676**

(71) Solicitante:
**CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO
TECNOLOGICO EN ELECTROQUIMICA 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
FRANCISCO MHERANDE CUEVAS MUÑIZ
ABRAHAM ULISES CHAVEZ RAMIREZ
ANDRES DECTOR ESPINOZA
MINERVA GUERRA BALCÁZAR
JANET LEDESMA GARCÍA**

(74) Representante:
**ADRIANA VILLENA SALDAÑA
Laja No. 132 LEÓN Guanajuato 37160 MX**

(54) Título: **MICROCELDA DE COMBUSTIBLE MICROFLUÍDICA SIN MEMBRANA Y MÉTODO DE FABRICACIÓN DE LA MISMA.**

(54) Title: **MEMBRANE LESS MICROFLUIDIC FUEL MICROCELL AND METHOD FOR MANUFACTURING THE SAME.**

(57) Resumen

Se construyeron microceldas microfluídicas de PMMA utilizando un novedoso método de construcción de su placa base y novedosos electrocatalizadores de alta selectividad para la producción de energía eléctrica. Para probar el funcionamiento de las celdas y determinar su producción eléctrica, se utilizaron diferentes combinaciones de materiales en el electrocatalizador y pruebas tanto en su funcionamiento como cátodo como en su funcionamiento como ánodo, los electrocatalizadores se construyen de Pt80Ag20/C y Au80Ag20/C.

(57) Abstract

Microfluidic microcells of PMMA were built using a novel method for constructing the base plate thereof and novel electrocatalysts of high selectivity for producing electric power. For testing the operation of the cells and determining the electric production thereof, different combinations of materials were used in the electrocatalyst, tests were performed in the operation as a cathode and in the operation as an anode, the electrocatalysts being made of Pt80Ag20/C and Au80Ag20/C.

MICROCELDA DE COMBUSTIBLE MICROFLUÍDICA SIN MEMBRANA Y
MÉTODO DE FABRICACIÓN DE LA MISMA
DESCRIPCIÓN

5 Antecedentes y campo de la invención

La presente invención se relaciona con celdas de combustible para generación de energía eléctrica y más concretamente se relaciona a microceldas microfluídicas sin membrana que utilizan combustibles tales como glucosa o
10 sangre para la generación de tal energía.

Se conocen los siguientes documentos de Microcell Corporation US7695843, "Microfibrous fuel cell assemblies comprising fiber-supported electrocatalyst layers, and methods of making same"; US8048584 titulada "Fuel cell structures and assemblies" y US8168350 titulada "Fuel cell structures and
15 assemblies with channeled current collectors, and method of making the same"

En lo general, las celdas de combustible de microfluidos todos los componentes incluyendo la alimentación de los fluidos, sitios de reacción y electrodos están confinados en un mismo canal microfluídico. Estas celdas operan típicamente con una configuración de flujo co-laminar sin la necesidad de
20 una barrera física, tal como una membrana, para separar el ánodo del cátodo.

Uno de los primeros diseños de celda de combustible sin membrana basada en flujos laminares fue propuesto por Choban *et al*, E. Choban, J. Spendelow, L. Gancs, A. Wieckowski, P. Kenis, Membraneless laminar flow-based micro fuel cells operating in alkaline, acidic, and acidic/alkaline media. *Electrochim. Acta*
25 **50**, 5390 (2005), con una geometría de canal en forma-Y, empleando ácido

fórmico y oxígeno como combustible y oxidante, respectivamente. Los resultados mostraron una densidad de potencia de salida 0.4 mAcm^{-2} , concluyendo que la longitud del canal juega un papel importante, ya que podría inducir que la reacción sea limitada por el mezclado de las dos corrientes de flujo y el desempeño de la celda comenzará, por tanto, a disminuir cuando las dos corrientes comiencen a mezclarse hasta el punto en que la oxidación y la reducción no ocurran de manera independiente en los electrodos. Una de las ventajas presentadas por este sistema de Choban es el uso de soluciones acidas para disminuir la resistencia protónica del fluido.

10 Ferrigno *et al.*, R. Ferrigno, Stroock, A.D., Clark, T.D., Mayer, M., and Whitesides, G.M., Membraneless vanadium redox fuel cell using laminar flow. *J. Am. Chem. Soc.* **124**, 12930 (2002), utilizaron un par redox de vanadio como reactantes en una celda de combustible de microfluidos con una configuración similar a la reportada por Choban *et al.* La ventaja de este diseño es que utiliza la misma especie (vanadio): como combustible V(III)/V(II) y como oxidante V(V)/V(IV), ambas especies de Vanadio pueden ser regeneradas de la mezcla de los productos. Ambos sistemas mostraron que el desempeño de la celda es limitado por difusión. Sin embargo algunos de los diseños actuales presenta un porcentaje de utilización de combustible muy bajo, entre 1 a 10%.

20 Chang *et al.* M.-H. Chang, F. Chenb, N.-S. Fang, Analysis of membraneless fuel cell using laminar flow in a Y-shaped microchannel. *J. Power Sources* **159**, 810 (2006) realizaron una aproximación mediante modelo teórico-computacional utilizando la ecuación de Butler-Volmer. Al considerar los parámetros de las reacciones electroquímicas involucradas fue posible predecir el comportamiento de las curvas de polarización. De igual forma Chan *et al.*,
25

mediante un modelo teórico y una software comercial (CFD) evaluaron la cinética de los flujos, especies transportadas y las reacciones electroquímicas en los electrodos dentro del canal considerando factores físicos y geométricos (dimensiones del canal). Los resultados sugieren que el desempeño de la celda está dominado principalmente por el transporte de masa hacia los electrodos, especialmente en el cátodo, y podría ser mejorado mediante una mayor relación de la sección transversal del canal.

Por otro lado, W. Li, Z. Chen, L. Xu, Y. Yan, A solution-phase synthesis method to highly active PtCo/C catalysts for proton exchange membrane fuel cell. *Journal of Power Sources* **195**, 2534 (2010) estudiaron la variación de diversos parámetros tal como la concentración de los reactantes, la velocidad de los flujos volumétricos, el espesor de la capa catalítica, longitud del canal y la geometría de los electrodos mediante un modelo teórico para una celda de microfluidos de geometría en forma de Y. Los resultados proporcionan una aproximación física de la concentración de los reactantes, la velocidad de los flujos volumétricos, el espesor de la capa catalítica, la longitud del canal y la geometría de los electrodos sobre el desempeño de la celda.

Uno de los principales retos en el desarrollo de la tecnología basada en microfluidos continua siendo el desarrollo de nuevos diseños o arquitecturas, siendo los aspectos más importantes a considerar la geometría de los canales, la geometría y distancia de y entre los electrodos y la composición misma de estos. Una primera aproximación consiste en el desarrollo de modelos que puedan predecir el comportamiento de estos sistemas. El modelado computacional puede proveer información útil sobre el análisis de los fenómenos de transporte y reacciones electroquímicas que se llevan a cabo en una celda de combustible de

microfluidos, que en conjunto con los factores de la geometría de diseño pueden mejorar el desempeño de las celdas de combustible de microfluidos. No obstante esto, el comportamiento del sistema construido difiere del calculado por varios factores tales como el proceso de fabricación de la celda, el material de construcción, características fisicoquímicas de los fluidos y factores ambientales entre otros.

El régimen del flujo de los fluidos en dispositivos a nivel microescala puede ser considerado como laminar bajo la mayoría de las condiciones. Un microfluido es caracterizado por un bajo número de Reynolds donde los efectos viscosos dominan sobre los efectos inerciales y la fuerza superficial juega un papel importante sobre las fuerzas volumétricas.

Debido a la naturaleza laminar de los microfluidos, el campo de velocidad para un fluido newtoniano incompresible puede ser determinado directamente a partir de la ecuación de Navier-Stokes para sistemas en tres dimensiones (3D). El uso de la ecuación de Navier-Stokes presupone que el fluido puede ser tratado como un continuo; sin embargo, esta suposición es válida generalmente para fluidos a nivel micrométrico, y puede ser aplicada incluso con precisión para flujo a nivel macrométrico.

Las celdas de combustible sin membrana o de microfluidos siguen prácticamente los mismos principios electroquímicos que las celdas de combustible de intercambio protónico. La principal diferencia radica en que la membrana polimérica que actúa como "un separador" entre los electrodos (ánodo o cátodo) así como el medio de transporte de carga es sustituida por una interface líquido-líquido dentro del microcanal. De manera general, un microcanal es definido como un canal cuyas dimensiones son mayores a $1 \mu\text{m}$ y menores a 1

mm y los fluidos que son transportados y manipulados dentro de este son conocidos como microfluidos.

En estos sistemas, el factor de escalamiento (R) es muy importante, el cual está representado como la relación de superficie (R^2) y volumen (R^3)

5

$$\left(\frac{R^2}{R^3} = R^{-1}\right)$$

10

y disminuye con la miniaturización. Los sistemas microfluídicos pueden ser la unión entre la dependencia de la escala y las propiedades interfaciales y de esta manera explotar una amplia gama de aplicaciones. Como los sistemas fluídicos son reducidos en tamaño entonces se establece un régimen de flujo laminar con bajos números de Reynolds (<10). En este caso, los efectos superficiales que incluyen tensión superficial o viscosidad dominan sobre los efectos basados en volumen, ofreciendo nuevos fenómenos a nivel micrométrico, Una aproximación en el entendimiento de los fenómenos que ocurren en estos sistemas ha sido realizada mediante modelos computacionales, que comprenden una serie de ecuaciones involucradas en el transporte de fluidos y de masa.

