

Fabricación de una Celda de Combustible Tipo PEM por Control Numérico, para el Sector Automotriz

Del Valle Soberanes Benigno Alejandro^{1,2}, Pathiyamattom Joseph Sebastian³, Alonso Nuñez Gabriel², Gamboa Sanchez Sergio³, Gutierrez Macedo Miriam³, Alday Chavez Ana¹, Romano Acevedo Carlos¹, Pitoll Garcia Anibal¹, Zavaleta Olea Edi Ray¹.

¹ Instituto Tecnológico de Cautla, Sección Mecatrónica, Libramiento Cautla-Oaxaca, Cautla Morelos.

² Centro de Investigación en Materiales CIMAV, Chihuahua Mexico.

³ Centro de Investigación en Energía, CIE-UNAM, Temixco Morelos

Resumen

El presente trabajo se encuentra principalmente enfocado a las Celdas de Combustibles del tipo Membranas Intercambiadoras de protones (PEM), las cuales tienen como características principales que operan relativamente a bajas temperaturas (80°C), tienen una alta densidad de potencia, pueden variar sus salidas rápidamente para satisfacer cambios bruscos en la demanda de potencia, tal como en el caso de los automóviles. La propuesta novedosa que se plantea en este trabajo, es la fabricación de platos bipolares, para ello, los materiales utilizados deben mantener buenas características de conducción eléctrica y térmica, ser estables en medio básico o ácido según sea el caso del funcionamiento de la celda de combustible. Es por ello que el estudio de materiales como el aluminio y acero inoxidable es utilizado para la fabricación de platos bipolares, en base a una simulación de maquinado manufactura asistida por computadora (CAM), para posteriormente utilizar una máquina de control numérico (CNC). El nuevo diseño asistido por computadora (CAD) del campo de flujos consiste en canales de serpentín lineales delgados en el cátodo y canales de serpentín en el ánodo. El diseño por sus características permite una autohumidificación del ionómero en el electrodo y un mejor contacto entre membrana electrodo-colector de corriente, generando un incremento en el desempeño de la celda.

Palabras clave: control numérico, canales, colectores, computadora, fresadora, combustible, fabricación.

1. Introducción

La energía constituye la columna vertebral del desarrollo social y económico de los países, sin embargo, muchas de las vías empleadas para su producción, no son lo suficientemente adecuadas para garantizar la creciente demanda de manera sustentable. La producción de energía eléctrica de manera convencional a través de combustibles fósiles es poco amigable con el ambiente. Por otro lado, la predicción al año 2050 de demanda energética se estima de 1.5 a 3.0 veces que el presente, por lo que es urgente encontrar la solución a la demanda de energía sin producción de contaminación ambiental.

Las celdas de combustible podrían utilizarse potencialmente para generar electricidad y abastecer los hogares, negocios e industrias a través de plantas de energía estacionarias con capacidades desde 100 watts (suficiente para encender un foco) hasta varios megawatts (suficientes para alimentar aproximadamente 1000 viviendas). El hidrógeno está destinado a jugar un papel importante en la economía energética mundial, debido a factores como su alto contenido energético ya que 1 kg de hidrógeno contiene la misma cantidad de energía que 2.1 kg de gas natural o 2.8 kg de gasolina, además su combustión u oxidación electroquímica genera únicamente calor y agua, y es uno de los elementos de mayor abundancia en el universo. Uno de los sistemas más eficientes de generación eléctrica mediante hidrógeno que está alcanzando un gran desarrollo, son las celdas de combustible de intercambio protónico ó de electrolito polimérico (PEMFC por sus siglas en inglés), sobre todo en su aplicación para la industria automotriz, residencial y aplicaciones móviles como teléfonos celulares, computadoras portátiles, etc. La baja temperatura de

operación de las PEMFC (cerca a 80°C), su tiempo rápido de arranque en combinación con una alta densidad de potencia y una alta eficiencia de conversión de energía son las características que hacen a la PEMFC una fuerte candidata para la generación de energía.

