

# CONSTRUCCIÓN DE LAS PLACAS MONOPOLARES DE UNA CELDA DE COMBUSTIBLE DE INTERCAMBIO PROTÓNICO POR CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO

Fátima Haydee Ramírez González<sup>1</sup> y Abel Hernández Guerrero<sup>2</sup>

## RESUMEN

El presente trabajo plantea el maquinado de geometrías para los campos de flujo de las placas monopolares para celdas de combustible tipo PEM. El desarrollo de la construcción tiene base en una simulación de maquinado de manufactura asistida por computadora, para posteriormente utilizar una máquina de control numérico. El nuevo diseño asistido por computadora consiste en nuevas geometrías propuestas para el cátodo y el ánodo. El diseño por sus características permite un mejor contacto entre membrana electrodo-colector de corriente, generando un incremento en el desempeño de la celda. La aportación de este trabajo permitirá tener una base experimental para posteriormente construir y caracterizar un dispositivo funcional de manera sencilla para tener un banco de pruebas y posteriormente realizar investigación.

**PALABRAS CLAVE** PEMFC, CAM, CNC, CAD.

## 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 adecuadas para garantizar el cumplimiento de la creciente demanda de manera sostenible. Actualmente, el petróleo es el protagonista indiscutible en la producción energética a nivel comercial; Sin embargo, esto ha acarreado diversos desarrollos tecnológicos y debates ambientales debido a su inminente agotamiento y al fuerte impacto ambiental que generan.

---

<sup>1</sup> Ingeniería Mecánica, Universidad de Guanajuato, DICIS. Carretera Salamanca - Valle de Santiago km. 3.5 + 1.8, Comunidad de Palo Blanco, C.P: 36885, Guanajuato, Salamanca Teléfono: 01 464 647 99 40

<sup>2</sup> Dr. Abel Hernández Guerrero, Universidad de Guanajuato, DICIS, Departamento de Ingeniería Mecánica, Carretera Salamanca - Valle de Santiago km. 3.5 + 1.8, Comunidad de Palo Blanco, C.P: 36885, Guanajuato, Salamanca Teléfono: 01 464 647 99 40; Fax: 2311; abel@ugto.mx

Por este motivo gran parte del gremio productor de energía está interesado en desarrollar sistemas de obtención de energía diferentes a los tradicionales. Según esta necesidad, el desarrollo de las energías alternativas es objeto de estudio de las compañías de energía que visualizan su negocio a futuro.

Las celdas de combustibles son dispositivos que permiten generar energía eléctrica de forma directa y sin productos de desecho contaminantes a partir de reacciones electroquímicas, además de operar con alta eficiencia. Un punto clave para la construcción de PEMFCs son las placas monopolares, porque representan alrededor del 80% del volumen y peso total de la celda y el 45% del costo generalmente; claro está, teniendo en cuenta que estos porcentajes están sujetos a variaciones dependiendo de la geometría y materiales usados la celda (Larminie y Dicks, 2003).

Las principales funciones de las placas monopolares son: distribuir uniformemente el hidrógeno desde el ánodo y el oxígeno desde el cátodo, conducir la corriente eléctrica de una celda a la otra, prevenir la fuga de gases, transferir el calor producido y circular el agua previniendo la deshidratación e hidratación de la membrana (Hoogers, 2003).

Sin embargo, las funciones principales de las placas monopolares dependen del diseño y el material del que se construyen (Mehta y Smith, 2002). Siendo una de las partes más costosas de las PEMFCs, debido a esto el estudio de tales componentes es indispensable y por consiguiente el material, diseño y densidad de potencia requerida son los parámetros a analizar. Los materiales son realmente significativos a la hora de disminuir costos, por esto se ha profundizado en el desarrollo de nuevos materiales que según análisis energéticos y económicos, deben cumplir principalmente con las siguientes especificaciones (Dewan-Hasan y Sung-Hyung 2006):