15

Caracterización del sistema en función de la velocidad de flujo

20

Parte del desarrollo de la presente invención comprendió el desarrollo de dos plataformas con dimensiones de canal de celda diferentes. La primera denominada μ FFC G1-1 (1 mm de ancho en el canal) y la segunda denominada μ FFC G1-0.5 (0.5 mm de ancho en el canal). De estas dos plataformas, se ha seleccionado como modalidad preferida la μ FFC G1-1 y con ella se hicieron diferentes combinaciones de materiales de electrocatalizadores y

25

evaluaciones en general del comportamiento eléctrico de las microceldas. Los flujos son introducidos en el canal aplicando una presión externa, sin que exista variación de ésta que modifique la velocidad a lo largo de las paredes del canal. Esta condición frontera genera una capa límite con gradientes de velocidad en la sección transversal, característico de flujo de fluidos en tuberías o canales.

El gradiente de velocidad afecta el mezclado difusivo.

El mezclado del oxidante y del combustible debido a la difusión transversal de los flujos fue cuantificado mediante un modelo hidrodinámico y de transporte de masa. El desempeño de la celda de combustible comienza a disminuir cuando las dos corrientes se mezclan, y, como consecuencia la oxidación y la reducción no ocurren en el electrodo correspondiente. El grado en el cual el oxidante y el combustible son mezclados difusivamente es proporcional a la difusividad del combustible en el solvente. La difusividad también afecta el transporte de masa del combustible hacia los electrodos. La mezcla combustible-oxidante se considera como una dilución, donde el coeficiente de difusión es constante en su totalidad.

En el transporte de flujos laminares, la difusión transversal en dirección al flujo causa un mezclado entre las corrientes. El grado de mezclado depende del valor del número de Péclet Pe (E.R. Choban, L.J. Markoski, A. Wieckowski, P.J.A. Kenis, Microfluidic fuel cell based on laminar flow. *J. Power Sources* 128, 54 (2004) y R.F. Ismagilov, Stroock, A.D., Kenis, P.J.A., and Whitesides, G., Experimental and theoretical scaling laws for transverse diffusive

broadening in two-phase laminar flow in microchannels. *Appl. Phys. Lett.* 76, 2376 (2000))

$$Pe = U \cdot h / D,$$

5

En la cual U es la velocidad de flujo promedio; h la altura del canal y D el coeficiente de difusión, este número representa la relación entre el transporte convectivo y el transporte difusivo. Su determinación es importante ya que puede ser utilizado para predecir las variaciones en los perfiles de la fracción másica de los reactantes a lo largo del canal. Para las condiciones planteadas en nuestro modelo donde el canal tiene $h=0.1$ cm; $D=5 \times 10^{-6}$ cm²s⁻¹ y $U=0.4083$ y 0.816 cm⁻¹, el número de Peclet calculado es de 10^4 y 10^3 para la μ FFC G1-0.5 y G1-1, respectivamente.

15

Como es conocido para una persona con conocimientos medios en la materia, cerca de las paredes, el fluido fluye lentamente comparado con capas adyacentes y como resultado la región de difusión transversal toma una forma de reloj de arena y crece rápidamente conforme las velocidades de flujo se aproximan a cero.

20

El ancho de la región de mezclado difusivo o difusión transversal en las paredes de la celda de combustible y en la interface pueden calcularse mediante la aproximación teórica desarrollada por Ismagilov *et al* R.F. Ismagilov, Stroock, A.D., Kenis, P.J.A., and Whitesides, G., Experimental and theoretical scaling laws for transverse diffusive broadening in two-phase laminar flow in microchannels. *Appl. Phys. Lett.* 76, 2376 (2000) y experimentalmente validada por

25

Hahn *et al*. R. Hahn, Wagner, S., Schmitz, A., Reichl, H., Development of a planar

micro fuel cell with thin film and micro patterning technologies. *J. Power Sources* 131, 73 (2004).

Es a partir de las ecuaciones precedentes que se propone el uso de microfluidos para la construcción de una microcelda para la generación de energíaeléctrica, lo cual representa el fundamento teórico de la microcelda propuesta por la presente invención.

Fabricación de microceldas

La mayoría de las celdas de combustible de microfluidos desarrolladas desde 2002 a la fecha han utilizado los métodos de fabricación establecidos para la elaboración de chips electrónicos o de microfluidos (lab-on-a-chip). Un método alternativo para la construcción de estas microceldas se basa en el proceso de fotolitografía, el cual consta de varias etapas iniciando con el diseño de una fotomáscara que posteriormente se imprime a través de una imagen de alta resolución en una transparencia. Las etapas siguientes comprenden la exposición del sustrato a rayos UV. La mayoría de los canales han sido fabricados en PDMS o vidrio, los cuales son relativamente inertes. Se utiliza un pre-polímero y un agente de curado, los cuales durante la polimerización deben ser sometidos a una desgasificación en vacío y a una temperatura controlada para llevar a cabo el curado. Otro material polimérico frecuentemente usado en la construcción de microceldas es el PMMA (polimetil metacrilato) debido a su elevada resistencia al impacto y como material de reemplazo al vidrio debido a su bajo costo. Usualmente los canales son fabricados mediante un láser de CO₂ o mediante *siliconetching*.

Objetos de la invención

La presente invención tiene como principales objetos el proveer de una celda generadora de energía eléctrica a base de microfluidos que supere la potencia generada en las actuales celdas de combustible microfluidicas.

Desarrollar un microdispositivo electroquímico o microcelda generador de energía continua capaz de utilizar combustibles provenientes de líquidos corporales implantables en el cuerpo, eliminando la necesidad del uso de baterías cuyo tiempo de vida es limitado.

Otro objeto de la presente invención es el proveer un proceso de construcción de celdas microfluidicas que represente una ventaja técnica en cuanto a que no se requiera de una infraestructura especialmente complicada para su construcción y con un costo notablemente menor.

Un objeto adicional de la presente invención es el proveer un método de generación de energía eléctrica utilizando fluido corporal tal como sangre o un combustible orgánico tal como glucosa.

Un objeto adicional es la construcción de electrodos altamente selectivos que catalicen la reacción de transformación de energía química a energía eléctrica potenciando el desempeño de la celda en sí misma.

Los anteriores objetos y otros más serán cumplidos mediante la construcción de una celda microfluidica de conformidad con los lineamientos aquí vertidos y reclamados esencialmente en las reivindicaciones anexas, que constituyen, junto con la presente descripción y las figuras anexas, la invención reclamada como de nuestra propiedad.

Breve descripción de la invención

La invención provee una microcelda microfluídica de generación de energía eléctrica. Para la construcción de la microcelda se ha implementado y desarrollado un nuevo método no utilizado en el estado de la técnica y que consiste básicamente en comprimir en caliente el material base. Se construyeron también electrodos exprofeso para la presente invención y que, junto con las características de construcción de la celda, proveen una potencia no alcanzada en las celdas conocidas hasta antes de la presentación de la presente invención.

La invención consiste en la integración de varias microceldas conectadas eléctricamente en serie. Cada microcelda comprende un canal microfluidico, dos electrocatalizadores de alta selectividad y colectores de corriente. El arreglo de microceldas está montado en una placa base, complementado por su empaque y tapa.

15

Breve descripción de las figuras

La figura 1 es un diagrama esquemático del método para fabricar la placa base de una microcelda de PMMA.

La figura 2 es una vista esquemática de los diferentes elementos que conforman la microcelda microfluídica sin membrana en una configuración ejemplar.

La figura 3 es una vista esquemática en la cual se aprecia la ubicación de los electrodos, se ha dado énfasis a las líneas de contorno de ellos.

La figura 4 es una vista en corte a lo largo de la línea A-A de la figura

25

3 que muestra que la celda comprende canales con alturas y anchuras proporcionales a la celda en general.

La figura 5 muestra las curvas de descarga de tres celdas con la construcción mostrada en la figura 2 utilizando glucosa 10 mM como combustible y KOH saturado de oxígeno como oxidante (dos flujos de entrada).

La figura 6 muestra las curvas de descarga de tres celdas con la construcción mostrada en la figura 3 utilizando glucosa 100 mM como combustible y KOH saturado de oxígeno como oxidante (dos flujos de entrada).

La figura 7 son curvas de descarga para dos celdas utilizando glucosa 10mM, en KOH 0.3 M saturado con oxígeno (un solo flujo de entrada).

La figura 8 son curvas de descarga para las mismas celdas de la figura 7, con un flujo de glucosa de 100 mM en KOH 0.3 M saturado con oxígeno (un solo flujo de entrada).

La figura 9 son curvas de descarga para dos celdas utilizando un flujo de glucosa de 10mM en fluido corporal simulado, con KOH 0.3M saturado con oxígeno (un solo flujo de entrada).

