



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CARRO ELECTRICO MONOPLAZA (NAYAA) ACCIONADO POR CELDAS DE COMBUSTIBLE – PEMFC.

A. Rodríguez-Castellanos, S. Citalán-Cigarroa, J. L. Díaz-Bernabe, O. Solorza-Feria

Depto. Química, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN,

A. Postal 07360, México D.F., México.

Tel: 57473800 ext. 4473, Fax 57473389, acastella@cinvestav.mx

RESUMEN

El interés por utilizar nuevas alternativas para la producción de energía eléctrica libre de contaminantes mediante la utilización de combustibles y fuentes renovables, ha creado la necesidad de desarrollar y construir una gran variedad de sistemas y dispositivos para tal efecto. Se presenta en este trabajo experimental el diseño, construcción de un carro eléctrico monoplaça (Nayaa); accionado por celdas de combustible con membrana de conducción protónica PEM. El diseño de las celdas se realizó utilizando el software AutoCAD, la construcción de los platos colectores de corriente mediante una fresadora de control numérico CNC y los ensambles por medio de una cortadora láser. La caracterización se realizó mediante ensayos de polarización potencioestática. Las condiciones de operación con las que se caracterizó y acopló la celda fueron: alimentación del combustible (H_2) a temperatura ambiente y una presión de 0.1 atm (1.5psi), alimentación del oxidante (aire) mediante ventilación forzada y de bombas. Temperatura de operación de la celda de 20 a 70 °C. Los ensambles membrana-electrocatalizador (MEA) están formados por membrana Nafion® NRE-212, difusores de tela de carbón con carga de catalizador de Pt (20% peso/C) con cargas de 0.5 mg/cm², tanto en el ánodo como cátodo. Los platos colectores de corriente utilizados son de grafito de alta densidad con un espesor de 5mm. Se presenta la puesta en operación del carro eléctrico, el cual pesa 50 kg; constituido en su mayoría por aluminio.



1.- Introducción

En la actualidad el uso de los combustibles derivados del petróleo produce emisiones contaminantes, por lo tanto, afecta el cambio climático, provocando el calentamiento global y deterioro en la salud de los seres vivos. Muchos laboratorios del mundo han reportado prototipos de desarrollo y comercialización de dispositivos basados en la tecnología de las celdas de combustible, esto ayudará a disminuir la dependencia energética de los hidrocarburos.

Las celdas de combustible con membrana polimérica de conducción protónica son dispositivos que producen energía eléctrica C.D., mediante una reacción electroquímica que ocurre en los electrodos que se encuentran en su interior cuando se les alimenta hidrógeno (combustible) y oxígeno (oxidante), para producir una densidad de corriente, agua y calor, este proceso no produce contaminantes¹.

La versatilidad que presentan las celdas de combustible como son el tamaño, alta eficiencia, cero emisiones contaminantes y mantenimiento mínimo por no tener piezas que se muevan en el sistema, se les ha encontrado un gran número de aplicaciones en sistemas tales como el transporte, estacionarios y portátiles.

2.- Condiciones experimentales.

2.1.-Celdas de combustible.

El diseño de las dos celdas de combustible se realizó utilizando el software AutoCAD, tomando en cuenta los diferentes diseños que se proponen en la literatura^{2, 3, 4, 5} y la construcción de los platos monopolares, bipolares y finales de aluminio se maquinaron mediante una fresadora de control numérico CNC y los ensambles por medio de una cortadora láser.

Las celdas de combustible, están constituidas por platos de carbón de alta densidad con un espesor de 5mm, 100mm de ancho y 100mm de largo, el diseño de campo de flujo del gas para el ánodo y cátodo es en forma de canales rectos transversales, dos láminas de latón para colectar la corriente, cuatro platos de acrílico para canalizar la entrada y salida del hidrógeno, dos platos finales de aluminio y empaques.

