



## **Diseño y elaboración de un prototipo de una micro-celda tipo bioetanol directo**

José Daniel Baleón-Romero<sup>1</sup>, Nallely Téllez-Méndez<sup>1</sup>, Laura A. Paniagua-Solar\*<sup>1</sup>, Beatriz Graniel-García<sup>1</sup>, Celia Ramírez-Ramos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 4 sur #104; Col. Centro,  
Puebla de Zaragoza 72000, Puebla, México

\*Autor de correspondencia: [jose.baleon@correo.buap.mx](mailto:jose.baleon@correo.buap.mx)

Recibido 14 de agosto de 2020; aceptado 28 de septiembre de 2020

### **RESUMEN**

Las celdas de combustible son una solución viable a problemas de dependencia de petróleo y contaminación ambiental debido a que son dispositivos capaces de producir energía eléctrica por medio de reacciones químicas; no obstante, una desventaja de estos dispositivos es su tamaño y su costo debido a que la mayoría de ellos están hechos de grafito, que posee espesores muy grandes, además de ser un material costoso. En este trabajo, se realizó el desarrollo de un prototipo de una micro-celda de combustible utilizando materiales de bajo costo tanto en la fabricación de la carcasa como en el ensamblaje de la MEA (conjunto de membrana electrodo) y catalizadores para convertirlo en económicamente viable. Se presenta el diseño del prototipo en SolidWorks 2016, donde se aprecia la elaboración de los componentes del prototipo y la prueba del funcionamiento en la producción de electricidad utilizando bioetanol como combustible; además, se muestra la curva de polarización de la micro-celda de combustible para su comprobación. Los resultados obtenidos muestran que es factible hacer una reducción significativa de las celdas convencionales para su futura aplicación en dispositivos móviles.

**PALABRAS CLAVE:** Micro-celda, MEA, catalizador, bioetanol.

### **ABSTRACT**

Fuel cells are a viable solution to problems of dependence on oil and environmental pollution since they are devices capable of producing electrical energy through chemical reactions; however, a disadvantage of these devices is their size and their cost since most one of them is made of graphite, which has very large thicknesses, in addition to being an expensive material. In this work, the development of a prototype of a micro-fuel cell was carried out using low-cost materials in both the manufacture for the casing and the assembly of the MEA (membrane electrode assembly) and catalysts to be economically viable. The design of the prototype is presented in SolidWorks 2016, where it is appreciated the elaboration of the components of the prototype and the test of the operation in the production of electricity using bioethanol as fuel; besides, the polarization curve of the micro-fuel cell is shown for checking. The results obtained show that it is feasible to make a significant reduction in conventional cells for future application on mobile devices.

**KEY WORDS:** Mirco-cell, MEA, catalyst, bioethanol.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, dentro de la tecnología se busca una alternativa a los combustibles fósiles conforme a diferentes motivos, y el más relevante es la protección al medio ambiente, para lo cual se busca la generación de energía mediante fuentes limpias. Las celdas de combustible tipo PEMFC (celda de combustible de membrana de intercambio protónico) son una gran alternativa para la generación de energía limpia ya que los residuos de la celda de combustible son agua y calor (Guerrero et al., 2012).

Aunque la celda de combustible tipo PEMFC representa una solución a la contaminación global, siempre hay un inconveniente persistente que son los altos costos, como es el caso de la membrana de nafión, además del laborioso proceso de pretratamiento de la misma; aunado a esto, los catalizadores utilizados a base de platino tienen un alto costo en el mercado.

Actualmente, el desarrollo de la celda de combustible se ha enfocado en la industria automotriz porque representa la reducción de los contaminantes emitidos al medio ambiente. Una de las posibilidades para la reducción de los costos de celdas de combustible es la investigación de nuevos materiales en la MEA

(ensamble membrana-electrodo); también se han hecho investigaciones en encontrar catalizadores sustentables y económicos que permitan la reducción de costos. Uno de los combustibles más estudiados en celdas de combustible es el hidrogeno; sin embargo, el bioetanol como combustible nos permite disminuir los costos y riesgos debido a la manipulación de un compuesto de fácil manejo, tanto en su producción como en el almacenamiento.