La figura 10 muestra gráficamente la estabilidad de las microceldas de combustible MFC2 y MFC3 utilizando un flujo de glucosa de 10mM en fluido corporal simulado, con KOH 0.3M saturado con oxígeno (un solo flujo de entrada).

La figura 11 muestra las curvas de descarga para la celda MFC3 que fue la que mostro estabilidad, a diferentes flujos.

La figura 12 muestra ciclos de voltaje y corriente con respecto al tiempo; de la micrcelda MFC3, utilizando un solo flujo a velocidad cero.

La figura 13 muestra el desempeño global del stack de microcelda teniendo 5 monoceldas acopladas en serie, utilizando un flujo de glucosa de

10mM en fluido corporal simulado, con KOH 0.3M saturado con oxígeno (un solo flujo de entrada).

Descripción detallada de la invención

5

Se construyeron microceldas microfluídicas utilizando un novedoso método de construcción de su placa base y novedosos electrocatalizadores de alta selectividad para la producción de energía eléctrica. Para probar el funcionamiento de las celdas y determinar su producción eléctrica, se utilizaron diferentes combinaciones de materiales en el electrocatalizador y pruebas tanto en su funcionamiento como cátodo como en su funcionamiento como ánodo.

Como se muestra en la figura 2, la celda microfluídica comprende al menos un canal microfluídico. Esto es contrario a lo utilizado en el estado de la técnica en donde existen dos puntos de alimentación, uno para el combustible y otro para el oxidante y un punto de salida. Una vez alimentados, se unen los flujos en un tercer canal o canal de trabajo. La presente invención provee una microcelda con canales totalmente lineales, en donde existe un solo punto de alimentación y un solo punto de salida opuestos, los cuales forman parte integral de los canales de trabajo, dicho de otra forma la microcelda básica es unicanal. En esta figura 2 se muestra una celda con varios canales (stack que comprende 5 monoceldas), una persona con conocimientos medios en la materia podrá derivar fácilmente lo ahí mostrado a una celda unicanal.

Debido a las propiedades del PMMA, este fue elegido para la construcción de la placa base a través de un método que involucra presión y temperatura. El diseño se graba sobre un molde hembra, de acero inoxidable, una

vez fabricado el molde, el acrílico o PMMA se coloca sobre una base plana de acero inoxidable o algún material similar y sobre este material se coloca el molde hembra para luego ejercer presión sobre el ensamble y de manera que el PMMA fluya sobre el molde hembra. La temperatura en este proceso es vital y se conserva bajo parámetros que más abajo se indican.

Se tomará como referencia primeramente a la figura 1, la cual muestra el proceso de elaboración de la celda, inicia en la etapa **100**, en la cual se calienta un molde superior y un molde inferior a una temperatura de aproximadamente 80°C, para reblandecer el PMMA durante aproximadamente 10-15 minutos a temperatura [70-90]°C. Una vez que el PMMA se reblandece, entonces se introduce **200** entre la base plana y el molde hembra. En el paso **300** se eleva la temperatura hasta aproximadamente 200°C durante aproximadamente 10 minutos, una vez estabilizada la temperatura del sistema molde-PMMA-molde, se aplica **400** una presión de 165.47 MPa.

Se coloca una placa de PMMA entre dos placas de acero inoxidable, una de ellas contiene el diseño de los canales de la celda y la otra sólo es una base plana. Ambas placas son puestas sobre una parrilla de calentamiento y llevadas a 200°C de temperatura, el PMMA alcanza un valor cercano a la temperatura de transición vítrea y las placas son colocadas en una prensa de platos paralelos (marca Carver®) (o una equivalente) donde se aplica una presión de 165.47 MPa. Como resultado del calentamiento y la presión ejercida, el o los canales son formados sobre la placa de acrílico. Los parámetros a controlar durante el procedimiento son la temperatura de calentamiento de las placas, la presión ejercida sobre ellas y el tiempo que ésta es mantenida. En la modalidad ejemplar de la presente invención, las dimensiones de los canales formados son 1

mm x 1 mm y 45 mm ancho, alto y largo, respectivamente para la celda denominada μ FFC-G1, que es la plataforma para el diseño del arreglo de microceldas.

5 Para la construcción de la microcelda de combustible (1) se utiliza esta placa base (2), más al menos un par de electrocatalizadores (3), colocados en las paredes internas laterales de cada canal de trabajo (4), y colectores de corriente (5) hechos de carbón vulcan XC-72 (Cabot) (ver figuras 2, 3 y 4). Para la modalidad de un solo canal (no mostrada), se utilizan sólo dos electrocatalizadores. En la modalidad de un solo canal, el canal se conecta
10 directamente a la fuente de alimentación de la mezcla combustible oxidante y a la descarga eléctrica. Cuando la placa base comprende al menos dos canales, los canales se conectan a la fuente de alimentación y a la descarga por medio de brazos de extensión rectos (4A) (ver figura 3) que tienen las mismas dimensiones en cuanto a ancho y profundidad que los canales (4).

15 Los electrocatalizadores (3), se sintetizaron por reducción química (Brust et al., 1994), se soportaron sobre el carbón (5), previo tratamiento del mismo. Los electrocatalizadores construidos son de AuAg/C y PtAg/C con relaciones definidas de 80:20 y con área de electrodo de aproximadamente 0.45 cm² para el caso de la celda de combustible ejemplar.

20 Una vez preparada la microcelda, se concluye la construcción de la misma colocando placas delgadas de aluminio (6) en contacto directo con los colectores de corriente (5) extremos de la microcelda de la cual sobresalen los cables eléctricos (no mostrados) que extraen la energía eléctrica generada al interior de la microcelda de combustible conduciéndola al dispositivo a ser
25 energizado. Finalmente el ensamble es completado con un empaque (7) y tapa de

PMMA(8).

Los diferentes componentes de la microcelda se pueden unir mediante tornillos, los cuales pasan a través de los barrenos(9) hasta llegar al barreno roscado (10) colocado en la placa base (2). Como se muestra en las 5 figuras 2 y 3, la alimentación de la mezcla combustible-oxidante es por el orificio (11) ubicado en la tapa (8) de la microcelda, en tanto que la salida de la mezcla agotada es por el orificio (12), ubicado en la parte diametralmente opuesta de la microcelda. La alimentación es recibida en el pozo (11A) para canalizarla a los canales (4) mediante los brazos (4A).

10

Preparación de electrocatalizadores

Los electrocatalizadores, se sintetizan por reducción química y se soportan sobre carbón (vulcan XC-72 (de Cabot)). En una primera etapa el carbón 15 se sometió a tratamiento térmico. El tratamiento térmico consistió en calentar el material de temperatura ambiente a aproximadamente 270 °C con una rampa de calentamiento de 5 °C/min y manteniendo constante esta temperatura durante aproximadamente 2 horas. El material fue introducido en un crisol de porcelana.

Se entiende que a lo largo de la presente solicitud, el término 20 “aproximadamente” en el caso de las temperaturas, significa que varía en un \pm 10% del valor indicado, en el caso de las presiones significa una variación de \pm 5% del valor nominal mientras que en el caso de los tiempos indicados en la presente descripción los mismos representan una variación de \pm 25%.

En un primer paso se mezclan las sales metálicas (HAuCl₄, AgNO₃ y 25 PtCl₄) de acuerdo a la tabla 1. Las sales se disolvieron en 10 mL de agua destilada

y se mezclaron con 0.3748 g bromuro de tetraoctil amonio (BTOA) disueltos en 20 mL de tolueno en un matraz Erlenmeyer de 50 mL. La mezcla se agitó por 30 minutos a temperatura ambiente.

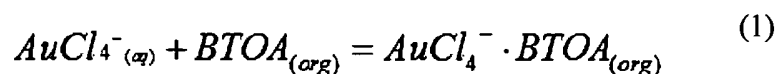
5 Tabla 1. Cantidades de sal empleadas para la elaboración de nanopartículas

	AuAg	PtAg
HAuCl ₄	99.2 mg	-
AgNO ₃	10.7 mg	10.7 mg
PtCl ₄	-	122.5 mg

10

En este primer paso el BTOA compleja los iones metálicos y transfiere los mismos a la fase orgánica como se muestra en la ecuación (1).

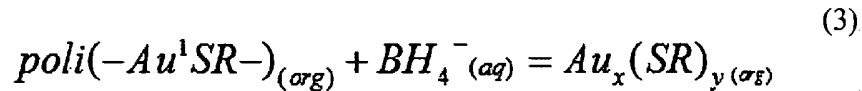
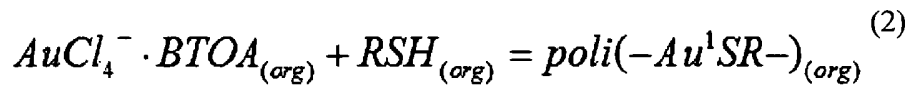
15



20

Después de este tiempo la mezcla se enfría hasta 2 °C y se adicionan 0.257 mL de dodecanotiol. Cuando la mezcla alcanzó 2°C, se adicionaron 0.1512 g de NaBH₄ y se mantuvo la misma en agitación por dos horas y media aproximadamente. Durante este proceso se forma el tiol que forma un polímero que por acción del hidruro se reduce a oro (0), como se muestra en las ecuaciones 2 y 3.

