

**CONSTRUCCION Y EVALUACIÓN DE UN PROTOTIPO DE CELDA A COMBUSTIBLE
(PROTON EXCHANGE FUEL CELL)**

L. Da Silva¹, M.M.S. Paula², M. Fiori², R. Benavides³, V. Santos¹

¹Laboratório de Pesquisa em Energia – LAPEN, Universidade do Vale do Itajaí, Rodovia SC 407, km 4, São José, SC, 88122-000, Brasil. E-mail: Luciano.silva@univali.br ; Tel.: +55 48 3281 1507; fax: +55 48 3281 1519

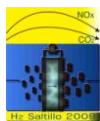
²Lasicom, Universidade do Extremos Sul Catarinense (UNESC), Av. Universitaria 1105, Bairro Universitario, Criciúma, S.C. Brasil

³Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), Blvd. Enrique Reyna 140, Saltillo, Coah., México, (estancia sabática en UNESC-Brasil).

RESUMEN

En función de la necesidad de energía eléctrica como insumo de vital importancia para el desarrollo del país, este trabajo pretende ofrecer una metodología alternativa para la construcción y demostración operacional de una celda a combustible del tipo PEMFC. La explotación de las reservas de gas natural descubiertas recientemente puede realizarse a través de métodos modernos y su uso tiene las prioridades de generación, distribución y bajo impacto ambiental. Todos estos aspectos se pueden observar dentro del uso de celdas a combustible, especialmente cuando se trabaja con gas natural reformado. Además del factor de bajo impacto ambiental durante la misma generación de energía, el uso de las celdas a combustible involucra una fuente generadora, que puede colocarse junto al consumidor, reduciendo aún más los problemas generados por las líneas de transmisión, el transporte del combustible, etc. Las celdas a combustible están recibiendo una gran atención en la comunidad internacional y algunos modelos ya están disponibles en la etapa comercial; estas están mostrando posibilidades excelentes de convertirse en una de las tecnologías futuras para la generación de energía eléctrica con bajo impacto ambiental.

Palabras clave: Celdas a combustible, electrolitos poliméricos, difusores de gases, hidrógeno

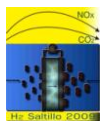


1.-Introducción

En la actualidad cada vez hay mayores necesidades de energía para la producción de alimentos, bienes de consumo, de servicios y producción, placer, etc., principalmente para promover el desarrollo económico, social y cultural. Es evidente la importancia de la energía no solo en el contexto de las grandes naciones industrializadas, sino principalmente para aquellas que están en pleno desarrollo y que sus necesidades energéticas son aún mayores. En este contexto, las fuentes alternativas de generación de energía vienen poco a poco ganando más adeptos, lo cual presiona para su mismo desarrollo y aplicaciones y confirmándose como una alternativa viable para la situación mundial energética. Las crisis constantes del petróleo, las dificultades para construcción de centrales hidroeléctricas, termoeléctricas, de carbón mineral, nucleares y otras formas de energía clasificadas como sucias, las cuáles generan un efecto ambiental que es inaceptable desde el punto de vista social, económico y humano, justifican la búsqueda de procesos de generación de energía limpios. Esta búsqueda de alternativas limpias se ha convertido en el mayor desafío tecnológico del mundo actual.¹⁻⁴

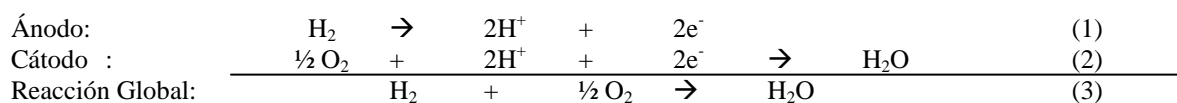
Como fuente renovable de energía por un mecanismo limpio, el sistema formado por celdas a combustible viene ganando interés en la comunidad científica durante las últimas décadas. Lo anterior gracias a que es un sistema limpio capaz de mover vehículos e producir electricidad para uso comercial y residencial. La funcionalidad de una celda a combustible se basa en el uso de hidrógeno como combustible, lo que permite obtener energía en grandes cantidades. Aún cuando el conocimiento de los principios de operación de las celdas a combustible existe desde hace mucho tiempo, el entendimiento completo de su funcionamiento es relativamente reciente. Los desarrollos recientes en difusores gaseosos, electrolitos y catalizadores han hecho que estos dispositivos sean cada vez más eficientes. Mientras que la eficiencia de un motor a combustible movido por diesel puede llegar hasta una eficiencia máxima de conversión de energía del 35%, para las celdas a combustible se puede alcanzar una eficiencia máxima mayor al 65% de conversión.⁵⁻⁷