Entre cada plato colector de corriente existe un ensamble membrana-electrocatalizador, MEA, los cuales están formados por membrana Nafion® NRE-212, difusores de tela de carbón con carga de catalizador de Pt al 20% peso/C con cargas de 0.5 mg/cm^2 , tanto en el ánodo como cátodo. El desempeño de las celdas de combustible se determinó mediante polarización potenciostática en un módulo de pruebas.

En la figura 1 se muestran las dos celdas de combustible, a la izquierda la celda #2 de 150w con 21 ensambles (MEA) y a la derecha la celda #1 de 100w con 20 ensambles (MEA).

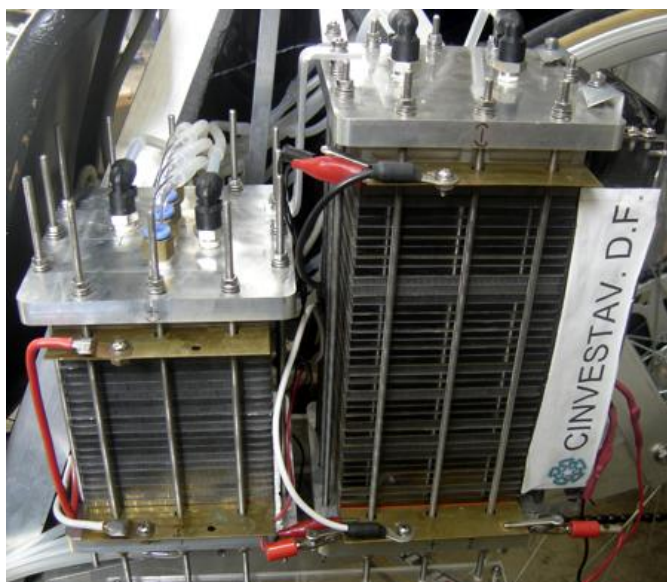


Figura 1. Celdas de combustible con membrana de intercambio protónico.

2.2.- Electrónica de potencia.

Se diseñó y construyó la electrónica de potencia de 100W para poder tener energía eléctrica regulada, la cual está constituida por un convertidor CD/CD basado en microprocesador que se acopla a la celda de combustible #1 y poder aprovechar la máxima potencia de la celda. El convertidor puede operar con un voltaje de entrada de entre 6V a 15V y producir un voltaje de salida de 13.8V con una variación de $\pm 0.5 \text{ Volts}$. Se acopló un inversor de 100W al convertidor, que opera con un voltaje de entrada de 13.8V a 8A y produce un voltaje de salida de 115V CA, 60Hz.

En la figura 2 se muestra una foto de la electrónica de potencia, convertidor CD/CD conectado al inversor CD/CA de 100W.

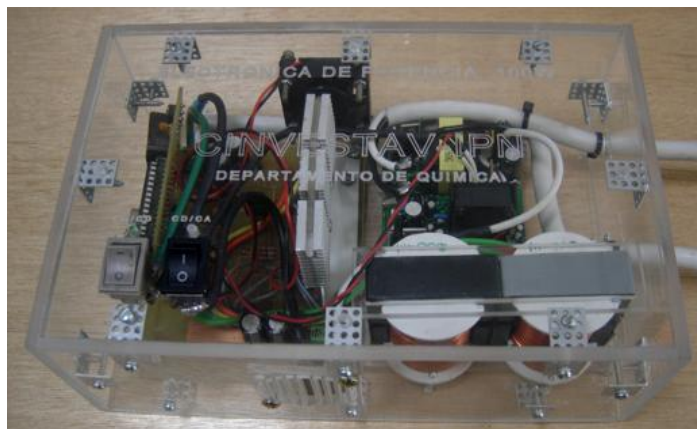


Figura 2. Electrónica de potencia 100W, convertidor CD/CD e inversor CD/CA.

2.3.- Sistemas auxiliares de recirculación del hidrógeno con humidificación.

Se diseñaron y construyeron dos sistemas auxiliares de recirculación del hidrógeno con humidificación, uno para cada celda de combustible⁶. Las bombas de recirculación opera a una presión de 0.1 atm. con un flujo de hidrógeno de 4 l/min. En la figura 3 se muestra una foto de los sistemas auxiliares de recirculación del hidrógeno, a la izquierda el sistema que alimenta a la celda #2 y a la derecha el sistema para la celda #1.