25



5

Nuevamente, se separan las fases, se recupera la fase orgánica, la cual se evapora a vacío en un rotavapor (Heidolph) a aproximadamente 65°C. El sólido recuperado se dispersa en etanol y se almacena en refrigeración hasta el día siguiente.

10

El sólido obtenido, nanopartículas metálicas sin purificar, se recupera por centrifugación y se lava 2 veces con etanol dispersando en ultrasonido en cada lavado, con el propósito de purificarlas. El sólido lavado se dispersa en hexano y se soporta sobre carbón vulcan al 30% p/p.

15

Las nanopartículas soportadas se someten a un tratamiento térmico de 25 a 350 °C con una rampa de 5 °C/min, durante tres horas a 350°C, para obtener los electrocatalizadores evaluados durante las pruebas preliminares.

Construcción de las microceldas

20

Una placa de PMMA se coloca entre dos placas de acero inoxidable, y se calientan a una temperatura de aproximadamente 200°C. Una de las placas contiene la configuración de los canales de la placa base en tanto que la otra sólo comprende una superficie plana. Ambas placas son puestas sobre una parrilla de calentamiento y llevadas a la temperatura de 200 °C, con esto el PMMA alcanza

25

una temperatura cercana a la de transición vítrea. Se utilizó una prensa de platos

paralelos (marca Carver[®]) (aunque puede utilizarse alguna otra) donde se aplica una presión de 165.47 MPa. Como resultado del calentamiento y la presión ejercida, el o los canales son formados sobre la placa de acrílico. Los parámetros a controlar son la temperatura de calentamiento, la presión ejercida y el tiempo de mantenimiento de la presión. En la modalidad ejemplar de la presente invención, las dimensiones de los canales formados son 1 mm de altura x 1 mm de ancho y 45 mm de largo, estas dimensiones corresponden con la denominada celda μ FFC-G1, que es la plataforma para el diseño del arreglo de microceldas

10 Depósito de electrocatalizadores

La incorporación de los electrocatalizadores se realiza por la técnica de rociado. Primero se realiza una tinta del catalizador obtenido en la etapa anterior (nanopartículas) colocando 10 mg del mismo en 0.63 mL de alcohol isopropílico, se somete a ultrasonido por 20 minutos. Posteriormente se adicionan 0.07 mL de nafion y se somete a ultrasonido por 20 minutos.

Esta tinta se coloca en un aerógrafo para depositarlo en las paredes del canal hasta lograr un depósito de 4 mg/cm^2 . También se coloca un depósito de vulcan XC-72, realizado con la misma técnica, para hacer los contactos eléctricos sobre la celda como se muestra en la figura 2 y 4.

Los materiales electrocatalizadores son depositados en las paredes internas laterales (40 mm de longitud x 1 mm de profundidad). La conexión eléctrica en serie se realiza a través de los colectores de corriente (40 mm de longitud x 4 mm de ancho y 0.1 mm de profundidad) hechos de XC-72 Vulcan, que son depositados en la cara superior de la base en el área de separación de los

canales. Posterior a su secado, se colocan láminas muy delgadas de aluminio para su conexión con el equipo a alimentar. El ensamble se complementa con un empaque de resina epóxica (RTV SiliconeRubber) y finalmente la tapa hecha también de PMMA se cierra la celda con 4 tornillos a 1.35 N m de torque para asegurar su hermetismo.

Evaluación de la celda microfluídica

Tres celdas microfluídicas (MFC) fueron construidas, en las cuales los materiales catalíticos fueron variados como se muestra en la tabla 2 y utilizando una configuración de monocelda (un solo canal) (figuras 5 a 12). Posteriormente en la figura 13 se muestra el desempeño global del stack de celda microfluidica que se compone de 5 monoceldas.

Tabla 2. Carga de material en las microceldas de combustible.

	Ánodo	Carga mg/cm-2	Cátodo	Carga mg/cm-2
MFC1	Au	1.2	Pt	1.1
MFC2	Au	1.4	Pt ₈₀ Ag ₂₀	1.3
MFC3	Au ₈₀ Ag ₂₀	1.4	Pt ₈₀ Ag ₂₀	1.1

La evaluación fue realizada haciendo pasar un flujo de combustible (Glucosa 10 mM en KOH 0.3M) y un flujo de oxidante (Oxígeno saturado en KOH 0.3 M). Estos fluidos se hicieron pasar con flujos volumétricos de 0.100 mL min⁻¹ y

0.500 mL min⁻¹, respectivamente. Se emplearon dos bombas de jeringa Cole Palmer 78-0100C para hacer pasar los fluidos a través del canal microfluidico.

Se realizaron curvas de descarga a 20 mV s⁻¹ desde el voltaje a circuito abierto hasta 0 mV con un potenciostato BioLogic VSP. Se registró la corriente entregada por el sistema y se calculó la densidad de potencia de la microcelda en las diferentes condiciones de operación. Los resultados obtenidos nos proporcionan un parámetro de comparación del rendimiento de los materiales en las tres celdas (figura 5) permitiendo descartar las configuraciones menos eficientes. Estos resultados son discutidos con mayor detalle más adelante en este documento.

Posteriormente se modificó el funcionamiento de la celda haciendo pasar un flujo mixto de combustible y oxidante a 0.400 mL min⁻¹ y nuevamente se realizaron curvas de descarga desde circuito abierto hasta 0 mV. Además se operó la celda a potencial constante (320 mV) durante 1 hora para observar el desempeño de las dos configuraciones (MFC2 y MFC3) durante un proceso continuo, los resultados obtenidos mostraron la estabilidad de operación de las celdas, este parámetro es importante ya que nos permite evaluar la capacidad catalítica de los materiales de construcción de los electrocatalizadores y estimar un tiempo de vida de operación.

Finalmente se sustituyó el fluido de KOH por un fluido corporal simulado (T. Kokubo, H. Takadama. *Biomaterials*, 27 (2006), p. 2907). A la preparación ideal se le agregó KOH hasta lograr una concentración de 0.3 M. En este proceso se formó un precipitado que debió eliminarse por filtración. Se le añadió glucosa hasta lograr una concentración de 10 mM. Se repitieron las pruebas anteriores con este fluido, con el propósito de observar el efecto de las

sales presentes en el fluido corporal en el rendimiento de la celda.

Se evaluó el efecto flujo volumétrico desde $0.500 \text{ mL min}^{-1}$ hasta 0 mL min^{-1} . Con base en estas últimas pruebas se propuso un experimento de ciclos de alimentación-descarga de la celda a fin de conocer la estabilidad del sistema.

5 Se puede observar en la figura 12, que el material de la celda MFC3 tiene un desempeño casi constante a partir del segundo ciclo y un instante de entrega de potencial alto casi inmediato, ambas observaciones se discuten más adelante.

Prueba en la celda microfluídica con dos flujos

10

En la figura 5 se muestra el rendimiento de las tres celdas de combustible construidas. Como flujos se emplearon glucosa 10 mM en $\text{KOH } 0.3 \text{ M}$ (combustible) y $\text{KOH } 0.3 \text{ M}$ saturado en O_2 (oxidante). La celda MFC1 muestra el mejor rendimiento en comparación con las otras 2, alcanzando un máximo de potencia de $450 \mu\text{W cm}^{-2}$. MFC2 y MFC3 sólo alcanzaron $400 \mu\text{W cm}^{-2}$ y $270 \mu\text{W cm}^{-2}$ respectivamente. En las diversas figuras, la simbología llena se refiere a voltaje, mientras que la vacía a potencia.

20 Cuando la concentración de glucosa se incrementa a 100 mM (Figura 6), la densidad de potencia de MFC1 disminuye dramáticamente a sólo $25 \mu\text{W cm}^{-2}$ (menor al 10% de la obtenida con 10 mM de Glucosa). Pero MFC2 no sufre esta pérdida e incluso incrementa la potencia extraída a $630 \mu\text{W cm}^{-2}$. MFC3 sufre una pequeña caída de potencia a $230 \mu\text{W cm}^{-2}$. De esta misma figura 6 se deduce que el material platino-plata tiene un mejor comportamiento, para sistemas con alta concentración de glucosa, que el platino solo por lo que se considera que
25 monometales como electrocatalizadores no son tan efectivos como sus

combinaciones, hecho contrastante con lo usual en el campo en donde se prefiere el uso de materiales monometálicos tal como platino u oro.

Se cree que la caída de potencia a un efecto de crossover causado por la alta concentración de glucosa, 100 mM. En estas condiciones la Glucosa migra del ánodo al cátodo causando una interferencia en la reacción de reducción del oxígeno (RRO).

Prueba en la celda microfluídica con un flujo

Cabe aclarar que la prueba de dos flujos es necesaria para observar la funcionalidad de los electrodos en flujo laminar. Al incrementar la concentración de glucosa existe un flujo cruzado (crossover) y una caída en la potencia. La menor caída de potencia en MFC2 y MFC3, es un indicador de la selectividad de los electrodos.