Comparando con una batería común, donde la energía esta acumulada en el interior, la celda a combustible contiene los elementos de producción de energía y la reserva energética (combustible) de manera separada, lo que permite un uso mas simplificado. Las celdas a combustible son, en principio, baterías químicas, o sea, dispositivos que convierten la energía química directamente en energía eléctrica; pudiendo por lo tanto mantener una operación continua gracias a la alimentación constante de los combustibles hidrógeno y oxígeno. La reacción química resultante de su operación produce, además de energía eléctrica, calor y vapor de agua puro.⁸⁻⁹



Esta reacción ocurre a través de dos reacciones electroquímicas parciales de transferencia de carga entre dos electrodos separados por medio de un electrolito apropiado, o sea, la semi-reacción de oxidación de un combustible en un electrodo (ánodo) y la semi-reacción de reducción de otro combustible en el otro electrodo (cátodo).

Como producto se da la formación de agua e generación de calor, además de la liberación de electrones para un circuito externo que puede generar trabajo eléctrico. Las reacciones en los electrodos son:



Las celdas a combustible se clasifican de acuerdo con el tipo de electrolito utilizado. Los principales tipos de celdas son las celdas a combustible de carbonato fundido (MCFC, molten carbonate fuel cell), las de óxido de silicio (SOFC, solid oxide fuel cell), las de ácido fosfórico (PAFC, phosphoric acid fuel cell) y las de electrolito polimérico (PEMFC, proton exchange membrane fuel cell).¹⁰⁻¹²

A PEMFC es el tipo de celda a combustible mas promisorio para aplicaciones móviles, como carros, electrónicos portátiles e inclusive teléfonos celulares. Por este motivo, este es el tipo de celda a combustible que mas ha sido investigado en los últimos años. La principal diferencia de la PEMFC con las otras celdas, respecto a estructura, es el hecho de utilizar como electrolito una membrana polimérica. Para esta aplicación, el electrolito mas estudiado es un derivado del PTFE (poli tetrafluoro etileno) llamado Nafion®. El conjunto formado por electrodos y electrolito, da el nombre de MEA (membrane electrode assembly).

En este trabajo presentamos una metodología simple para la construcción de una celda a combustible de tipo PEMFC. Presentamos los detalles de preparación de los difusores gaseosos, placa de fijación y la MEA. El objetivo es difundir la tecnología de las celdas a combustible como también disponibilizar una metodología que permita la construcción e la utilización de este dispositivo en la generación de energía limpia.

2.- Condiciones experimentales

2.1.- Materiales

Para la construcción de la celda a combustible se utilizaron dos placas de “duroaluminio” 7075 (ANSI), placas de grafito resinado, membranas de Nafion 117 (Aldrich), catalizador de platino (Pt/C 10%) (Aldrich), alcohol isopropílico (Aldrich) y una solución de Nafion® (5% m/m en alcohol de bajo peso molecular con 10% de agua) (Aldrich).

2.2.- Estructura de la celda

Los principales componentes de una celda a combustible de tipo PEMFC son: sistema de fijación de placas, placas bipolares, electrodos de difusión gaseosa y electrolito. En la Figura 1 se puede observar el empaquetado de la celda a combustible con todos sus componentes.