En este trabajo, se desarrolló un prototipo de una Micro-celda de combustible utilizando materiales económicamente viables para su elaboración, incluyendo el diseño, la manufactura y la prueba de la micro-celda utilizando bioetanol como combustible.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La estructura de la micro-celda de combustible comprende diferentes componentes, de los cuales se desprenden las placas protectoras (tereftalato de polietileno glicol -PETG-), placas de recolección de electricidad (latón); en el caso de la membrana, se hará una estructura con hidrogel de poliacrilato de sodio y con ello remplazar la membrana de nafión, mientras que para remplazar el catalizador se empleó zeolita y carbón

lignítico en proporción 50%/50%. En cada uno de los componentes existe un material diferente elegido por sus características y su funcionalidad, de manera que la micro-celda presente una buena operación para la generación de electricidad (Lee et al., 2019).

**Tereftalato de polietileno glicol (PETG).** - Las placas protectoras se manufacturaron con este material debido a que se utiliza comúnmente en las impresiones 3D, además de tener propiedades físicas como resistencia mecánica y térmica. (Dolzyk et al., 2019).

**Latón.** - Las placas recolectoras de electricidad se realizaron de latón debido a su económico precio en el mercado y a la resistencia que presenta a la corrosión. (Hoshi et al., 2015).

**Hidrogel de poliacrilato de sodio.** - Se utilizó para sustituir la membrana de nafión, que permite el paso de los protones de ánodo al cátodo. Asimismo, el hidrogel tiene la función de un electrolito, y por esta característica se comporta como conductor eléctrico; en este caso en concreto se comporta como intercambiador de moléculas (Elyashevich et al., 2009).

**Zeolita.** - Las zeolitas tienen un amplio rango de aplicaciones, pues se pueden utilizar como adsorbentes, intercambiadores de iones, catalizadores, tamices

moleculares, esto de acuerdo con los arreglos zeolíticos uniformes que las hacen tener características únicas, tales como alta estabilidad térmica, estabilidad mecánica, alta superficie específica, acidez sintonizable, selectividad de forma y resistencia a la corrosión (Limlamthong et al., 2019). Debido a estas propiedades, se utilizó como sustituto de catalizador a base de platino en esta investigación.

**Carbón lignítico.** - Este material es otro de nuestros catalizadores, y se trata de un carbón mineral que tiene una alta capacidad en combustión espontánea debido a que contiene demasiado oxígeno respecto a su composición; además, se ha reportado que este material presenta una alta habilidad de cambio de iones, así como de contener alta humedad y cenizas. (Ren et al., 2017).

**Bioetanol.** - Se obtiene a gran escala a partir de la conversión de azúcares, biomasa, cereales u otras fuentes de alimentación a base de carbono. Se puede almacenar y transportar de forma fácil y segura con sistemas que ya se han establecido para el mercado de la industria del petróleo que se usan en la actualidad para abastecer a toda la red de transporte que existe en el mundo, como el transporte, la distribución y el almacenamiento, (Sánchez et al., 2019). Por la factibilidad de manejo, economía y ser

ambientalmente amigable, se utilizó como combustible para la micro-celda.

### Método de elaboración de PEMDC

Para la construcción de la micro-celda de combustible, se diseñaron las placas protectoras como el soporte de esta, utilizando el programa SolidWorks 2016.

### Diseño

La micro-celda fue diseñada con un área superficial delimitada por 3600 mm<sup>2</sup>; las dimensiones de frente de la placa de cátodo son de 60 mm X 60 mm, con cuatro orificios en cada punta con un radio de 1.589 mm, como se muestra en la figura 1.