2. Fundamentos Teóricos

La celda de combustible de membrana de intercambio protónico (PEMFC) es una de las tecnologías relativamente más recientes y prometedoras. Las primeras aplicaciones estaban limitadas a sistemas militares y espaciales, además de otros usos como plantas de emergencia en hospitales, donde el costo no es un problema pero que se requiere de un funcionamiento excepcional. Éste tipo de celda de combustible ofrece densidades de corriente mucho mayores que las de cualquier otro tipo de celdas de combustible, con excepción a algunas celdas alcalinas desarrolladas especialmente para aplicaciones espaciales. Las celdas tipo PEM pueden ser alimentadas por hidrógeno puro o por combustibles reformados y con oxígeno el cual se obtiene directamente del aire. Su temperatura de funcionamiento es baja y no requiere aislamientos térmicos. Los últimos avances apuntan hacia la posibilidad de una gran reducción de costos de esta tecnología.

Los componentes básicos de una celda de combustible están representados en la figura 1, los cuales son: dos electrodos impregnados con catalizador, en una membrana conductora de protones, capas difusoras de gas y finalmente las placas colectoras de corriente con campos de flujo. Los cuales se describen cada uno a continuación, tanto en su función, materiales y evolución así como su ubicación dentro de la celda de combustible.

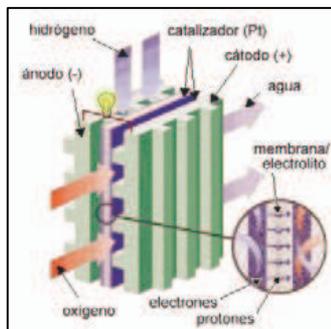


Figura 1. Componentes de la celda de combustible

Otro punto clave en la construcción de PEMFC, son los platos colectores de corriente. Estos platos son la parte de mayor impacto económico en las celdas. Se han realizado muchos estudios económicos respecto al tema, inclusive se han desarrollado modelos matemáticos que ayudan en la decisión del uso de algún material en especial de acuerdo con diversas necesidades. Estos platos, deben poseer las siguientes características: Altamente conductores eléctricos y térmicos, muy estables en medios ácidos, no permeable a los gases, livianos, delgados, fuertes y de fácil manejo para el maquinado de campos de flujo. Nuevas formas en la síntesis de compuestos grafito-polímero son estudiados, donde se demuestra que es posible moldear el material con estampado o con inyección de polipropileno fénolico.

Las placas con campos de flujo, son maquinadas para contener canales, que proporcionan un paso para la distribución de los gases reactivos a los electrodos y el retiro del agua del producto, además reúnen la corriente generada a ambos lados de la membrana, la cual es transferida mediante los difusores de gas hacia las placas con campos de flujo que también sirven como colectoras de corriente. Por lo que este componente debe ser de un material con una alta conductividad eléctrica y térmica, también actúan como separadores de los reactivos de las celdas adyacentes, en cuyo caso tendrán que ser, impermeables a ambos gases, (hidrógeno y oxígeno), debe tener buenas propiedades mecánicas ya que es, en gran medida, la estructura de soporte de la celda de combustible; pues tanto las membranas como los difusores de gases, son materiales flexibles y no pueden soportar peso ni esfuerzos en un arreglo de varias monoceldas. Por lo que el MEA y las capas de la difusión del gas están situados entre las placas con campo del flujo, debe ser químicamente estable al estado de las condiciones de la celda de combustible, debe también ser barato y satisfacer los requerimientos para su fabricación en grandes cantidades, por lo que debe ser fácilmente maquinable para su manufactura y maquinado de los campos de flujo, o bien, tener propiedades adecuadas para su vaciado por moldeo. Los requisitos teóricos para un material de la placa bipolar, aparte de la conveniencia para la fabricación son satisfechos adecuadamente por el grafito, cuando su porosidad natural se bloquea con la impregnación de alguna resina u otro tratamiento conveniente. Las placas bipolares maquinadas de grafito sólido se han utilizado tradicionalmente en apilados prototipo. El grafito sólido, sin embargo, tiene un precio elevado en términos de la fabricación. Sin embargo, los materiales empleados para su manufactura no son costosos y su desarrollo puede ser realizado en

México si se invierten esfuerzos en ello. Por lo que una gran parte de las investigaciones en las PEMFC, se dirigen a encontrar materiales y métodos de producción más baratos.

