

Diseño y construcción de un sistema de humidificación para un banco de celdas de combustible PEM

Design and construction of a humidification system for a bank of PEM fuel cells

MARTÍNEZ-CRUZ, Salvador*†, GARCÍA-GALLEGOS, Jesús, DUARTE-MOLLER, José y OLIVARES-RAMÍREZ, Juan

ID 1^{er} Autor: *Salvador, Martínez-Cruz*

ID 1^{er} Coautor: *Jesús, García-Gallegos*

ID 2^{do} Coautor: *José, Duarte-Moller*

ID 3^{er} Coautor: *Juan, Olivares-Ramírez*

DOI: 10.35429/JOES.2020.22.7.8.13

Recibido: Enero 15, 2020; Aceptado: Junio 30, 2020

Resumen

Las celdas de combustible son dispositivos electroquímicos eficientes que además de producir electricidad y calor, producen agua como subproducto durante su operación, pero poco se ha investigado acerca de la producción de agua a partir de una celda de combustible. En este proyecto se diseñó y construyó una celda de combustible de membrana de intercambio protónico (PEM) para determinar y comparar con datos experimentales la cantidad de agua producida por ésta. Se investigó acerca de los antecedentes en las metodologías de diseño de celdas de combustible de intercambio protónico. Seguidamente se dio paso a la etapa de diseño, la cual involucró cálculos para la determinación del agua producida, análisis de gráficos y tablas, cálculo y selección de materiales e insumos necesarios para la construcción de la celda de combustible. Posteriormente se llevó a cabo el modelado de la celda, en donde se pudo visualizar el comportamiento de la celda de combustible bajo diferentes condiciones de operación, se efectuaron mediciones del voltaje generado y corriente que circula por la celda de combustible y finalmente se compararon los resultados teóricos obtenidos con los experimentales de una celda de combustible de características similares.

Celda de combustible, membrana de intercambio protónico (PEM), sistema de humidificación

Abstract

Fuel cells are efficient electrochemical devices that besides producing electricity and heat, produce water as a byproduct during operation, but little research has been done on the production of water from a fuel cell. This project was designed and built a fuel cell proton exchange membrane (PEM) to determine and compare experimental data with the amount of water produced by it. He researched about the background in design methodologies fuel cell proton exchange. Then he gave way to the design stage, which involved calculations for determining the water produced, analysis of graphs and tables, calculation and selection of materials and supplies needed for the construction of the fuel cell. Parallel was carried out modeling of the cell, where they could visualize the behavior of the fuel cell under various operating conditions, measurements of generated voltage and current flowing through the fuel cell were made and finally the results were compared obtained with experimental theoretical a fuel cell similar characteristics.

Fuel Cells, proton exchange membrane (PEM), humidification system

Citación: MARTÍNEZ-CRUZ, Salvador, GARCÍA-GALLEGOS, Jesús, DUARTE-MOLLER, José y OLIVARES-RAMÍREZ, Juan. Diseño y construcción de un sistema de humidificación para un banco de celdas de combustible PEM. Revista de Sistemas Experimentales. 2020. 7-22:8-13.

* Correspondencia al Autor: (Correo electrónico: jmolivaresr@utsjr.edu.mx)

† Investigador contribuido como primer autor.