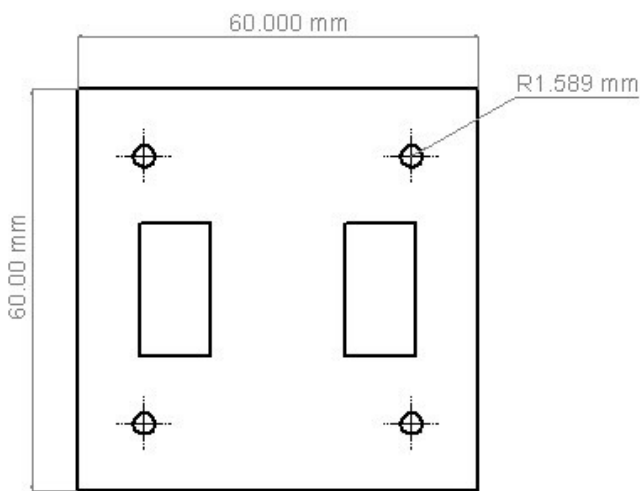


Figura 1. Dimensiones parte de frente cátodo

En la vista de reverso de la placa de cátodo (figura 2), se puede observar el espacio que se diseñó de tal manera que la placa de latón entre justa para evitar un desgaste; el corte de profundidad para la placa de latón es de 1 mm en la parte interior de la micro-celda.

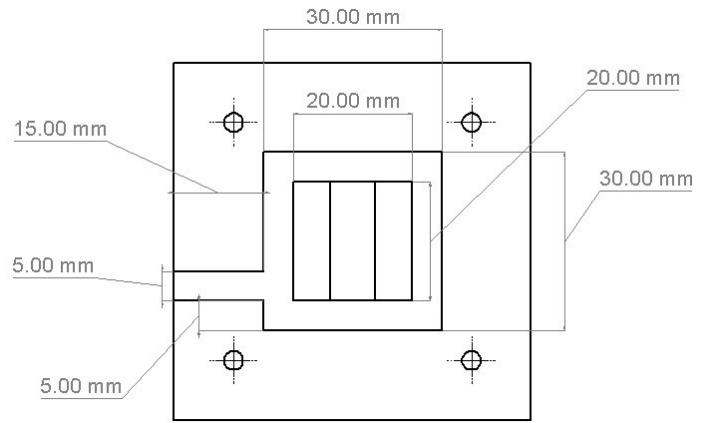
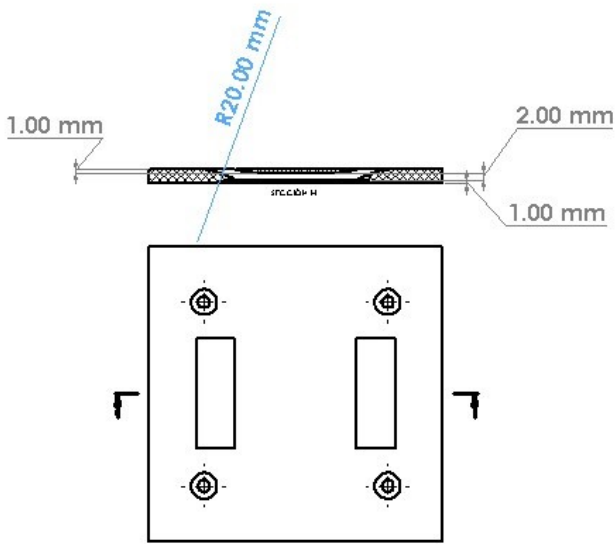


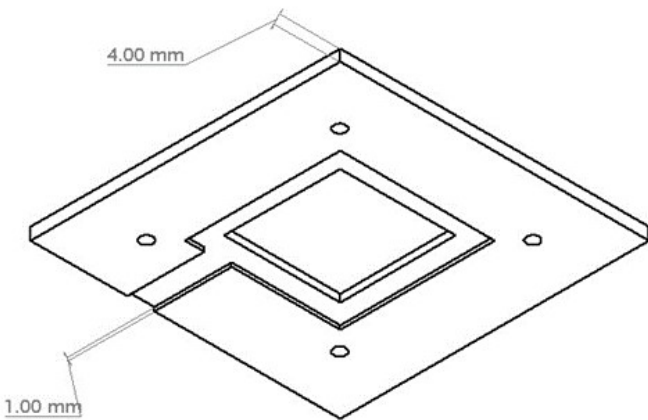
Figura 2. Dimensiones parte de reverso (cátodo)

En la vista transversal de la placa del cátodo, como se muestra en la figura 3, se aprecia el diseño de una entrada y una salida para el flujo de aire, permitiendo mantener la humedad del hidrogel.