Otro aspecto importante que debemos tomar en cuenta es la geometría del canal del campo del flujo, los cuales afectan perceptiblemente la eficiencia de la celda. La geometría óptima del canal puede ser diferente en cada lado de la placa bipolar. La elección de la geometría es muy crítica en el lado del cátodo, por el agua de la reacción que se produce y porque la difusividad del oxígeno es perceptiblemente más baja que la del hidrógeno, sin embargo, la geometría del flujo del lado del ánodo puede también tener implicaciones importantes en la distribución sobre el área activa de la celda.

3. Diseño de las Celdas de Combustible.

En el diseño de los platos bipolares fue utilizado el mismo diseño de los canales de flujo realizados por la compañía Electrochem. Inc. Para su celda de 5 cm² área activa. Sin embargo, para la disminución del espesor y el peso del colector se realizan cambios en el diseño original del mismo. De forma tal que nos permitiera realizar una evaluación comparativa del acero inoxidable como posible sustituto del grafito de alta pureza. En este diseño utilizamos parte de las dimensiones de la compañía anteriormente mencionada debido a que se pretende comparar los resultados de la celda de esta compañía contra la que estamos elaborando buscando con esto, la más mínima cantidad de variación posible esperando obtener resultados parecidos o mejores. Se muestran algunos diseños de los platos bipolares en la figura 2.

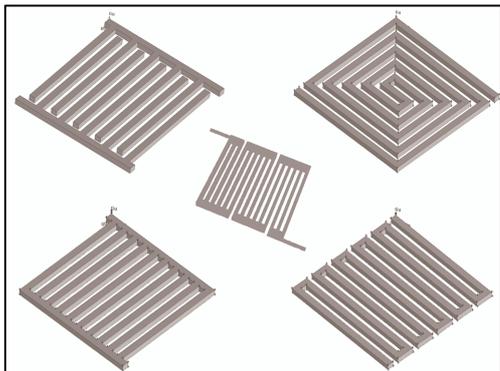


Figura 2. Diseño de canales para la fabricación de celdas de combustible.

4. Proceso de Fabricación por Control Numérico.

Las máquinas de control numérico requieren datos numéricos para controlar el movimiento entre herramienta y pieza, los datos geométricos de la pieza se realizan directamente del dibujo realizado en SolidWorks. Posteriormente se definen los datos técnicos como: números de herramientas, velocidad, avance, profundidad de corte, cambios de herramientas y funciones. La combinación de esta información numérica atendida por el controlador de la máquina se llama programa de la pieza. Al proceso de la creación y estructuración de dichos datos se le llama programación. Se utilizó una máquina fresadora C.N.C. Denford Machine Tools- FANUC Milling CNC con un lenguaje de programación llamado V 1.81., como se muestra en la figura 3.



Figura 3. Máquina de Control Numérico.

El proceso de fresado por medio de CNC es realmente sencillo ya que todo el proceso es realizado automáticamente por la máquina, realmente se requieren muy pocos parámetros; sin embargo uno de los principales es la programación de la máquina como se muestra en la figura 4.

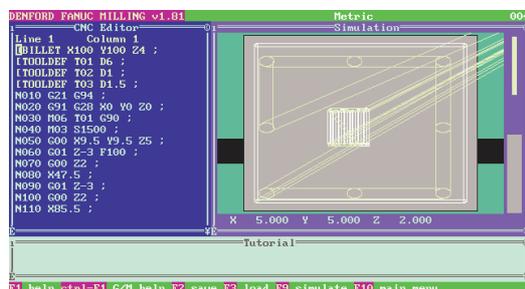


Figura 4. Programación de Control Numérico.

La máquina de CNC tiene un carrusel donde se pueden montar distintas herramientas y hacer uso de estas en el momento indicado, simplemente indicándolo desde la unidad de control, los cortadores montados en este carrusel son cortadores End-Mill, como se muestra en la figura 5. Ya teniendo todos estos parámetros se procede a correr el programa previamente hecho y simulado en la unidad de control, automáticamente la maquina comenzara a ejecutar la funciones indicadas.