Introducción

La distribución de la temperatura y la humedad en una celda de combustible de membrana de intercambio de protones (PEM) son factores críticos que influyen en el rendimiento de la celda. El contenido de agua y de la conductividad de la membrana de intercambio de protones afecta directamente el rendimiento (Le Canut, Abouatallah, & Harrington, 2006) (Hinds, Stevens, Wilkinson, de Podesta, & Bell, 2009), porque el exceso de agua en el canal de flujo puede causar inundaciones y evitar la difusión del gas: Las temperaturas excesivamente altas o bajas pueden causar la deshidratación de la membrana de intercambio de protones, y empeorar el rendimiento de la celda de combustible. Liu demostró que la acumulación de columnas de agua líquida en los canales de flujo del cátodo reduce el área de reacción electroquímica efectiva, lo que limita la transferencia de masa y empeora el de rendimiento de las celdas (Liu, Guo, & Ma, 2006). Wang señaló que la gestión del agua en estado líquido afecta significativamente el desempeño PEM, especialmente en alta densidad de corriente (Wang & Zhou, 2011). Trabold aplica imágenes de neutrones para la investigación de la distribución de las inundaciones de agua, la detección in situ la variación en la cantidad de agua que se produce en una celda de combustible en funcionamiento (Wang & Zhou, 2011). Las pruebas realizadas por Zhang reveló que el rendimiento empeora gradualmente a medida que la humedad relativa disminuyó desde 100% a 25% (Zhang, y otros, 2008). La mayoría de las investigaciones de tensión y la humedad en las PEMFC implican la inserción de sensores pequeños en las celdas. Por ejemplo, David examinó la distribución de la temperatura en las celdas de combustible que utilizan fibra Bragg una tecnología de división.

El resultado reveló una diferencia entre las temperaturas de la entrada y la de salida de 1°C (David, Wild, Hu, & Djilali, 2009). Inman midió "in situ" la temperatura de reacción en una celda de combustible en funcionamiento colocando cinco sensores de temperatura de fibra en ella (Inman, Wang, & Sangeorzan, 2010). Hinds emplean sensores de temperatura y humedad comerciales, con una gran área activa, en una sola celda PEM (Hinds, Stevens, Wilkinson, de Podesta, & Bell, 2009).

Wang utiliza un dispositivo de infrarrojos para medir la distribución de la temperatura exterior con diferentes condiciones de operación (Wang, Guo, & Ma, 2006). Karimi observa la distribución de agua dentro de las celdas de combustible. Sus resultados de las simulaciones revelaron que el aumento de la humedad promovió inundaciones de agua (Karimi, Jafarpour, & Li, 2009). Shimpalee realizó variaciones simuladas de temperatura, humedad, y la corriente en una PEM. Sus resultados demostraron que las inundaciones de agua afectan la reacción de la celda de combustible, reduciendo indirectamente la temperatura y corriente (Shimpalee & Zee, 2007). Con este trabajo se pretende determinar y hacer una comparación con datos experimentales de la cantidad de agua producida por una celda de combustible de membrana de intercambio protónico. Para tal fin, los objetivos específicos están enmarcados en el diseño y construcción de una PEM, la determinación teórica de la cantidad de agua producida por ésta bajo diferentes condiciones de operación y la validación de los resultados (cantidad de agua producida) comparándolos con los resultados experimentales existentes de una celda de combustible de características similares.

Funcionamiento de la Celda de Combustible

Las celdas de combustibles son dispositivos electroquímicos que convierten la energía contenida en un combustible directamente en electricidad, sin la necesidad de pasar por una combustión previa.

Se podría pensar que las baterías normales y de uso comercial son también dispositivos generadores de corriente eléctrica, pero la diferencia principal es que las celdas de combustible mantienen un suministro constante de electricidad siempre que exista aporte de combustible, mientras que las baterías cesan su producción cuando se agotan los reactivos químicos que contienen. Sin embargo, existen baterías que se pueden recargar con electricidad una vez agotadas.

Desde este punto de vista, los motores de combustión actuales podrían ser también considerados como generadores de electricidad, pero esto no sucede de forma directa, sino que se la energía contenida en el combustible debe pasar por varias transformaciones antes de convertirse en electricidad; este proceso se resume en el siguiente esquema:

MARTÍNEZ-CRUZ, Salvador, GARCÍA-GALLEGOS, Jesús, DUARTE-MOLLER, José y OLIVARES-RAMÍREZ, Juan. Diseño y construcción de un sistema de humidificación para un banco de celdas de combustible PEM. Revista de Sistemas Experimentales. 2020

E. Química → E. Térmica → E. Mecánica → E. Eléctrica

La celda de combustible transforma directamente en electricidad la energía contenida en un combustible, mediante un proceso isoterma que aprovecha la entalpia libre interna del combustible a temperatura de operación.