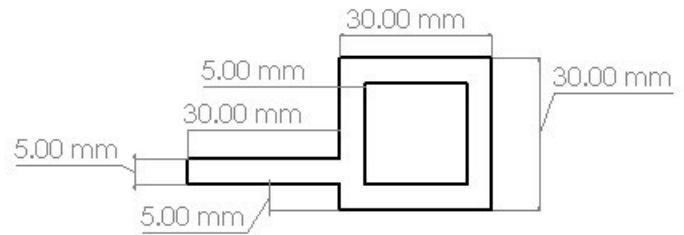
**Figura 3.** Dimensiones sección transversal (cátodo)

La figura 4 muestra la placa protectora del cátodo en la vista isométrica, donde se puede observar el grosor de la placa y el corte de profundidad.



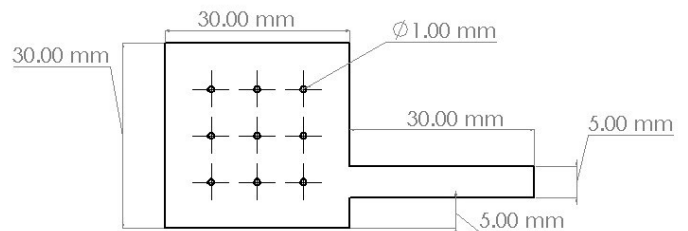
**Figura 4.** Vista isométrica placa (ánodo)

Se realizaron dos placas de latón, una para el ánodo y otra para el cátodo. En la figura 5 se muestra la placa de latón para el cátodo y se observa que es un corte abierto que permite la entrada del aire.



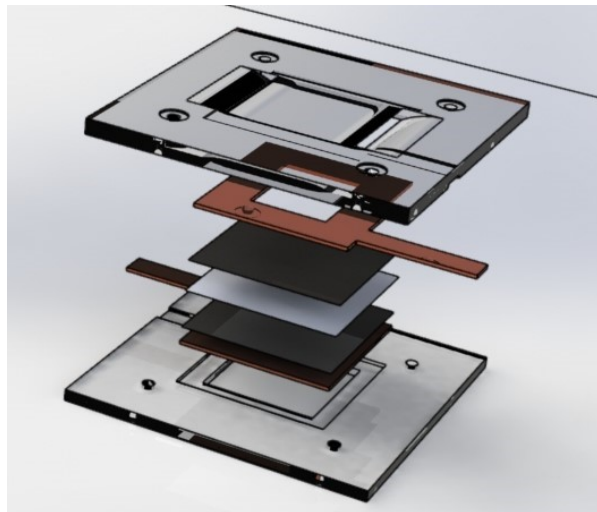
**Figura 5.** Placa de latón (cátodo)

En la figura 6 podemos observar el diseño de la placa de latón; en el lado del ánodo, podemos notar que el diseño incluye orificios pequeños donde se inyectará el bioetanol para su reacción dentro de la micro-celda.



**Figura 6.** Placa de latón (ánodo)

En la imagen 1 se muestra la celda de combustible fraccionada en SolidWorks 2016.



**Imagen 1.** Vista fraccionada SolidWorks 2016

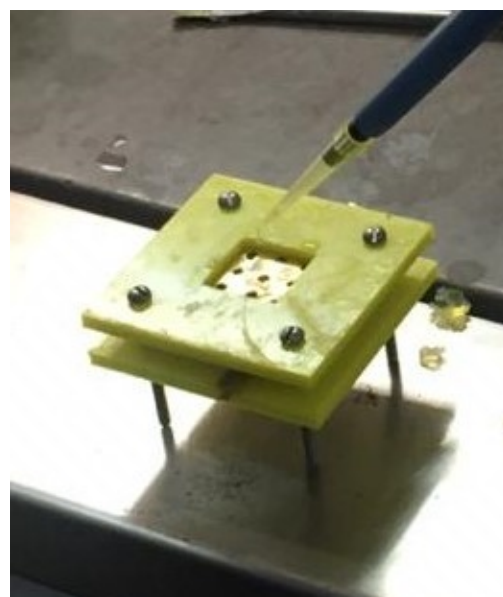
### **Método elaboración de MEA (conjunto de membrana electrodo)**

La membrana se elaboró a partir del hidrogel; primero se hidrataron las bolitas de hidrogel durante 24 h, y una vez hidratadas, se pesaron 10 gr de hidrogel hidratado y con un mortero se pulverizó para tener una consistencia de pasta, la cual servirá para posicionarla como una membrana intercambiadora de protones.