Alta conductividad eléctrica

Presentar alta impermeabilidad a los reactivos

Presentar facilidad para mecanizar

Presentar alta resistencia estructural

Presentar elevada resistencia a la corrosión

Presentar baja resistencia térmica

Ser ligeras

Ser de bajo costo

Popularmente, en el desarrollo de placas de bajo costo, el grafito es idóneo, puesto que es un material relativamente económico que cumple versátilmente con los requerimientos básicos de funcionamiento, fabricación y eficiencia, como una aceptable conductividad, resistencia a la corrosión y porosidad. La manufactura permite placas delgadas y ligeras que producen una densidad de energía media-alta. Sin embargo, para aplicaciones más elaboradas, actualmente se utiliza y experimenta con materiales compuestos o aleados de un costo un poco más elevado, que tienen el propósito de aumentar significativamente la producción de energía y disminuir las dimensiones de la placa para integrarse en aplicaciones más flexibles y competitivas en el mercado (Aiyejina y Sastry, 2012). Entre los materiales compuestos o aleados se encuentra gran diversidad de opciones, que se diferencian entre sí por su comportamiento frente a la corrosión, pérdida óhmica, ligereza, permeabilidad, compatibilidad química, resistencia al contacto, desgaste, pureza del material (donde se evite el envenenamiento de la membrana y catalizadores), entre otros.

La propuesta novedosa que se plantea en este trabajo, es el maquinado de diferentes geometrías para los campos de flujo de las placas monopolares. 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. Por tal razón, las

propiedades de materiales como el grafito, aluminio y acero inoxidable se utilizan para la fabricación.

## MÉTODOS Y MATERIALES

Los parámetros iniciales de construcción de las placas monopolares fueron determinados teniendo en cuenta las dimensiones de la celda de combustible a la que serán adaptadas las placas, obteniendo como resultado un área de activa de  $25 \text{ cm}^2$  en una placa de  $80 \text{ mm} \times 80 \text{ mm}$ . Teniendo en cuenta el objetivo, las herramientas de construcción y las ventajas de un diseño más robusto en cuanto a resistencia, se concluyó utilizar un espesor de  $8 \text{ mm}$ .

En base a una extensiva revisión del estado del arte en revistas especializadas de nivel internacional y a las pruebas preliminares, se estableció que los materiales más adecuados para realizar la construcción de las placas era el grafito, el aluminio y el acero inoxidable, debido a su bajo costo en comparación con otros materiales y sus buenas propiedades mecánicas y químicas. Del mismo modo se concluyó que las disposiciones geométricas para los canales de flujo (ver Figura 1) a maquinar en las placas fueran las más eficientes y las que más se ajustaran a los requerimientos de este trabajo, así que por esta razón fueron elegidas.



Figura 1. Diferentes geometrías para canales de flujo en placas monopolares

Con el objetivo de establecer un criterio para determinar eficientemente las dimensiones de los canales de las placas, se optó por construir las geometrías con los valores mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Dimensiones de los canales de flujo

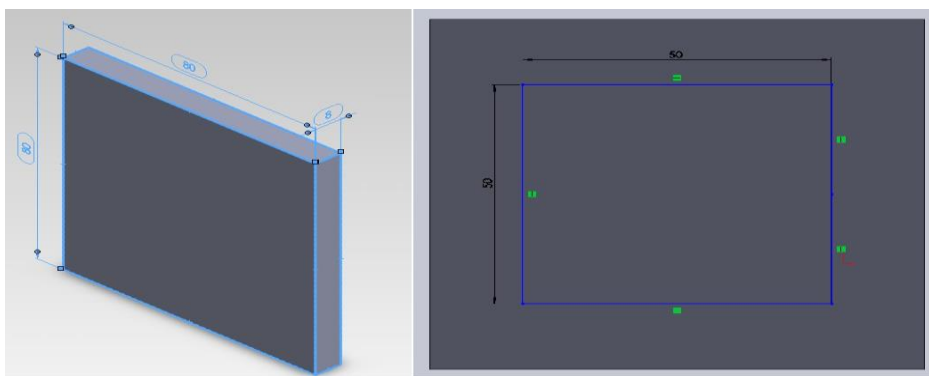
Geometría	Ancho del canal [mm]	Separación [mm]
Radial	1.2	0.5
Interdigitado	0.8	0.5
Espiral cuadrada	1	1
Serpentín 1	1	1
Serpentín 2	1	1

Posterior a la definición de los parámetros de construcción se procedió a diseñar las placas monopolares en el software de diseño CAD donde se aplicó la siguiente metodología:

Se modela la placa con las dimensiones establecidas (ver Figura 2).