E. Química → E. Eléctrica

De este modo, no está afectada por las limitaciones que imponen el segundo principio de la termodinámica y el ciclo de Carnot.

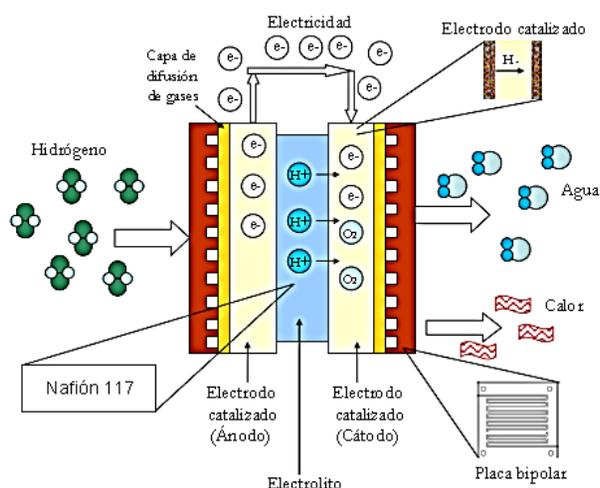


Figura 1 Esquema general de funcionamiento de una celda PEM. Se pueden observar los diferentes elementos que intervienen en la reacción electroquímica, así como los componentes básicos de la estructura (electrodos, electrolito, placas bipolares y membranas difusoras)

Fuente: (Vishnyakov, 2006)

Para el desarrollo experimental y la fabricación de la MEA donde se busca probar el modelo obtenido. El ensamble debe fabricarse de tal forma que la estructura de las capas permita a los gases llegar a los sitios reactivos, así que se desea que la MEA cuente con alta conductividad eléctrica, alta conductividad iónica para los protones y fácil remoción del agua líquida formada en la reacción catódica. El Ensamblaje Membrana-electrodo o MEA (Membrane Electrode Assembly) puede considerarse el corazón de una PEM. La MEA está típicamente entre las dos placas bipolares. La MEA consta de la membrana de intercambio protónico en su centro, las capas de catalizador a cada lado y, en sus extremos, las GDL (Gas Diffusion Layers) las capas de difusión de gas. Estos componentes se fabrican típicamente por separado, y son compactados en una sola unidad a altas presiones y temperaturas.

El resultado final tiene un espesor de menos de un milímetro (KREUER., 2001).

Fabricación del humidificador

Un humidificador tiene la función de mantener constante la humedad relativa del combustible y oxidante, muy importante en una celda de combustible, se diseñó un modelo que se pudiera construir y así realizar un prototipo que nos ayude a elevar o disminuir la humedad relativa de los gases utilizados en una celda de combustible PEM, para ello fue necesario utilizar Solid Works versión 2014 para realizar diferentes diseños los cuales consisten en un serpentín que nos ayuda a incrementar el recorrido del gas, y en algunos casos también cuenta con un depósito de agua que nos pudiera permitir tener agua de ser necesario. El proceso para la fabricación de nuestro sistema se explica de manera general en el siguiente diagrama de flujo.

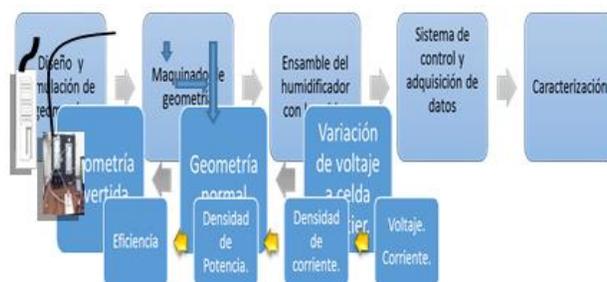


Figura 2 Diagrama de flujo para la fabricación de nuestro prototipo

Fabricación del ensamble

El ensamble fue fabricado con Nafion 115, el cual fue sumergido en peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 5% durante 1 hora, posteriormente enjuagada en agua des-ionizada en ebullición por 1 hora, la activación se realizó en ácido sulfúrico 1 Molar durante 3 horas y nuevamente enjuagada en des-ionizada en ebullición por 30 minutos. La tela de carbón fue recortada a 3.1 x 3.1 cm, tratada con teflón GDLT 1200-W y secada en una mufla por 30 minutos a 100°C.