Figura 5. Maquinado de los canales en CNC.

5. Evaluación de la Celda

Los ensambles fueron colocados en una celda de combustible de 5 cm² y evaluados en una estación de prueba de celdas de combustible figura 6. (FCT2000 Electrochem. Inc) ubicada en el Laboratorio de Hidrogeno del Centro de Investigacion en Energía de la UNAM. La evaluación de los ensambles se llevo a cabo a temperatura ambiente (~25°C) y el flujo de los gases fue 100 cc/min para el cátodo y 80cc/min para el ánodo.

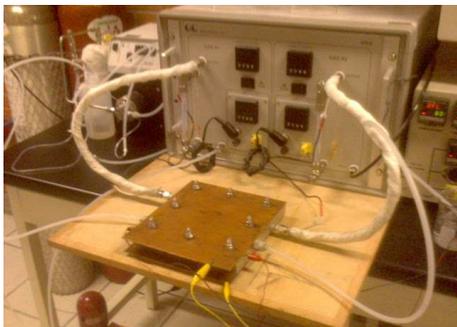


Figura 6. Evaluacion de los ensambles.

En la Estación de prueba FCT200 se hicieron evaluaciones las cuales se indican a continuación:

1. El sistema de suministro, regulación y adecuación de los gases, figura 7, es el encargado para almacenar y proveer e forma segura, según los parámetros de operación, los gases reactantes que usara el sistema de generación de electricidad. Para ello consta con tanques de almacenamiento de hidrogeno y oxigeno que cumplen con todas las medida de seguridad establecidas. Conductos especiales transportan los gases hacia los reguladores de flujo que de forma automática permiten el paso de la cantidad adecuada a los humidificadores, los cuales se encargan de darle humedad y temperatura adecuadas para ser usados de forma eficiente por el sistema de generación.



Figura 7. Estación de prueba FCT200

2. El sistema de generación de electricidad: es la parte más importante del sistema, consta de una monocelda de combustible el tipo PEM, la cual tiene acoplado dos calentadores y sensores para incrementar y regular la temperatura. Esta diseñada de forma tal que cualquiera de sus partes puede ser fácilmente sustituida, permitiendo realizar investigaciones dirigidas al mejoramiento del desempeño y reducción de costos.
3. El sistema de regulación y control: esta compuesto por una computadora, software, interface (IEEE-488.2, National Instrument PC-2.2 GPIB Board) y una carga electrónica serie 890 diseñadas para la investigación y desarrollo de la celda de combustible por Scribner Associates, Inc. Debido al bajo estado de

resistencia permite operaciones de una celda para corrientes tan grandes de 250 Amp y voltajes tan bajos como 0.2 V o menos. La carga esta diseñada con un sistema de protección para prevenir daños que pudieran ocurrir si los parámetros de operación en la celda exceden los límites establecidos. Los requerimientos eléctricos para un buen funcionamiento de la misma son: 120 V AC 50-60Hz, 5A, 600 Watts. Este conjunto permite controlar o monitorear todos los parámetros de una celda.

6. Resultados

Los resultados obtenidos de la evaluación de los platos bipolares en la celda de combustible experimental se pueden considerar en dos partes, uno se considera desde el potencial de activación de 0.7V hasta 0.5V que es el voltaje promedio de caracterización para este tipo de celdas de combustible. En ese rango de operación los platos bipolares metálicos muestran un comportamiento similar al de grafito, sin embargo, para potenciales menores al potencial promedio de caracterización, los platos bipolares metálicos presentan un pobre desempeño, haciendo que la densidad de corriente producida por la celda, alcance un valor máximo de $0.8\text{A}/\text{cm}^2$, mientras que la corriente que se alcanza para los platos bipolares de grafito es de $1.28\text{A}/\text{cm}^2$. En este último caso el proceso que domina es el de caída óhmica, mientras que para el caso de los platos bipolares metálicos el proceso de transporte de masa controla el funcionamiento. Esto se explica si se toma en cuenta la diferencia que existe en los canales de acceso del combustible y oxidante en ambos casos, para los platos bipolares metálicos y los de grafito.