Posteriormente, se elaboró el catalizador pesando .150 gr de zeolita y .150 gr de carbón. Por último, el catalizador se mezcló con el hidrogel y realizó el ensamble.

### **Método de ensamble de la celda de combustible**

Para nuestro ensamble, se colocó primero la placa protectora del ánodo para tener una base, e inmediatamente después continuamos con la colocación de la placa de latón del ánodo, como se muestra en la imagen 1. Una vez hecho lo anterior, se adicionó la MEA, y finalmente se colocó la placa de latón del lado del cátodo y se selló con la placa protectora del lado del éste. En la imagen 2 se puede observar la celda de combustible terminada para sus debidas pruebas en laboratorio.



**Imagen 2.** Micro-Celda de combustible terminada

### **Método para la obtención del potencial estándar de la celda de combustible**

Para obtener los voltajes esperados y el calor generado en la celda de combustible, es preciso hacer un análisis químico con el potencial estándar de una celda de combustible.

## RESULTADOS

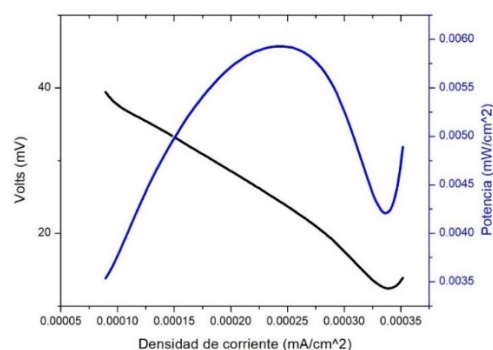
Para una curva de polarización de una celda de combustible, es necesario que se realice en condiciones de corriente continua; por lo general, estas curvas de polarización se llevan a cabo de menor a mayor densidad de corriente, y representa la primera evaluación del desempeño que se deben obtener de la micro-celda de combustible.

De acuerdo con la ley de Ohm, podemos evaluar la densidad de corriente de mayor a menor y verificar si nuestra micro-celda de combustible es funcional, además de que podemos inferir si hay un aumento en la resistencia; se observará una disminución en la densidad de corriente y viceversa, esto siempre y cuando el área no se modifique de alguna manera.

Para las gráficas de curva de polarización, en el eje de las abscisas se usa la densidad de corriente ( $mA/cm^2$ ) y en el eje de las ordenadas el voltaje correspondiente a la medición; cabe señalar que para la obtención del área

se utilizó el programa SolidWorks 2016. El área de la superficie de la placa del cátodo es de  $1554.80\text{ mm}^2$ , mientras que en la placa del ánodo el área de superficie es de  $2289.97\text{ mm}^2$ , datos con los que se procedió a sumar ambas áreas superficiales, las cuales nos daban como resultado  $3844.77\text{ mm}^2$ .

Para la prueba en la micro-celda, se inyecta .5 ml de bioetanol. En la gráfica 1 podemos observar el resultado en voltaje vs densidad de corriente y en potencia vs densidad de corriente.



**Gráfica 1.** Resultados tercera prueba

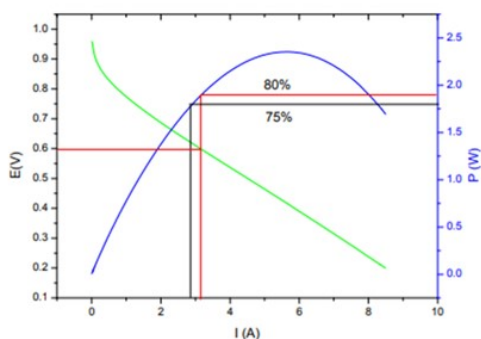
En la gráfica 1 se puede observar la evolución del voltaje en función de la corriente y la potencia máxima que ofrece la celda de combustible, la cual es de  $0.006\text{ mW/cm}^2$ .