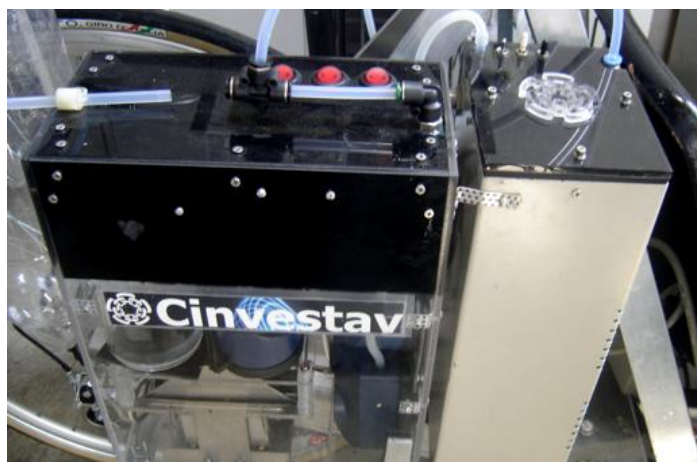


Figura 3. Sistemas auxiliares de recirculación del hidrógeno a las celdas de combustible.

2.4.- Celdas de combustible y sistemas periféricos.

En la figura 4 se muestra el diagrama con los componentes que integran el sistema autónomo: tanque con hidrógeno presurizado a 4 atm, sistemas auxiliares de recirculación del hidrógeno presurizado a 0.1 atm con humidificación, ventiladores para el enfriamiento de la celda #1 y alimentación del oxidante (oxígeno del aire), celdas de combustible, convertidores CD/CD, inversor CD/CA y el motor para la tracción del carro eléctrico. Las líneas muestran el flujo de los diferentes estados de la energía eléctrica y combustible.