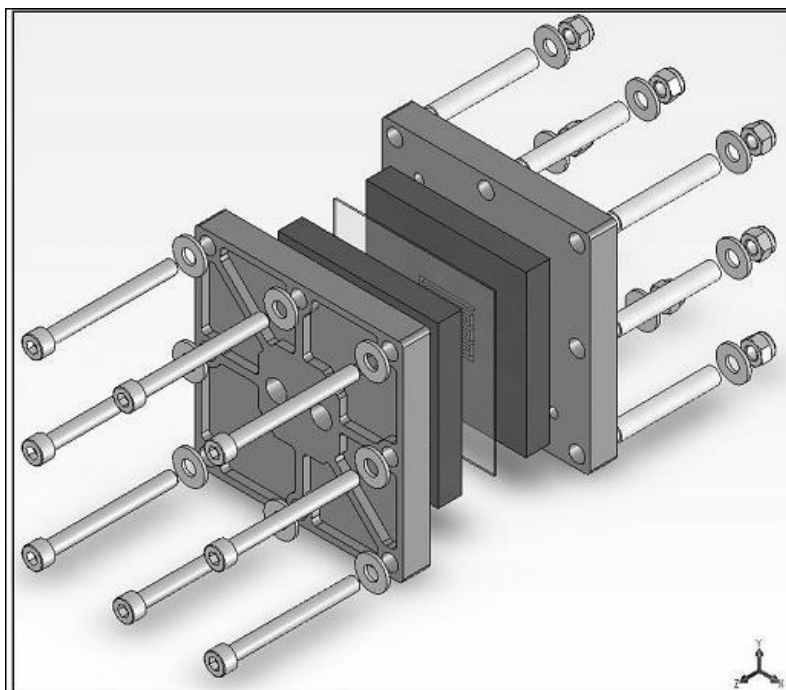


Figura 1. Esquema de montaje de una célula a combustible de tipo PEMFC.

2.1.1.- Soporte de fijación

Durante la operación de una celda a combustible, los gases hidrógeno y oxígeno se adicionan a la celda por vías separadas; de esta manera, el soporte de fijación debe contener esos flujos de alimentación de los gases. La Figura 2 muestra el diseño del sistema de soporte, consistente en placas maquinadas en duraluminio 7075, con las dimensiones así como las horadaciones de los canales de alimentación y de fijación.



La placa de distribución de gases también es llamada de placas bipolares son estructuras de canales de flujo para combustible y oxidante que son utilizados en ambos lados de la membrana de intercambio protónico (MEA). Cada placa de canales de flujo contienen un simple canal de gas dentro de un diseño interconectado que maximiza el contacto entre el gas y la MEA (conjunto electrodo-catalizador-electrolito). El diseño de los canales de flujo de gases es fundamental para una generación uniforme de potencia, estabilidad de la celda y extracción del producto agua. Existen varios diseños, los cuales están ligados a las diferentes aplicaciones. Cada placa debe ser eléctricamente conductiva, de forma tal que la corriente liberada durante las reacciones electroquímicas pueda fluir hasta la placa donde se colecta la energía. Las placas fueron preparadas de grafito resinado sobre las cuales fueron diseñados los canales de flujo de gases. El grafito es el material mas utilizado gracias a su excelente conductividad, baja contaminación y costo relativamente bajo; aunque por otro lado, es poroso y quebradizo. La Figura 3 muestra el diseño particular en este trabajo.

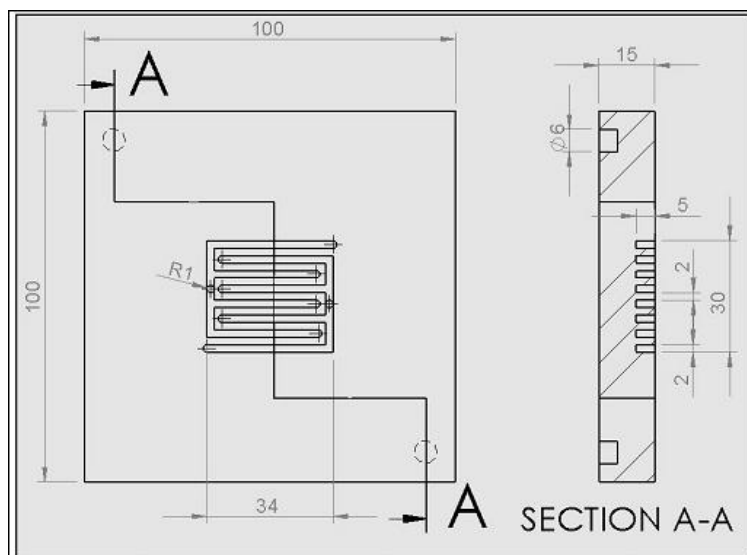


Figura 3. Layout interdigitado das placas de distribuição de gases.