Se dibuja un cuadro referencial sobre la placa con las dimensiones del área activa (50 mm X 50 mm). Este cuadro debe estar centrado, para esto se acota 15 mm desde cada uno de los bordes hacia el centro de la placa (ver Figura 2).

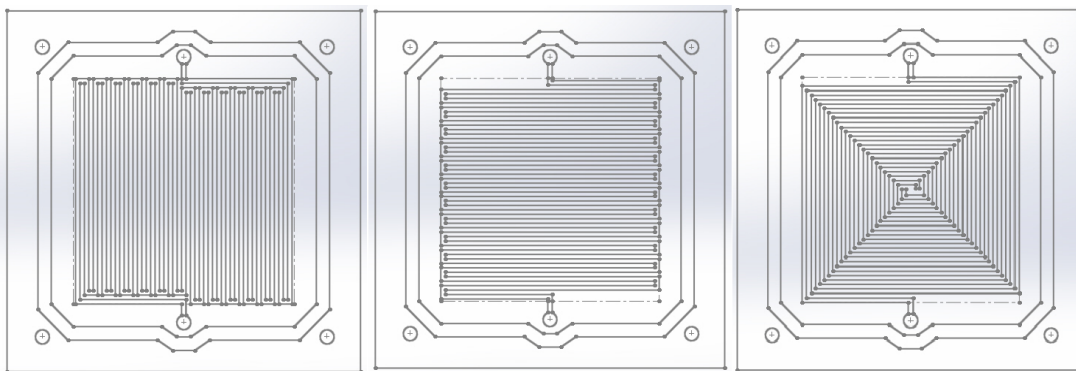
Sobre el cuadro referencial se inicia el dibujo del croquis de canales.



**Figura 2. Dimensiones de la placa y cuadro de referencia para el área activa**

Posteriormente se perfora cada una de las placas con dos agujeros pasantes de 1/8" de diámetro (ánodo y cátodo) ubicados en los extremos de entrada y salida del canal que fueron alargados para ser adaptados a la celda de combustible y un marco para los empaques (ver Figura 3).

El siguiente paso corresponde a la perforación de los agujeros de sujeción y alineación de placas (ver Figura 3).



**Figura 3. Diseño final de las placas monopolares**

## RESULTADOS

Las máquinas de control numérico requieren datos aritméticos para controlar el movimiento entre herramienta y pieza, los datos geométricos de la pieza se obtienen directamente del dibujo realizado en el software de CAD. 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 maquina se llama programa de la pieza. Al proceso de la creación y estructuración de dichos datos se le llama programación.

El programa de las piezas a producir está en un archivo generado mediante CAM (ver Figura 4), por lo que su cambio a la maquina CNC Denford Tools Fanuc Milling, se hace rápidamente y libre de errores. El fresado en CNC requiere una planificación cuidadosa y una orientación precisa del ángulo de mecanizado en relación a la superficie, para conseguir la alta velocidad de corte en la periferia de la herramienta, mientras que el centro de rotación tiene velocidad nula. Velocidades de 18000 a 25000 rpm son comunes, pero al usar herramientas de pequeño diámetro, son deseables velocidades de 60000 a 80000 rpm. El centro de mecanizado no sólo necesita husillo de alta velocidad, sino además su cuerpo debe ser rígido, libre de vibraciones, y con guías y actuadores rápidos. Durante el procesado, en una situación ideal se monitorizan el desgaste de la herramienta y las fuerzas de corte.