Aprovechando la alta selectividad exhibida del PtAg y reportada en Guerra-Balcázaret. Al. (M. Guerra-Balcázar, F.M. Cuevas-Muñiz, L. Álvarez-Contreras, L.G. Arriaga, J. Ledesma-García. J PowerSources (2012) 197; 121:4. (mostrada en la figura 6) por el material Pt₈₀Ag₂₀/C se procedió a evaluar la celda con un sólo flujo con combustible y oxidante. Las curvas de polarización (Figura 7) obtenidas para 10 mM muestran que MFC2 tiene un mejor rendimiento (400 $\mu\text{W cm}^{-2}$) que MFC3 (300 $\mu\text{W cm}^{-2}$). En las mismas condiciones MFC1 fue incapaz de funcionar.

Para los experimentos realizados a altas concentraciones de glucosa (Figura 8) se observa que la potencia de las celdas se incrementa de manera muy ligera.

Prueba en la celda microfluidica con un flujo de fluido corporal simulado

Los resultados precedentes usando un sólo flujo abren la posibilidad de emplear la microcelda para diversas aplicaciones, como dispositivos lab-on-chip para análisis biológicos. Con esta idea se realizaron estudios para simular condiciones biológicas. Se empleó un medio con una carga iónica que simulaba el fluido extracelular ajustado a pH básico. Debido a su comportamiento anterior, se evaluaron las celdas MFC2 y MFC3 (Figura 9).

El objeto de la invención es que el dispositivo funcione utilizando fluidos corporales como combustible, bajo esta premisa se simuló un fluido con las sales presentes en el organismo basado en el trabajo de Kokubo y adicionado con glucosa y KOH para modificar el pH, esta solución es denominada Fluido Corporal Simulado (FCS). La figura 10 muestra las pruebas cronoamperométricas realizadas FCS para MFC2 y MFC3. Después de una hora, se observa una disminución de la potencia de MFC2, mientras que para MFC3 la potencia se conserva e incluso aumenta después de 40 minutos.

Debido a su estabilidad, el rendimiento de la celda MFC3 fue evaluado a diferentes flujos volumétricos. La figura 11 muestra las curvas de polarización de esta celda con flujos de 500 a 0 $\mu\text{L min}^{-1}$. A pesar de que la cinética se ve desfavorecida a flujos bajos, proveyendo de una menor corriente, principalmente atribuido a la menor cantidad de reactivo disponible en la celda, la termodinámica de la celda se incrementa (de 450 mV a 600 mV) permitiendo obtener una mayor potencia global del sistema.

Este comportamiento es causado por la mejor interacción entre los reactivos y la superficie de los electrodos. Esto promovido por el aumento del

tiempo de residencia dentro de la celda. Este hecho tiene una gran importancia, debido a que gracias a esto deja a elección del usuario el uso de una bomba. Como podrá una persona con conocimientos medios en el campo, el uso de bombas ha sido una obligación para el funcionamiento de las mismas. Una ventaja importante de la presente invención es que logra altos rendimientos de corriente sin el uso de una bomba, lo cual va en contra de cualquier sugerencia que pudiese deducirse del estado de la técnica. La eliminación de la bomba conlleva una serie de ventajas entre las que destaca el tener un sistema más simple y pequeño, reduciendo volumen en el dispositivo o microcelda y abatir, por consiguiente, costos, lo mismo que elementos de falla o mantenimiento.

De los resultados de esta misma figura 10, se desprende, nuevamente, que el uso de electrocatalizadores bimetálicos selectivos, para altas concentraciones de glucosa, provee un mejor funcionamiento para estas celdas microfluídicas. Por tanto, una de las aportaciones al estado de la técnica del presente desarrollo es la utilización de catalizadores bimetálicos "selectivos" en el campo de las celdas microfluidicas.

Prueba en la celda microfluídica con fluido corporal simulado sin flujo

Finalmente se realizaron estudios a flujo cero donde se evaluó la capacidad de la celda de operar durante periodos prolongados sin inyección constante de combustible sino a inyección por lotes. El experimento fue diseñado para probar la capacidad de recuperación de la celda y la estabilidad de la superficie del catalizador. La figura 12 muestra el comportamiento del voltaje de celda (negro) y la densidad de corriente (gris) registradas durante el experimento.

Los resultados muestran la estabilidad durante cinco ciclos de recarga y descarga de la celda. La gráfica de voltaje muestra que la superficie no sufre un envenenamiento superficial durante los ciclos de descarga. Mientras que la gráfica de potencia muestra un pico de potencia alto durante el primer segundo.

5 Esto es interesante para aplicaciones biomédicas tales como los impulsos generados por un marcapasos o alimentación de micromecanismos (MEMs) que demandan una alta potencia en corto tiempo. Por otra parte, la celda muestra una estabilidad como se demuestra con los experimentos reportados en la figura 12 durante ciclos de 20 minutos.

10 El cuadro comparativo inferior (tabla 3) demuestra que la celda de la presente invención logra potencias no logradas anteriormente.

En base a este cuadro, se puede observar que la presente invención entrega la mayor potencia utilizando dos flujos y una potencia menor en un solo flujo, cercana a la máxima potencia obtenida en trabajos similares y con la ventaja
15 de utilizar un modo de operación más sencillo.

Tabla 3. Análisis de celdas de combustible reportadas en literatura.

Autor	Electrodos	Concentración	Potencia
J. Ryu, 2010	Pt-CNT	0.5 M	0.8 mW cm ⁻²
J. Chen, 2012	Ag-Ni	1 M	0.7 mW cm ⁻²
V. Oncescu, 2011	Pt-Ni	5 mM	0.018 mW cm ⁻²
S. Kerzenmacher, 2011	Pt raney	0.003 M	0.05 mW cm ⁻²
Presente invención	Au ₈₀ Ag ₂₀ , Pt ₈₀ Ag ₂₀	0.1 M	0.62 mW cm ⁻²

25

Autor	Electrodos	Concentración	Potencia
Presente invención a flujo cero	Au ₈₀ Ag ₂₀ , Pt ₈₀ Ag ₂₀	0.1 M	0.24 mW cm ⁻²
A. Habrioux, 2010	BOD, GOD	0.3 M	0.170 mW cm ⁻²
A. Zebda, 2009	Lacasa, GOD	0.1 M	0.11 mW cm ⁻²
F. M. Cuevas	Lacasa, GOD	0.01 M	0.016 mW cm ⁻²

CNT = Nanotubos de carbono, BOD = Bilirubina oxidasa y GOD = Glucosa oxidasa

10 Debe hacerse notar que hasta donde los inventores de la presente solicitud conocen, no existe reporte de potencial generado a flujo = 0. Por lo que se expone que no existe en el estado de la técnica una microcelda que sea funcional a flujo estático.

15 La tabla 4 muestra los parámetros eléctricos obtenidos para el experimento anterior. Los parámetros son voltaje antes de la cronoamperometría (V_0), densidad de corriente instantánea (j_0) y constante (j_f), densidad de potencia instantánea (P_0) y constante (P_f), potencia volumétrica instantánea (VP_0) y constante (VP_f), densidad de carga (Q) y densidad energética (E). Los valores instantáneos corresponden al momento en que la celda se conecta a 0.32 V mientras que los valores constantes son tomados después de 10 minutos de
20 operación. Estos 0.32 mV simulan un sistema que demanda un voltaje constante de 0.32 V

Tabla 5. Parámetros de operación a flujo cero para MFC3

Parámetro	Unidad	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5
V_0	Mv	523	509	506	505	502

25

Parámetro	Unidad	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5
j_0	mA cm^{-2}	2.41	2.23	2.19	2.18	2.13
j_f	$\mu\text{A cm}^{-2}$	34.4	30.5	28.0	27.1	25.9
P_0	$\mu\text{W cm}^{-2}$	771	714	701	698	682
P_f	$\mu\text{W cm}^{-2}$	10.9	9.76	8.96	8.67	8.29
VP_0	mW cm^{-3}	7.71	7.14	7.01	6.98	6.82
VP_f	$\mu\text{W cm}^{-3}$	109	97.6	89.6	86.7	82.9
Q	mC cm^{-2}	34.4	29.7	27.6	26.8	25.7
E	μWh	1.38	1.19	1.11	1.07	1.03

5

10

Se puede observar que en los dos primeros ciclos de uso la celda sufre una caída en los parámetros, pero del ciclo 2 al 5 la caída es menor. Esto indica que la celda se estabiliza y puede operar varios ciclos sin sufrir degradación (en cada ciclo se renueva el combustible completamente).

15

20

25

REIVINDICACIONES

1. Una microcelda de combustible microfluidica de PMMA sin membrana (1) que comprende un placa base (2), al menos un par de electrocatalizadores (3), al menos dos colectores de corriente (5), un par de placas delgadas de aluminio (6), un empaque (7), una tapa (8) y al menos un canal de trabajo (4) sobre la placa base que comprende una porción de entrada y una porción de salida, caracterizada porque la placa base (2) comprende además un orificio de alimentación (11) de mezcla combustible-oxidante y un orificio de descarga de mezcla agotada (12), estando la porción de entrada del cuando menos un canal de trabajo en comunicación fluida con el orificio de alimentación y la porción de salida del al menos un canal de trabajo con el orificio de descarga.