2.1.3.- Conjunto electrodo-electrolito (MEA)

Los electrodos de difusión gaseosa son superficies altamente porosas, compuestos por partículas de carbón activado dopados con platino. Estas partículas son recubiertas con una camada del propio electrolito (solución de Nafion). Como soporte para esta camada del electrodo de difusión gaseosa se utilizó una tela de grafito de espesor 0.5 mm. La Figura 4 presenta un esquema del conjunto electrodo-electrolito utilizado.

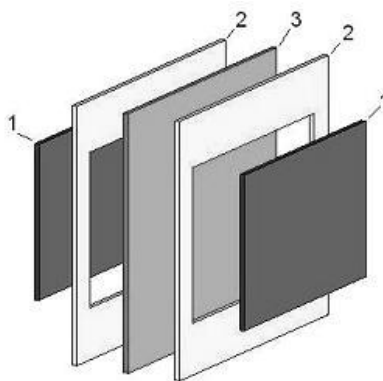


Figura 4. Esquema representativo do conjunto eletrodo-eletrólito. (1) eletrodo, (2) isolante, (3) membrana polimérica.

2.2.- Preparación del conjunto electrodo-electrolito y montaje de la celda a combustible

El conjunto electrodo-electrolito-electrodo (MEA) utilizadas en las celdas a combustible están compuestas por dos capas diferentes: la capa difusora y la capa catalizadora. La capa difusora estuvo compuesta por una suspensión homogénea, al 60% en masa, de polvo de carbono tipo Vulcan XC-72R y 15% en peso de politetrafluoroetileno (Teflon®). La mezcla fue suspendida ajustando el pH en 3 y filtrada a vacío sobre los dos lados de una tela de carbono. La estructura fue tratada térmicamente mediante un ciclo de 280°C durante 30 minutos para remover los agentes de dispersión y después a 330°C durante otros 30 minutos. La capa catalítica fue construida la capa difusora aplicando una suspensión homogénea de catalizador de platino (20% Pt/C), solución de Nafion® e isopropanol como solvente. La cantidad de solvente debe ser controlada para tener una carga de 0.4 mg de Pt/cm y 1.1 mg de Nafion®/cm.

El empaquetado del sistema electrodo/membrana se realizó prensando un par de electrodos separados por una membrana entre dos capas de material aislante, a 125°C y 50 kgcm⁻¹ (ver Figura 4).⁸ El montaje del sistema presentado se realizó con el cuidado necesario para mantener el aislamiento eléctrico y evitando las fugas de los gases de hidrógeno y oxígeno.

3.- Resultados y discusión

3.1.- Medidas de corriente-tensión

Después de que la celda fue montada como se mencionó anteriormente, se calentó la celda a 80 C. Esta temperatura es la necesaria para evitar la deshidratación de la celda y muy probablemente para permitir la operación de la celda (aun no se ha experimentado sin temperatura).

El sistema de tuberías para la alimentación de los gases hidrógeno y oxígeno fue conectado a la celda y después de 20 minutos de operación para la estabilización del sistema y de haber considerado todas las precauciones para fugas de los gases se iniciaron las pruebas de la celda. Dos multímetros fueron conectados a la celda, una para medir corriente y otra para medir tensión eléctrica, junto a un sistema regulable de resistencia. La Figura 5 muestra el circuito eléctrico utilizado en este trabajo.

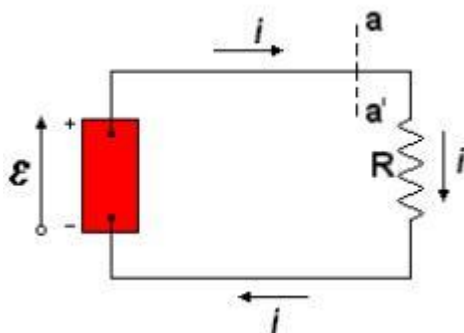


Figura 5. Circuito eléctrico utilizado en los experimentos de corriente-tensión.

Los valores fueron tomados considerando varias resistencias. Los resultados obtenidos de corriente y tensión para una monocelda de electrodos con área activa de 1 cm⁻¹ se muestran en Tabla 1 y la relación entre los correspondientes valores de tensión-corriente se presenta en la Figura 5.