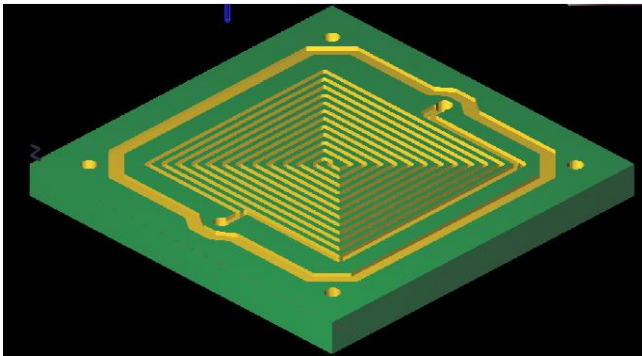


Figura 4. Placa monopolar obtenida mediante el software CAM

El fresado por CNC es realmente sencillo ya que todo el proceso es realizado automáticamente por la máquina, muy pocos parámetros son requeridos; sin embargo uno de los principales es la programación de la maquina (ver Figura 5).

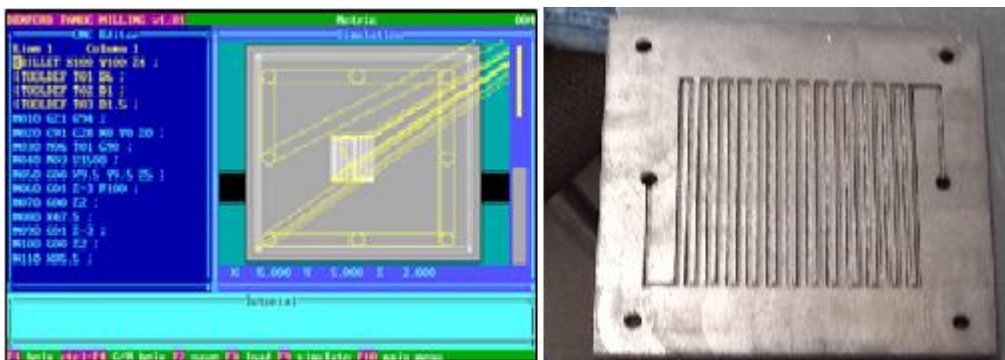


Figura 5. Maquinado de placas monopolares

## CONCLUSIONES

La aportación de este trabajo permitirá tener una base experimental para probar diferentes configuraciones de las placas monopolares de la celda de combustible tipo PEM y servirá para investigaciones sobre el efecto de los múltiples parámetros que afectan su funcionamiento. Como trabajo a futuro se plantea la utilización las placas monopolares construidas para una PEMFC donde se compararan las curvas de polarización que produzcan cada una de ellas, en los diferentes materiales en los que fueron construidos.

## REFERENCIAS

Aiyejina Ararimeh, Sastry MKS (2012). PEMFC Flow Channel Geometry Optimization: A Review. *Journal of Fuel Cell Science and Technology* 9: 011011.1-24.

Dewan Hasan Ahmed, Sung Hyung Jin (2006). Effects of Channel Geometrical Configuration and Shoulder Width on PEMFC Performance at High Current Density. *Journal of Power Sources* 162: 327-339.

Cano-Andrade S, Hernandez-Guerrero A, von Spakovsky MR, Damian-Ascencio CE, Rubio-Arana JC (2010). Current Density and Polarization Curves for Radial Flow Field Patterns Applied to PEMFCs (Proton Exchange Membrane Fuel Cells). *Energy* 35: 920-927.

Hoogers Gregor, (2003), *Fuel Cell Technology Handbook*, CRC Press 2003.

Juarez D, Hernandez A, Ramos B, Elizalde F (2011). Multiple Concentric Spirals for the Flow Field of a Proton Exchange Membrane Fuel Cell. *Journal of Power Sources* 196: 8019-8030.

Larminie James and Dicks Andrew (2003). *Fuel Cell Systems Explained*, Second Edition John Wiley & Sons.

Mehta, Viral. Smith Cooper, Joyce (2002). Review and analysis of PEM fuel cell design and manufactured. Department of mechanical engineering. University of Washington, Seattle.