2. La microcelda de conformidad con la reivindicación 1, caracterizada porque comprende dos o más canales de trabajo en comunicación fluida con el orificio de entrada (11) y el orificio de salida (12) a través de brazos de extensión rectos (4A), los brazos tienen el mismo ancho y profundidad que los canales (4).

3. La microcelda de conformidad con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, caracterizada porque los electrocatalizadores (3) se depositan por aspersion sobre carbono en las paredes internas laterales de los canales, en contacto directo con los colectores de corriente (5) sobre los cuales colocan láminas de aluminio (6) para transmitir la energía eléctrica generada en los canales hacia el dispositivo a ser alimentado.

4. La microcelda de conformidad con la reivindicación 3, caracterizada sobre la placa base se coloca el empaque (7) y sobre el empaque

se coloca la tapa (8) que comprende el orificio de alimentación (11), en donde el empaque comprende la misma configuración de ranuras de la placa base y un orificio por donde pasa la mezcla proveniente del orificio de alimentación y un orificio coincidente con el orificio de descarga (12), la tapa, el empaque y la placa base se sujetan entre sí por medio de elementos de sujeción mediante unos barrenos (9) hasta unos barrenos roscados (10).

5 5. : La microcelda de conformidad con la reivindicación 4, caracterizada porque los electrocatalizadores se seleccionan del grupo que consiste de los pares Au- Pt₈₀Ag₂₀ ó Au₈₀Ag₂₀-Pt₈₀Ag₂₀, preferentemente Au₈₀Ag₂₀-
10 Pt₈₀Ag₂₀.

6. : La microcelda de conformidad con la reivindicación 5, caracterizada porque comprende dos láminas de aluminio(6), colocadas en contacto directo con los colectores de corriente (5) de los extremos de la placa base (2).

15 7. Un método para fabricar la microcelda microfluídica de la reivindicación 1, caracterizado porque comprende las etapas de:

a) calentar (100) un molde superior con la configuración de los canales y un molde inferior con una superficie totalmente plana a una temperatura de aproximadamente 80°C,

20 b) introducir (200) una placa de PMMA, entre ambos moldes durante aproximadamente 10-15 minutos a temperatura de [70-90]°C,

c) elevar la temperatura (300) hasta aproximadamente 200°C durante aproximadamente 10 minutos,

25 d) una vez estabilizada la temperatura del sistema molde-PMMA- molde, aplicar una presión (400) de 165.47 MPa,

e) desmoldar

8. El método de conformidad con la reivindicación 7, caracterizado porque los moldes son placas de acero inoxidable, en donde el calentamiento se realiza mediante la colocación de las placas sobre una parrilla de calentamiento en una prensa de platos paralelos

9. Un método para fabricar electrocatalizadores bimetálicos que comprende los pasos de:

a) mezclar las sales metálicas HAuCl_4 , AgNO_3 y PtCl_4 ,

b) disolverlas en 10 mL de agua destilada,

10 c) mezclarlas con 0.3748 g bromuro de tetraoctil amonio (BTOA) disueltos en 20 mL de tolueno y agitar por 30 minutos a temperatura ambiente,

d) enfriarla mezcla hasta 2°C y adicionar 0.257 mL de dodecanotiol, cuando la mezcla alcanzalos 2°C , adicionar 0.1512 g de NaBH_4 y mantener en agitación por dos a 3 horas aproximadamente,

15 e) separar las fases y recuperar la fase orgánica, la cual se evapora a vacío en un rotavapor a aproximadamente 65°C , el sólido recuperado se dispersa en etanol y se almacena en refrigeración hasta el día siguiente,

f) el sólido obtenido, nanopartículas metálicas sin purificar, se recupera por centrifugación y se lava 2 veces con etanol dispersando en ultrasonido en cada lavado, con el propósito de purificarlas,

20 g) el sólido lavado y purificado se dispersa en hexano y se soporta sobre carbón vulcan al 30% p/p.

h) las nanopartículas soportadas se someten a un tratamiento térmico de 25 a 350°C con una rampa de $5^\circ\text{C}/\text{min}$, manteniendo durante tres horas a 350°C .

10. Un electrocatalizador nanometrico con alta selectividad a reacción electroquímica comprende $Pt_{80}Ag_{20}/C$.

11. Un electrocatalizador nanometrico con alta selectividad a reacción electroquímica comprende $Au_{80}Ag_{20}/C$.

5 12. La microcelda de conformidad con la reivindicación 1, caracterizada porque comprende como ánodo Au/C y como cátodo $Pt_{80}Ag_{20}/C$.

13. La microcelda de conformidad con la reivindicación 1, caracterizada porque comprende como ánodo $Au_{80}Ag_{20}/C$ y como cátodo $Pt_{80}Ag_{20}/C$ y porque opera de flujo 0 de combustible y oxidante hasta
10 aproximadamente un flujo de $500 \mu L \text{ min}^{-1}$

14. Un método para producir energía eléctrica caracterizado porque comprende, utilizando la microcelda descrita en la reivindicación 1,

a) inyectar en el orificio de alimentación una mezcla de combustible-oxidante a un flujo de hasta $500 \mu L \text{ min}^{-1}$.

15 b) conectar un cable al ánodo de la celda y otro al cátodo para extraer la potencia de la microcelda.

15. Un método para producir energía eléctrica caracterizado porque comprende, utilizando la microcelda descrita en la reivindicación 1,

20 a) inyectar en el orificio de alimentación una mezcla de combustible-oxidante hasta llenar el o los canales de la celda y mantener un flujo de $0 \mu L \text{ min}^{-1}$.

b) conectar un cable al ánodo de la celda y otro al cátodo para extraer la potencia de la microcelda.

RESUMEN

Se construyeron microceldas microfluídicas de PMMA utilizando un novedoso método de construcción de su placa base y novedosos electrocatalizadores de alta selectividad para la producción de energía eléctrica. Para probar el funcionamiento de las celdas y determinar su producción eléctrica, se utilizaron diferentes combinaciones de materiales en el electrocatalizador y pruebas tanto en su funcionamiento como cátodo como en su funcionamiento como ánodo, los electrocatalizadores se construyen de $Pt_{80}Ag_{20}/C$ y $Au_{80}Ag_{20}/C$.