Tabla I. Valores de corriente y tensión obtenidos para la celda a combustible de tipo PEMFC

Ω (Resistencia)	V (Tensión)	mA (Corriente)
∞	890 mV	0
1050,9	260 mV	250
749,5	210 mV	290
600,45	187 mV	320
450	150 mV	340
399,5	140 mV	350
371,5	155 mV	370
382,2	100 mV	380
409,4	81,3 mV	410
151,1	65 mV	440
101,5	53 mV	490
95,4	51 mV	500
90,4	48 mV	510
85,2	46 mV	510
80,2	41 mV	520
74,7	42 mV	530
70,3	39 mV	530

64,7	37 mV	550
60,1	35 mV	560
55,1	34 mV	560
49,6	28 mV	550
45,3	27 mV	560
39,8	23 mV	560
35,3	21 mV	560
25,2	16 mV	550
10,2	8 mV	580
1	3,2 μ V	600

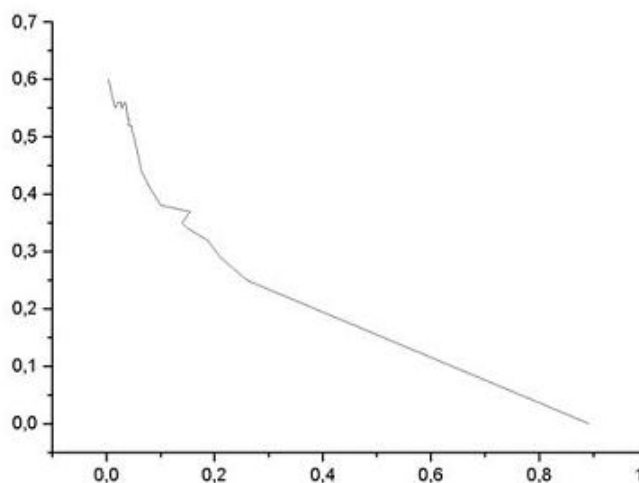
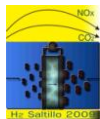


Figura 5. Relação Tensão X Corrente para a célula a combustível montada conforme a metodologia descrita neste trabalho.

4.- Conclusiones

Los materiales utilizados para la preparación de una celda a combustible demostraron ser adecuados para este uso. No se observaron pérdidas de eficiencia durante las pruebas realizadas y los resultados obtenidos de



tensión-corriente son compatibles con los descritos en la literatura, en términos de eficiencia de la celda a combustible.

5.- Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo a las instituciones UNIVALI, UNESC, FAPESC (Brasil) y al CIQA (México) por el financiamiento y apoyo al proyecto.

6.- Referencias

- ¹ K. V. Kordesh and G. Simader; *Fuel Cells and Their Applications*, VCT Publishers Inc., USA, (1996) chapter 1.
- ² S. Srinivasan, E.A. Ticianelli, C.R. Derouin and A. Redondo, *J. Power Sources* 22 (1988) 359.
- ³ E.A. Ticianelli and C.R. Derouin, *J. Electrochem. Soc.* 135 (1988) 2209.
- ⁴ S.J. Ridge, R.E. White, Y. Tsou, R.N. Beaverand, and G.A. Eisman, *J. Electrochem. Soc.* 136 (1989) 1902.
- ⁵ A. Walcarrius and J. Bessiere, *Eletroanalysis* 9 (1997) 707.
- ⁶ E.A. Ticianelli, J.G. Beery and S.J. Srinivasan, *J. Appl. Electrochem*, 21 (1991) 597.
- ⁷ P.R. Moses, L. Wier and R.W. Murray, *Anal. Chem.* 47 (1977) 1882.
- ⁸ V.A. Paganin , E.A. Ticianelli, and E.R. Gonzalez, *J. Appl. Electrochem.* 26 (1996) 297.
- ⁹ H.W. Lizcano-Valbuena, V.A. Paganin and E.R. Gonzalez, *Electrochim. Acta* 47 (2002) 3715.
- ¹⁰ A. Pozio, R.F. Silva, M. Francesco, F. Cardellini and L. Giorgi, *Electrochim. Acta* 48 (2002) 255.
- ¹¹ L. Silva, F.E. Silva, C.V. Franco, R.B. Nuernberg, T. Gomes, R. Miranda and M.M.S. Paula, *Mat. Sci. Eng. C.* 29 (2009) 599.
- ¹² M.M.S. Paula, C.V. Franco, M.C. Baldin, L. Rodrigues, T. Barichelo, G.D. Savi, L.F. Bellato, M.A. Fiori and L. Silva, *Mat. Sci. Eng. C.* 29 (2009) 647.