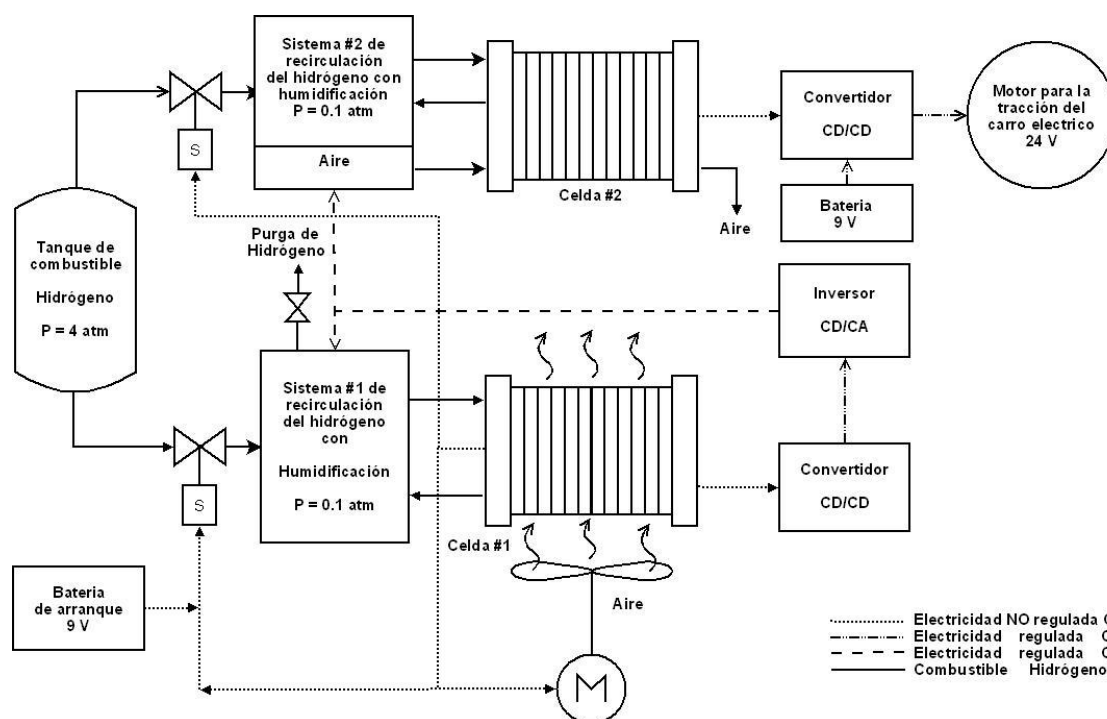


Figura 4. Diagrama del sistema autónomo basado en celdas de combustible.

2.5.- Carro eléctrico monoplaza.

El carro eléctrico monoplaza está constituido por tres ruedas, una posterior con tracción para el avance motriz y dos frontales para la dirección, se utilizaron ángulos, soleras, tees y canales de aluminio para el chasis, el cual tiene un peso total con todos los sistemas y celdas de combustible de 50 kg

El desplazamiento frontal lo proporciona un motor eléctrico con potencia máxima de 250W a 24V y 10A, acoplado mediante catarinas y cadenas a la rueda posterior, en la misma rueda también está instalado el sistema de frenado.

En la figura 5 se muestra una foto del carro eléctrico monoplaza (Nayaa); accionado por celdas de combustible con membrana de conducción protónica PEM, y todos los sistemas periféricos.



Figura 5. Carro eléctrico monoplaza (Nayaa).

3.- Resultados y discusión

3.1.-Caracterización de las celdas de combustible.

La figura 5 muestra la respuesta voltaje-corriente-potencia de la celda de combustible #1 que contiene 20 ensambles membrana electrocatalizadores con una área de 75 cm².

Las condiciones de operación con las que se caracterizó la celda #1 fueron: alimentación del hidrogeno húmedo (Grado UPC 99.9993%) con recirculación y flujo de 4.0 l/min a temperatura ambiente y una presión de 0.1bar, alimentación del aire con ventilación forzada. Temperatura de operación 40 °C.

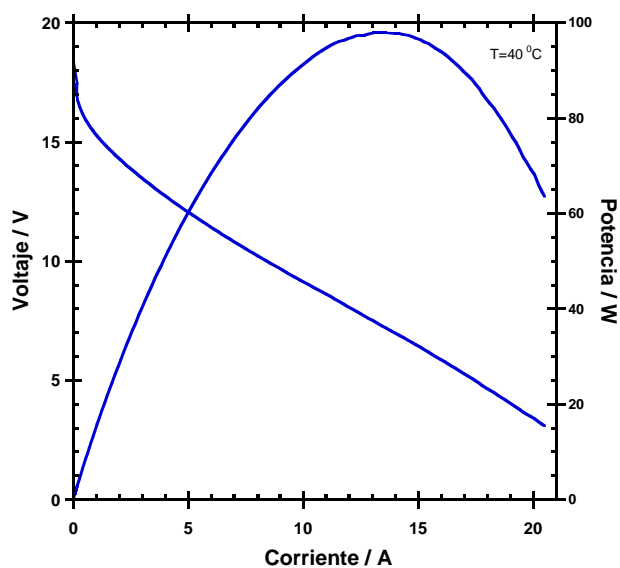


Figura 5. Desempeño de la celda de combustible #1.

Se observa un voltaje a circuito abierto de 18 V y un incremento de la corriente al disminuir el voltaje, alcanzando una potencia máxima de 98 W @ 7 V y 14 A. La figura 6 corresponde al grafico de estabilidad de la celda, se aplico un potencial de 7 V y 7.5 V por 3 horas.