Como se observa en la Figura 8, es sustancial la diferencia en volumen que se alcanza con los platos bipolares metálicos, sin embargo el diámetro de los canales de acceso de los gases de reacción no tienen comparación, en el caso de los platos bipolares de grafito, el diámetro de los orificios de acceso de los gases permite un flujo laminar para $100\text{cc}/\text{min}$ del flujo de los gases; mientras que para el caso de los platos bipolares metálicos (sean de acero o aluminio), los orificios de acceso de los gases, pueden considerarse como no apropiados para mantener un flujo laminar, limitando la cantidad de gases que se difunden hacia la zona de reacción (MEA), proporcionando la respuesta observada.

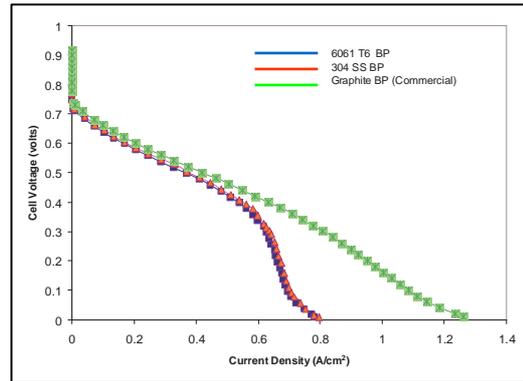


Figura 8. Evaluación de los platos bipolares metálicos en una celda de combustible tipo PEM.

Se han obtenido buenos resultados de los platos bipolares metálicos, figura 9, obtenidos por maquinado, sin embargo se requiere una mayor investigación para mejorar el funcionamiento de ellos, con características similares o mejores a los platos bipolares comerciales basados en compuestos de carbón.



Figura 9. Celda de Combustible tipo PEM.

Referencias

- [1] Haris Doukas, Konstantinos D. Patlitzianas, Argyris G. Kagiannas, John Psarras, *Renewable Energy*, 31, 755 (2006).
- [2] Kirk-Othmer. "*Hydrogen*", Encyclopedia of Chemical Technology, 4ta edition, Vol. 13, John Wiley & Sons, New York. (1991).
- [3] Gregoire C.E. "*The Hydrogen Program of the United States*", U.S. Department of Energy, Washington, USA. (1996).
- [4] Corbett, Michael. Opportunities in Advanced Fuel Cell Technologies - Volume One Stationary Power Generation 1998-2008, Kline & Company, Inc., Fairfield, NJ. (1998).
- [5] Alan C. Lloyd, *Journal of Power Sources*, 86, 57 (2000).
- [6] Boletín, Fuel Cell Catalist, vol 4, numero 2. (2004).
- [7] EG&G Service, Persons, Inc., "Fuel Cell Handbook", Fifth Edition, USA, Department of Energy, Office of Fossil Energy, October 2000.
- [8] Kamaruzzaman Sopian, Wan Ramli Wan Daud, *Renewable Energy* 719-727, (2006).
- [9] Prater K.B. *Journal Power Source*, 51,129 (1994).
- [10] Prate K J *Power Source*, 29, 239 (1990)
- [11] Kordesch K. G. *Fuel Cells and their applications USA.*: VCT Publishers Inc., New York, Chapter 4, (1996).
- [12] Pov Ric, Reindl M, Tillmetz W. *Fuel Cell Seminar*, 335 (1996).
- [13] Bloomfield David P *Fuel Cell Seminar* 335 (1996).
- [14] Barbir F, Marken F., Bahar B., Kolde JA. *Fuel Cell Seminal*, 505 (1996).
- [15] Department of Energy, "DOE hydrogen Program Review". <http://www.energy.gov/> (2007).
- [16] International Energy Agency, "Energy Technology Essentials-Fuel cells". OECD/IEA (2007).
- [17] Ballard power systems. "Making fuel cells a commercial reality".
- [18] Boletín, Fuel Cell Catalist, vol 4, numero 2. (2004).
- [19] Kreuer KD., *Journal of Membranes Science*, 185, 29 (2001).
- [20] X. Glipa, M. Hogarth, Department of Trade and Industry (UK). Available from World Wide.