10

15

20

25

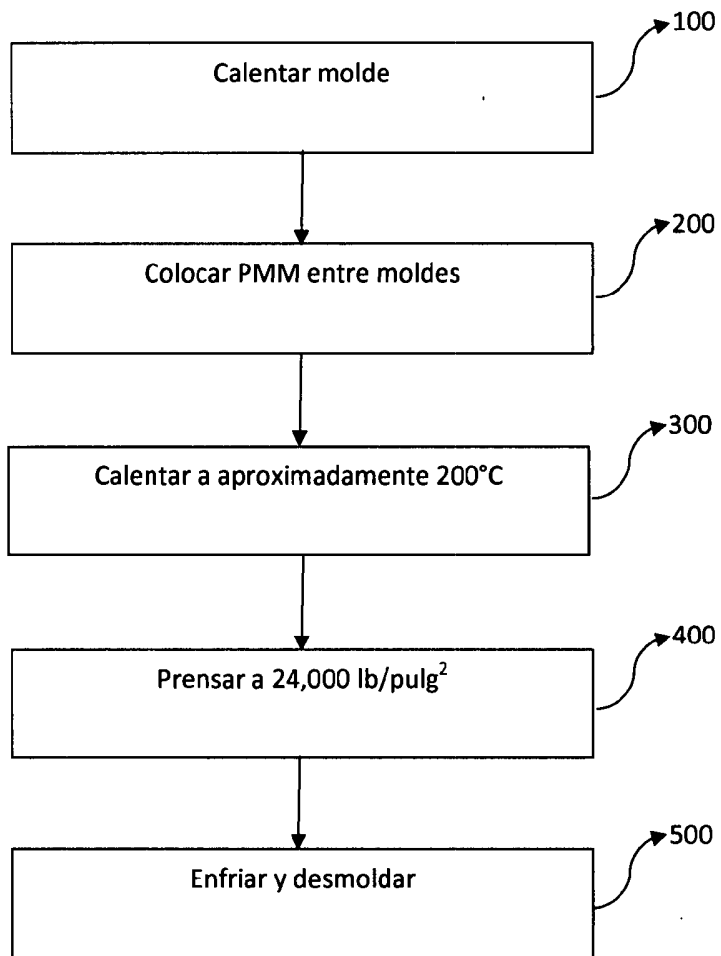


FIG. 1

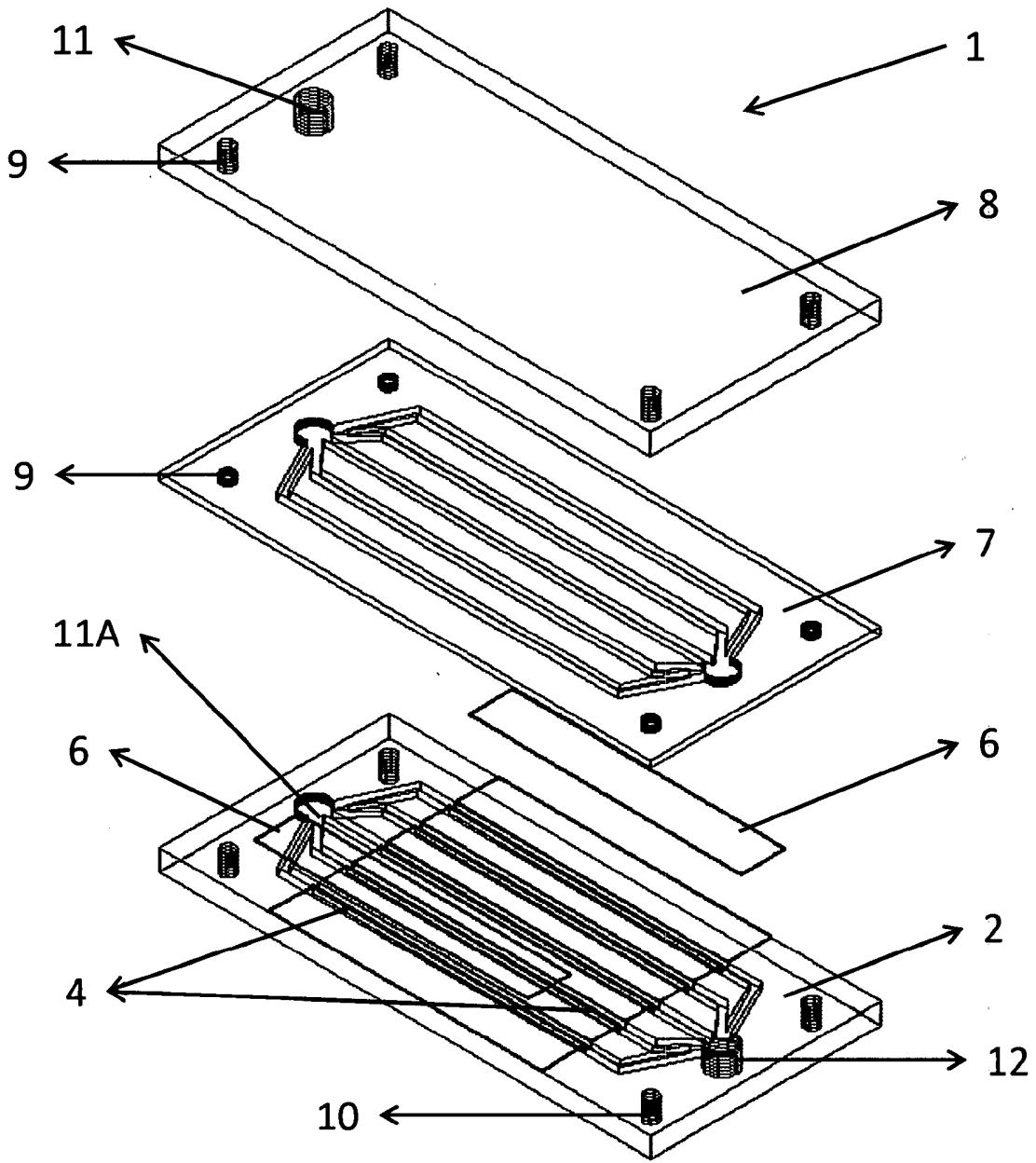


Fig. 2

3/8

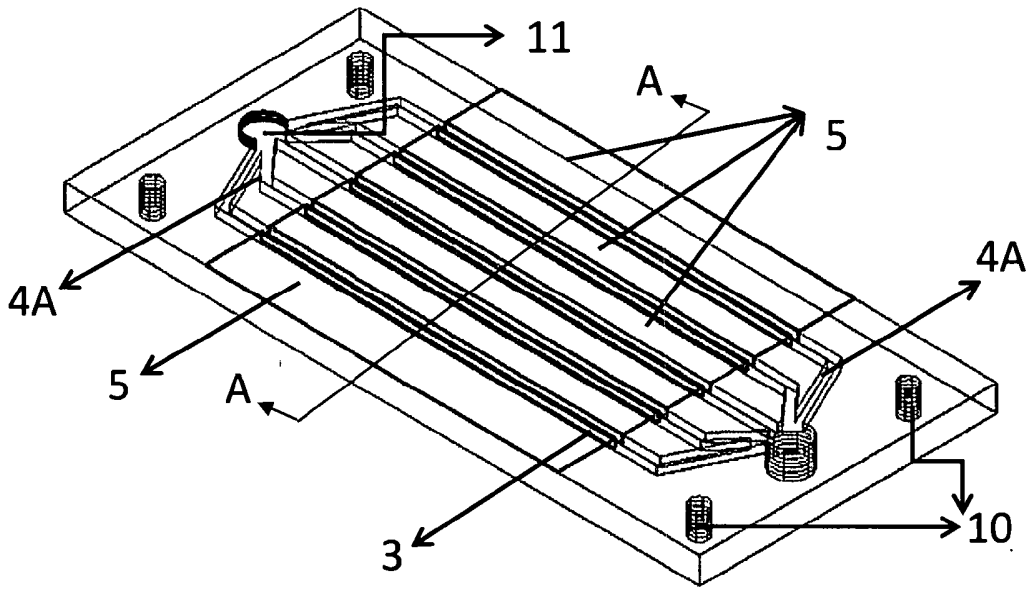


Fig. 3

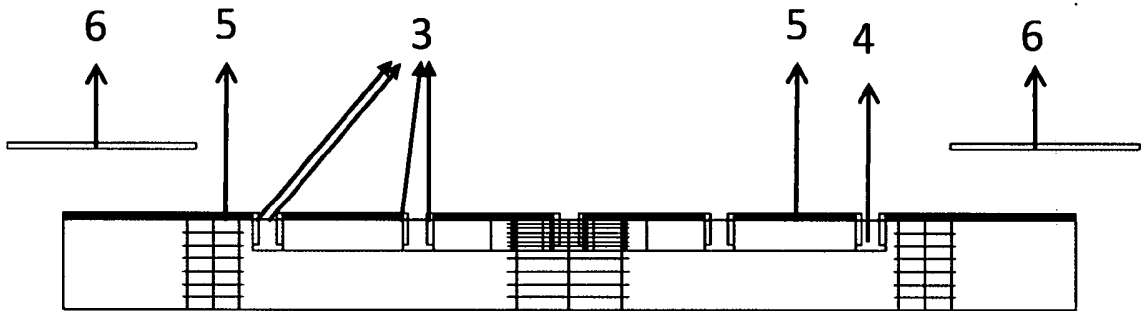


Fig. 4

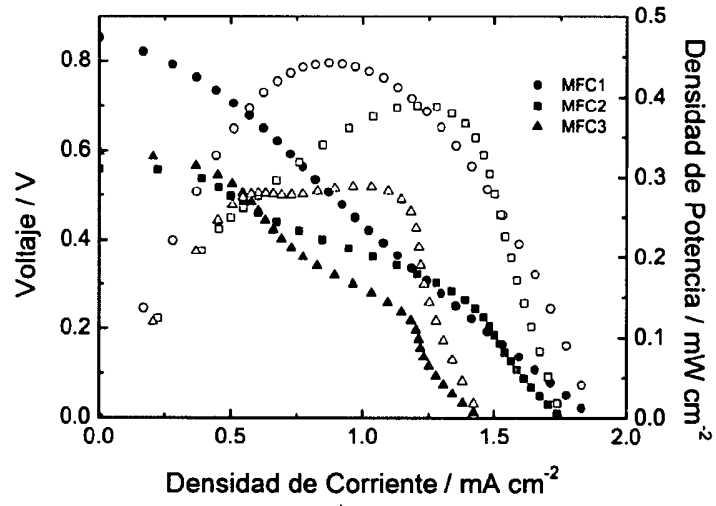


Fig. 5

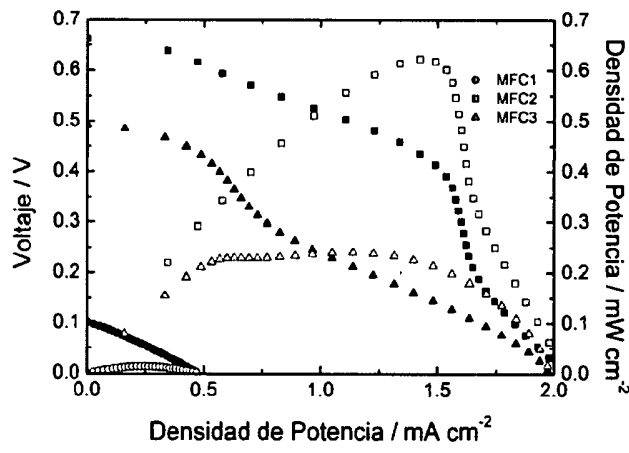


Fig. 6