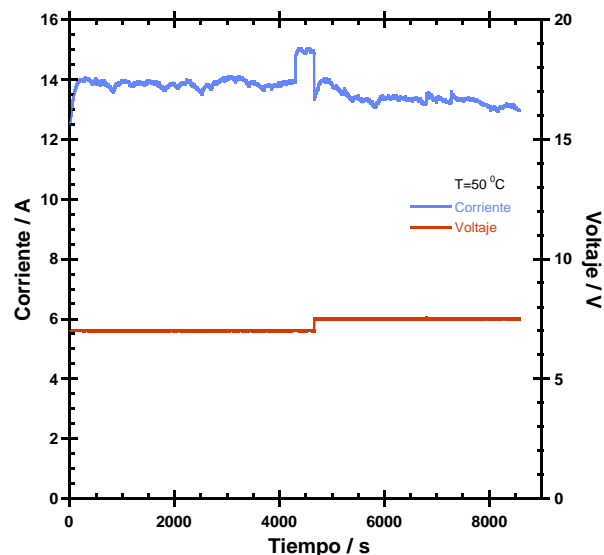


Figura 6. Gráfica de estabilidad de la celda de combustible #1.

Es importante controlar la temperatura de operación a 50 °C en la celda de combustible, se logro con la ayuda de tres ventiladores que hicieron que el aire entrara forzado en los canales transversales de enfriamiento de los platos bipolares y poder disipar parte del calor generado por producto de la reacción, a esta temperatura se puede asegurar que las membranas no se deshidraten por un sobre calentamiento.

La figura 7 muestra la respuesta voltaje-corriente-potencia de la celda de combustible #2 que contiene 21 ensambles membrana electrocatalizadores con una área de 65 cm².

Las condiciones de operación con las que se caracterizó la celda fueron: alimentación del combustible húmedo (H₂ Grado UPC 99.9993%) con recirculación y flujo de 4.0 l/min a temperatura ambiente y una presión de 0.1bar, alimentación del oxidante (aire) mediante bombas con un flujo de 17 l/min. Con una temperatura de operación 60 °C.

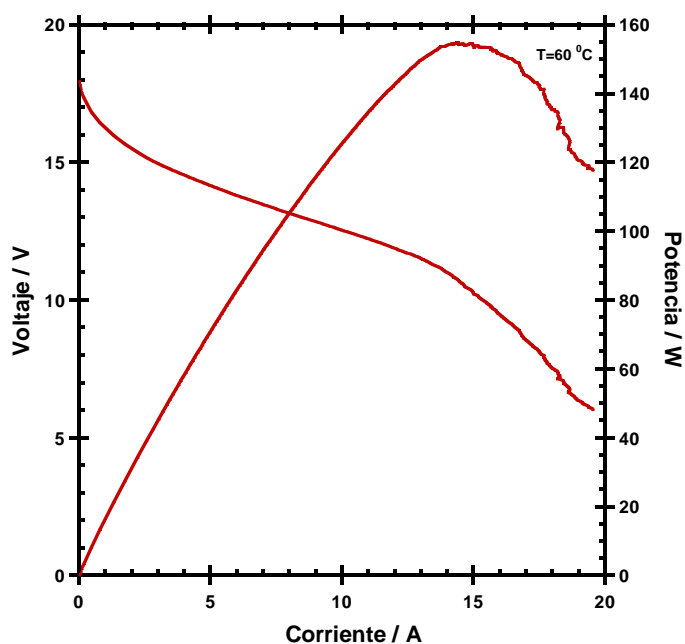


Figura 7. Desempeño de la celda de combustible #2.

Se observa un voltaje a circuito abierto de 18 V y un incremento de la corriente al disminuir el voltaje, alcanzando una potencia máxima de 150 W @ 10 V y 15 A.

La figura 8 corresponde al grafico de estabilidad de la celda, se aplico un potencial de 12 V por más de una hora.