La tinta catalítica fue elaborada con una solución acuosa de nafion líquido 115 al 5%, Platino-Vulcan a una razón de 0.5 mg/cm² de Pt y aplicado mediante la técnica de brushing. Para el ensamble de la membrana electrodo se realizó en una prensa con 2 Toneladas de presión a una temperatura de 75 °C durante 5 minutos.

Resultados

La variación de humedad no dependió directamente de la temperatura de las placas, también fue función de la posición, a las cuales se les llamo posición normal y posición invertida como se muestra en la Figura 3.

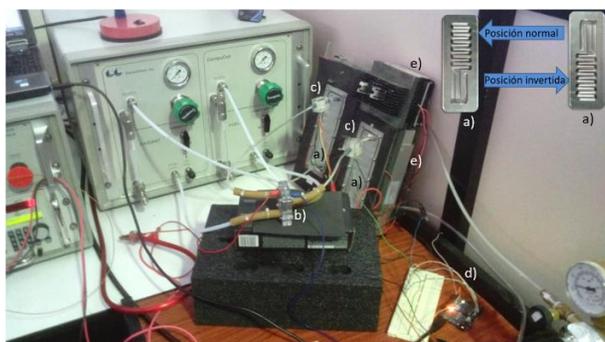


Figura 3 Sistema de caracterización de celdas de combustible con humidificador construido acoplado; a) placas, b) celda de combustible, c) sensor de humedad y temperatura, d) sistema de adquisición de datos y e) Peltiers para absorción o adición de calor

Los resultados del comportamiento de la humedad relativa muestran que es posible la estabilización de la humedad por lo cual el combustible adicionado a la celda tipo PEM estará bajo control. En la gráfica 1 los primeros 9 minutos es el decremento de la humedad relativa, aplicando 20V a la peltier y absorbiendo calor, después tiende a estabilizarse siempre y cuando la temperatura no siga bajando, cuando la temperatura es estable la humedad relativa también es estable.

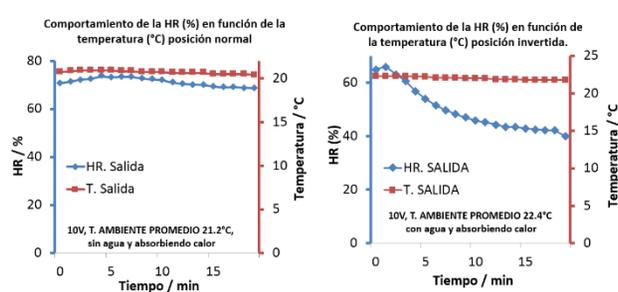


Gráfico 1 Comportamiento de la HR con respecto a la temperatura posición normal e invertida del serpentín

Una vez que se tiene la humedad relativa estable con la posición normal del serpentín, determinamos el mejor flujo como se puede observar en la siguiente grafica 2.

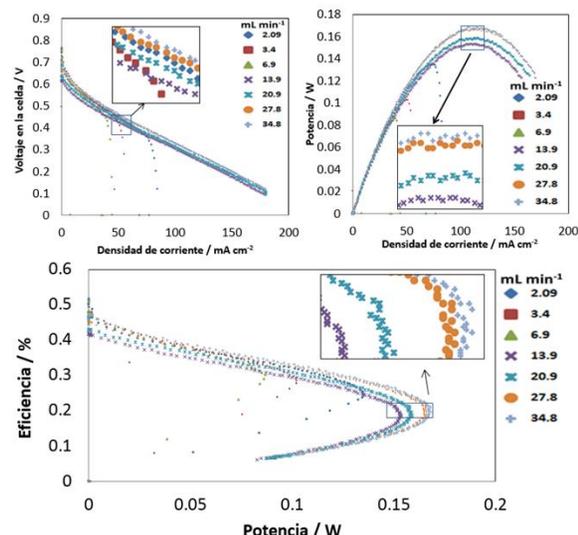


Gráfico 2 Variación del flujo en la celda de combustible, donde es la misma cantidad de flujo tanto para el oxidante como para el combustible