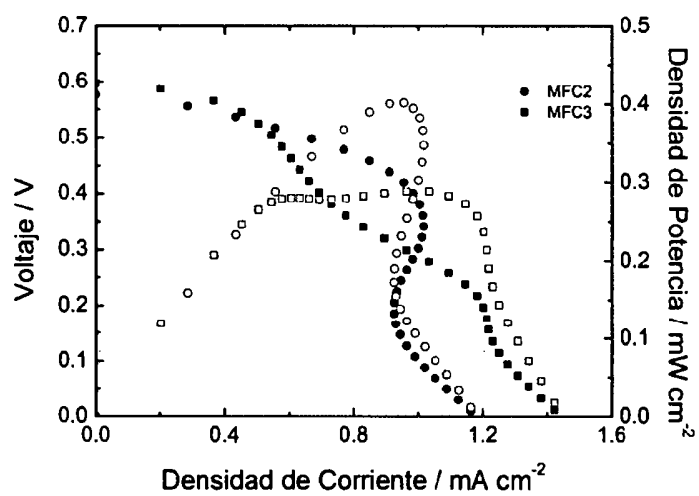


Fig. 7

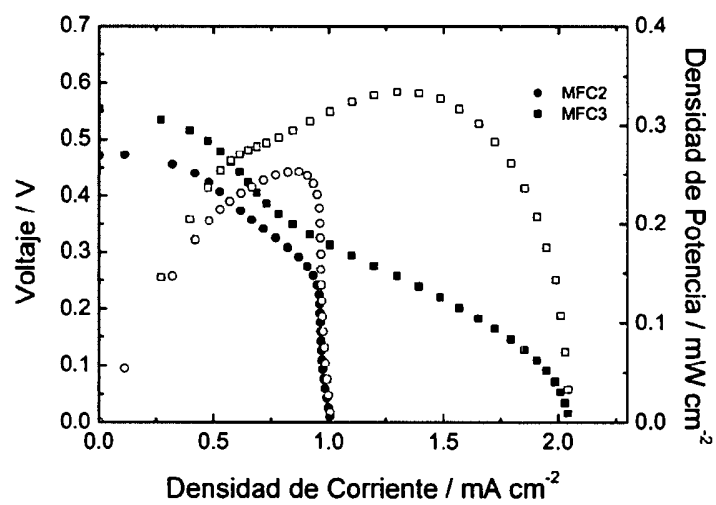


Fig. 8

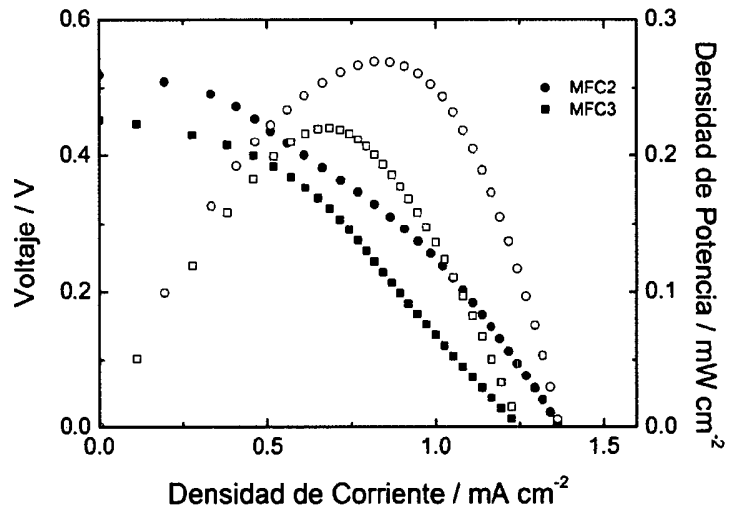


Fig. 9

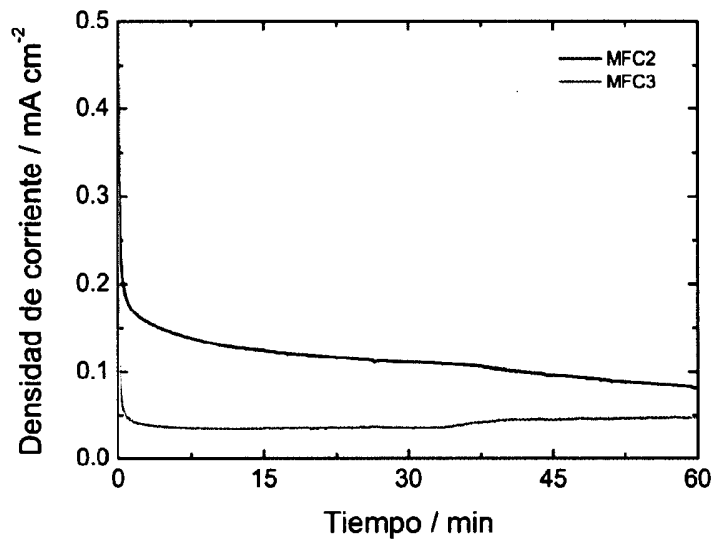


Fig. 10

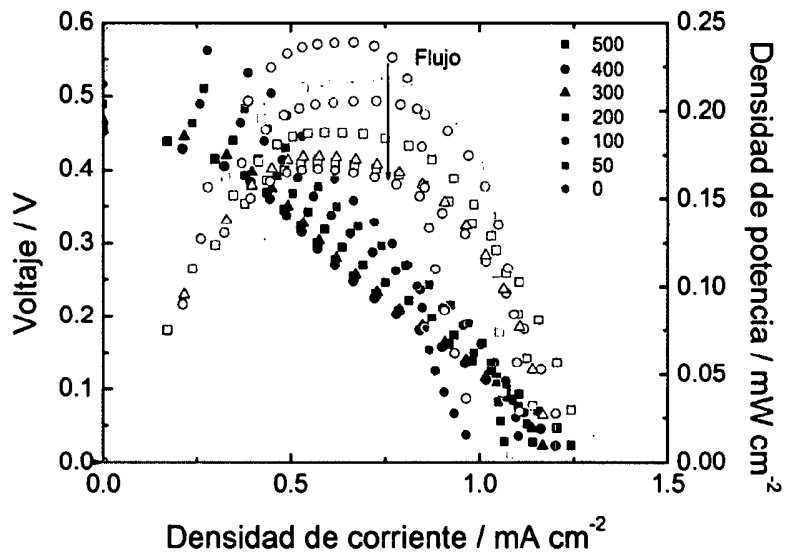


Fig. 11

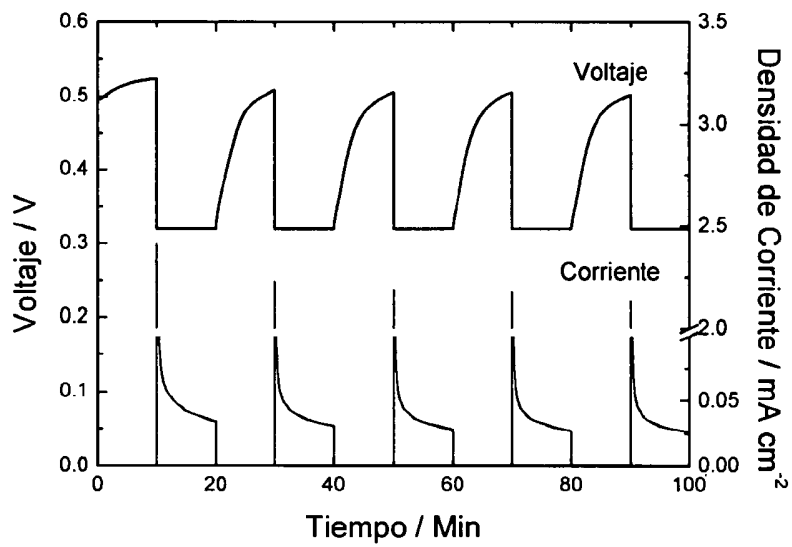


FIG. 12

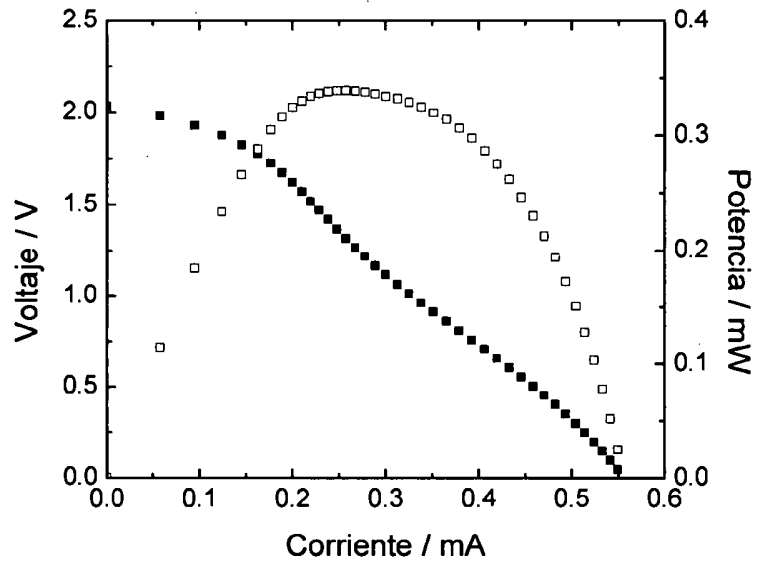


FIG. 13