Sandra & Rivas (2009), en su investigación muestran una gráfica de la curva de polarización que se obtiene de una celda de combustible, y los resultados demuestran una



similitud en la curva de polarización de la micro-celda de combustible diseñada en este trabajo de investigación.

En la gráfica 4 podemos observar los resultados en la investigación de Sandra & Rivas (2009).



Gráfica 1. Resultados (Sandra et al., 2009)

## COCLUSIONES

Como resultado tangible de este trabajo, se logró diseñar un prototipo de micro-celda, disminuyendo costos de producción con la utilización de materiales económicos para la producción de energía eléctrica. Asimismo, se utilizó bioetanol como combustible para la micro-celda, mostrando ser una alternativa no agresiva para el medio ambiente.

## BIBLIOGRAFÍA

Dolzky, G., & Jung, S. (2019). Tensile and Fatigue

Analysis of 3D-Printed Polyethylene Terephthalate Glycol. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 19(2), 511–518.

<https://doi.org/10.1007/s11668-019-00631-z>

Elyashevich, G. K., Bel'Nikevich, N. G., &

Vesnebolotskaya, S. A. (2009). Swelling-contraction of sodium polyacrylate hydrogels in media with various pH values. *Polymer Science - Series A*, 51(5), 550–553.

<https://doi.org/10.1134/S0965545X09050095>

Guerrero-Lemus, R., & Martínez-Duart, J. M. (2012).

Lecture Notes in Energy. In *Media* (Vol. 79, Issue 0). <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4385-7>

Hoshi, Y., Itagaki, M., Tabei, K., & Shitanda, I. (2015).

Anodic dissolution of brass and dezincing-resistant brass investigated using channel flow double electrode. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 19(12), 3551–3557.

<https://doi.org/10.1007/s10008-015-2840-9>

Langmi, H. W., Ren, J., & Musyoka, N. M. (2016).

Nanomaterials for Fuel Cell Catalysis. In *Nanostructure Science and Technology*.

<https://doi.org/10.1007/978-3-319-29930-3>

- Lee, J., Gundu, M. H., Lee, N., Lim, K., Lee, S. W., Jang, S. S., Kim, J. Y., & Ju, H. (2019). Innovative cathode flow-field design for passive air-cooled polymer electrolyte membrane (PEM) fuel cell stacks. *International Journal of Hydrogen Energy*, *xxxx*.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.07.128>
- Limlamthong, M., & Yip, A. C. K. (2019). Recent Advances in Zeolite-Encapsulated Metal Catalysts: A Suitable Catalyst Design for Catalytic Biomass Conversion. *Bioresource Technology*, *297*(September 2019), 122488.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122488>
- Pethaiah, S. S., Arunkumar, J., Ramos, M., Al-Jumaily, A., & Manivannan, N. (2016). The impact of anode design on fuel crossover of direct ethanol fuel cell. *Bulletin of Materials Science*, *39*(1), 273–278.  
<https://doi.org/10.1007/s12034-015-1130-6>
- Ren, J., Cao, J. P., Zhao, X. Y., Wei, F., Liu, T. L., Fan, X., Zhao, Y. P., & Wei, X. Y. (2017). Preparation of high-dispersion Ni/C catalyst using modified lignite as carbon precursor for catalytic reforming of biomass volatiles. *Fuel*, *202*, 345–351.  
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.04.060>
- Sánchez-Monreal, J., García-Salaberri, P. A., & Vera, M. (2019). A mathematical model for direct ethanol fuel cells based on detailed ethanol electro-oxidation kinetics. *Applied Energy*, *251*(October 2018), 113264.  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.05.067>
- Sandra, M. E. Q., & Rivas, V. (2009). “ESTUDIO DE MATERIALES METÁLICOS Y DISEÑOS DE PLACAS DE FLUJO PARA CELDAS DE COMBUSTIBLE DE MEMBRANA PROTÓNICA” *Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica*.
- Scholz, F. (2017). Wilhelm Ostwald’s role in the genesis and evolution of the Nernst equation. *Journal of Solid State Electrochemistry*, *21*(7), 1847–1859.  
<https://doi.org/10.1007/s10008-017-3619-y>
- Una, E., & Bibliográfica, R. (2002). *El Mecanismo De La Electro – Oxidación De Metanol Y*. *69*, 9–22.