El mejor flujo desarrollado fue de 27.8 mL min⁻¹, debido a que logran mayores potencias, sin embargo, comparado con el flujo de 34.8 mL min⁻¹, este es aún mejor, pero es poca la diferencia con el anterior optando por descartarlo ya se desperdiciaría tanto combustible como oxidante.

Una vez que se determinó el flujo de trabajo, se caracterizó la celda de combustible para determinar la estequiometría óptima. En la figura 8 se muestra el comportamiento dando como resultado que la mejor combinación fue de 27.8 mL min⁻¹ para el oxidante y de 69.7 mL min⁻¹ para el combustible, de acuerdo a la teoría esto debería ser una proporción del doble, el resultado experimental muestra que la mejor relación es de no del doble si no de 2.5.

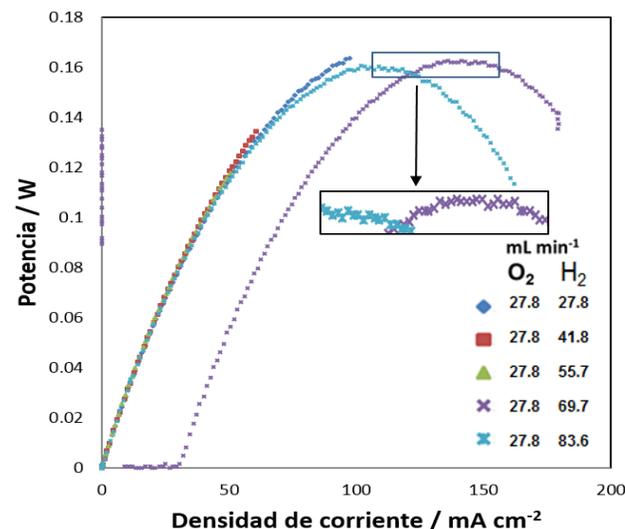


Gráfico 3 Variación del flujo estequimétrico

Una vez definida la estequiometría óptima se realiza la verificación de la hipótesis del presente trabajo. La gráfica 4 muestra que el mejor comportamiento se obtiene con una humedad del 50%. Al tener una humedad del 100% rápidamente se inundarán los canales de agua impidiendo principalmente el flujo del oxidante.

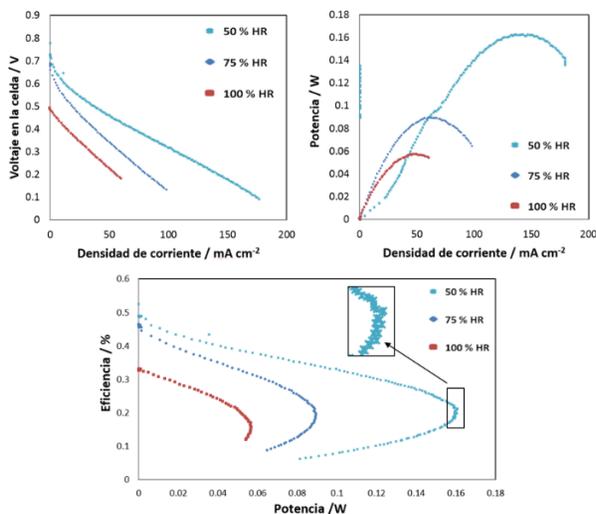


Gráfico 4 Determinación de la mezcla según la mejor configuración estequiometría en la MEA

Agradecimiento

Este trabajo se pudo realizar gracias al apoyo de PRODEP/103.5/13/10573 (JHGG)