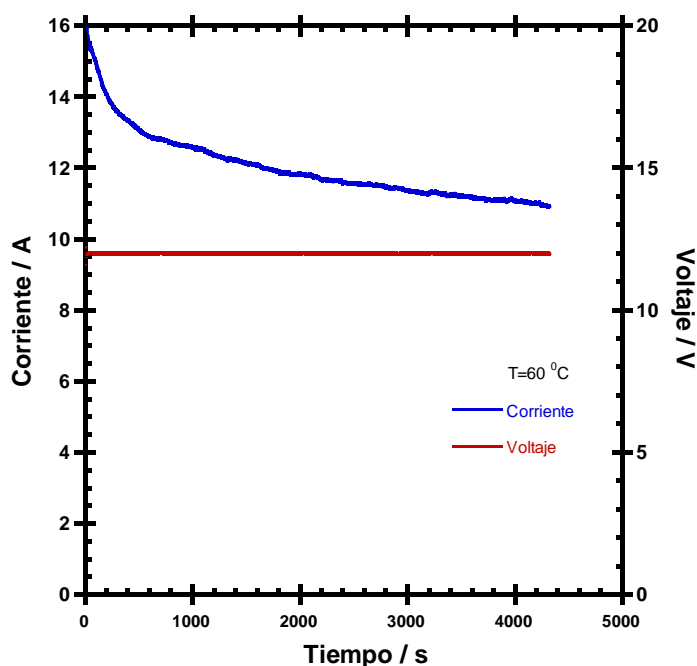


Figura 8. Grafica de estabilidad de la celda de combustible #2.

3.2.-Acoplamiento de las celdas de combustible - sistemas auxiliares - electrónica de potencia - carro eléctrico.

El hidrógeno presurizado a 4atm en los tanques es alimentado a las celdas por medio de los dos sistemas auxiliares de recirculación y humidificación del hidrógeno a 0.1atm. Tres ventiladores enfrían y alimentan el oxígeno del aire a la celda #1, son accionados por la energía eléctrica no regulada de la celda, al igual que el convertidor CD/CD que regula la energía eléctrica y alimenta al inversor CD/CA para prender los sistemas de recirculación del combustible, haciendo con esto un sistema autosuficiente para su total funcionamiento.

El consumo de hidrógeno es variable ya que en todo momento la carga que se le demanda a las celdas oscila, considerando que las dos celdas funcionen a su máxima potencia el consumo de hidrógeno total es de 6 l/min.

El carro eléctrico monoplaza alcanza una velocidad de 15 km/h y una autonomía que depende de la cantidad de hidrógeno almacenado, el carro tiene un peso total de 50 kg.



4.- Conclusiones

La celda de combustible #1 es autosuficiente para accionar los sistemas auxiliares de alimentación de los gases y la electrónica de potencia, alcanzando una potencia máxima de 98 W @ 7 V y 14 A.

La celda de combustible #2 se acopló al convertidor CD/CD para accionar el motor del carro eléctrico, logrando una potencia máxima de 150 W @ 10 V y 15 A.

Las fluctuaciones de corriente en las figuras de estabilidad de las celdas, se atribuyen a la saturación del agua producida en las cavidades del cátodo por producto de la reacción y el aire que entra no es suficiente para removerla.

Se logro construir en el laboratorio las celdas de combustible, los sistemas auxiliares de alimentación de los gases, la electrónica de potencia y poner en operación el carro eléctrico monoplaza.

5.- Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero otorgado por el ICYTDF al proyecto OCF-OSF, y a las empresas INFRA S.A. de C.V., CRYOINFRA S.A. de C.V. por el hidrógeno y apoyo proporcionado para la realización de este proyecto.

6.- Referencia

¹ Barriers, and R&D Needs, *The Hydrogen Economy: Opportunities, Cost*, The National Academies Press, Washington DC, 2004.

² A. Rodríguez, E. López, O. Solorza, *J. Mex. Chem. Soc.* 2007, 50(4), 97.

³ F. Urbani, G. Squadrito, O. Barbera, G. Giaccoppo, E. Passalacqua, *J. Power Sources* 169 (2007) 334.

⁴ Xianguo Li, Imran Sabir, *I. J. Hydrogen Energy* 30 (2005) 359.

⁵ F. Barbir, *PEM Fuel Cells: Theory and Practice*, Ed. Elsevier Academic Press, USA, (2005) 147.

⁶ F. Barbir, H. Görgün, *J. Applied Electrochemistry*, (2007) 360.