Conclusiones

El contexto original de este trabajo fue el de diseñar y desarrollar un sistema en el que pudiéramos controlar la humedad y temperaturas de los flujos en una celda de combustible tipo PEM, para ello, se realizaron los diseños para absorción o des absorción de humedad quedando finalmente un canal serpentin y un depósito para el agua dentro de un rectángulo con un área de 74mmX190mm. Los resultados de la simulación muestran que se puede obtener gradientes de temperatura de hasta 14.3 °C. El humidificador diseñado debe de cambiar de posición y las Peltier podrán absorber o des absorber calor, dependiendo de la humedad necesaria. La parte experimental realizada muestra que podemos variar la humedad relativa en nuestro sistema desde 50% hasta 100%.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos de manera experimental, así como los de las simulaciones realizadas para el diseño de este prototipo, es posible realizar de manera económica y eficiente, un sistema de control de humedad y temperatura para la medición de celdas de combustible tipo PEM, donde, en comparación con la estación de pruebas, podemos modificar nuestro sistema de manera más sencilla dependiendo de nuestras necesidades. Esto lo vuelve mucho más flexible y educativo si se implementa en una institución.

Referencias

- David, N., Wild, P., Hu, J., & Djilali, N. (2009). In-fibre Bragg Grating sensors for distributed temperature measurement in a polymer electrolyte membrane fuel cell. *J. Power Sources*, 376-380.
- Hinds, G., Stevens, M., Wilkinson, J., de Podesta, M., & Bell, S. (2009). Novel in situ measurements of relative humidity in a polymer electrolyte membrane fuel cell. *J. Power Sources*, 52-57.
- Inman, K., Wang, X., & Sangeorzan, B. (2010). Design of an optical thermal sensor for proton exchange membrane fuel cell temperature measurement using phosphor thermometry. *J. Power Sources*, 4753-4757.
- Karimi, G., Jafarpour, F., & Li, X. (2009). Characterization of flooding and two-phase flow in polymer electrolyte membrane fuel cell stacks. *J. Power Sources*, 156-164.
- KREUER., K. D. (2001). "On the Development of Proton Conducting Polymer Membranes for Hydrogen and Methanol Fuel Cells". *Membrane Science*, 29-39.
- Le Canut, J., Abouatallah, R., & Harrington, D. (2006). Detection of membrane drying, fuel cell flooding and anode catalyst poisoning on PEMFC stacks by electrochemical impedance spectroscopy. *J. Electrochem. Soc.*, A857-A864.
- Liu, X., Guo, H., & Ma, C. (2006). Water flooding and two-phase flow in cathode channels of proton exchange membrane fuel cells. *J. Power Sources*, 267-280.

Ryan O'Hayre, S.-W. C. (2009). *Fuel Cell Fundamentals*. Wiley.

MARTÍNEZ-CRUZ, Salvador, GARCÍA-GALLEGOS, Jesús, DUARTE-MOLLER, José y OLIVARES-RAMÍREZ, Juan. Diseño y construcción de un sistema de humidificación para un banco de celdas de combustible PEM. *Revista de Sistemas Experimentales*. 2020

Shimpalee, S., & Zee, J. (2007). Numerical studies on rib & channel dimension of flow-field on PEMFC performance. *Int. J. Hydrogen Energy*, 842-856.

Trabold, T., Owejan, J., Jacobson, D., Arif, M., & Huffman, P. (2006). In situ investigation of water transport in an operating PEM fuel cell using neutron radiography: Part 1— Experimental method and serpentine flow field results. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 4712-4720.

Vishnyakov, V. (2006). Proton exchange membrane cells. *Vacuum*, 1053-1065.

Wang, M., Guo, H., & Ma, C. (2006). Temperature Distribution on the MEA surface of a PEMFC with serpentine channel flow bed. *J. Power Sources*, 181-187.

Wang, X., & Zhou, B. (2011). Liquid water flooding process in proton exchange membrane fuel cell cathode with straight parallel channels and porous layer. *J. Power Sources*, 1776-1794.

Zhang, J., Tang, Y., Song, C., Xia, Z., Li, H., Wang, H., & Zhang, J. .. (2008). PEM fuel cell relative humidity (RH) and its effect on performance at high temperatures. *Electrochim.*