

# METODOLOGÍA DEL ENSAMBLAJE DE UN STACK DE CELDAS DE COMBUSTIBLE TIPO PEM

Dr. Hernández-Guerrero A., Saldierna-Soto Alejandro A., Sánchez-Ramírez Irma P., Sánchez-Rodríguez Evelin J. G., Méndez-García Daniel A., Colín-Cervantes Emilio D., Torres-Cano Felipe A.

División de Ingenierías Campus Irapuato Salamanca, Carretera Salamanca-Valle de Santiago km 3.5+1.8, Comunidad de Palo Blanco, Salamanca, Gto.

## Abstract

En este trabajo se presenta un método de ensamblaje para un stack de celdas de combustible tipo PEM que proporciona la posibilidad de analizar experimentalmente múltiples configuraciones de operación con la finalidad de validar resultados numéricos de modelos propuestos. Es posible identificar dos aspectos que brindan una pauta en el diseño y construcción de un stack de celdas de combustible: su costo y la factibilidad de poder realizar variaciones en su diseño y operación. Numero de celdas, tipo de membrada, geometrías de los canales de distribución, formas de alimentar la celda con los gases reactantes, así como el tipo de material utilizado en cada una de las placas, son solo algunos de los factores a variar con la propuesta de ensamblaje aquí propuesta. Con la finalidad de comprobar la eficiencia de este método de ensamble, se determina el desempeño de un stack conformado por tres celdas con canales convencionales de 5x5 cm bajo tres diferentes condiciones de operación.

## Introducción

Estadísticas actuales demuestran que la razón principal del cambio climático son las excesivas emisiones de dióxido de carbono, ocasionadas por la sobreexplotación de combustibles fósiles.

Al ser reemplazarlos por energías alternativas se podría mitigar 1.5 tCO<sub>2</sub> de las 4.5 tCO<sub>2</sub> que produce en promedio cada ser humano del planeta.

Las celdas de combustible son seleccionadas en este trabajo por su portabilidad, a diferencia de otras fuentes de energía limpia, como la solar o la eólica, no dependen de factores meteorológicos como la luz del sol o el viento.

Una celda de combustible sólo necesita el flujo de dos gases reactantes para producir electricidad: Hidrógeno y Oxígeno, a diferencia de las baterías de litio el tiempo de carga y descarga se incrementa considerablemente.

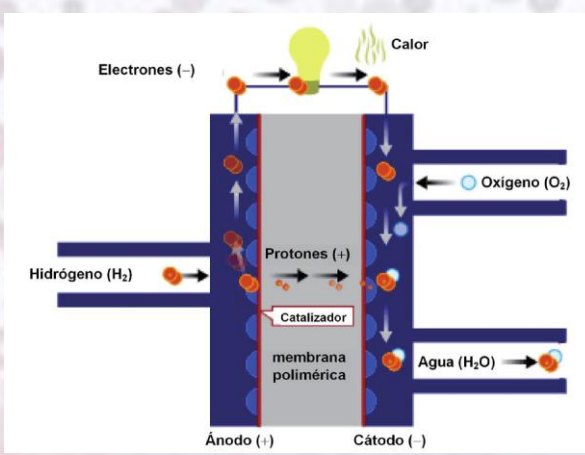


Figura 1 Funcionamiento de una celda de combustible tipo PEM

Algunas de las metodologías de ensamble de un stack de celdas de combustible buscan reducir el espacio ocupado por las celdas, Shou-Shing Hsieh propone un diseño planar en donde conjunta varias celdas en una sola placa en una de las múltiples placas que conforman el stack.

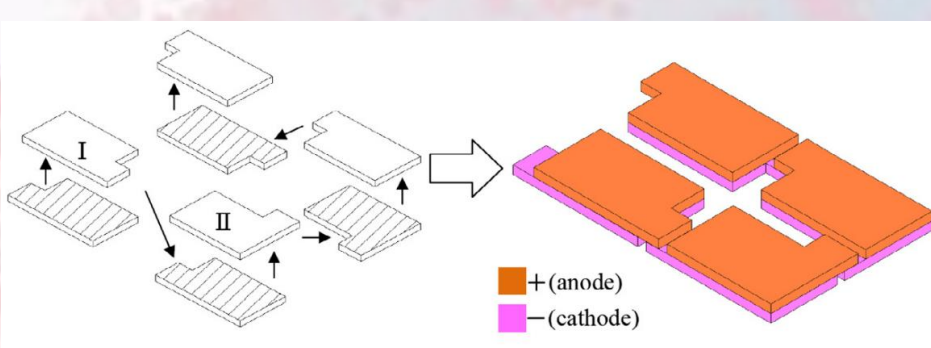


Figura 2. Ensamblaje Shou-Shing Hsieh [1].

## Geometría

El diseño que se muestra en la Figura 3(a) brinda la posibilidad de un fácil y efectivo cambio de cada una de sus partes y sus configuraciones.

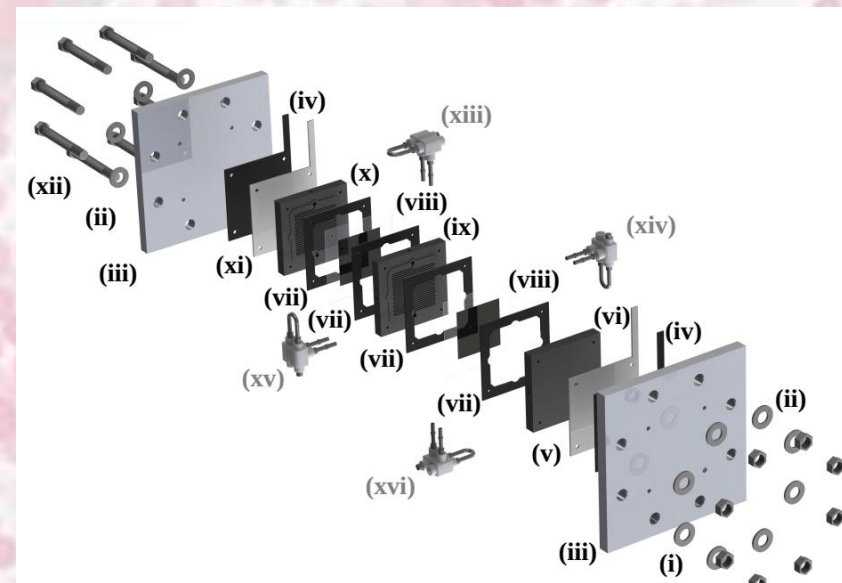


Figura 3. (i) tuercas; (ii) rondanas; (iii) placas de sujeción; (iv) aislante eléctrico del colector; (v) colector de corriente en el ánodo; (vi) placa de difusión en el ánodo; (vii) empaque; (viii) MEA; (ix) placa bipolar de difusión; (x) placa de difusión en el cátodo; (xi) colector de corriente en el cátodo; (xii) tornillos; (xiii) alimentación de oxígeno; (xiv) alimentación de hidrógeno; (xv) Salida de hidrógeno; (xvi) Salida de oxígeno.

## Metodología

Pensando en lograr un buen ensamble de la MEA, y las placas bipolares de grafito con el resto de los componentes del stack, se tomaron en cuenta cinco aspectos de diseño: prevenir fugas, minimizar resistencia eléctrica de contacto, promover una buena disipación de calor, así como buena distribución de reactantes y reducir el estancamiento de agua.

a) **Prevención de Fugas:** Los conectores neumáticos que alimentan de manera externa a cada una de las celdas, a través de los conductos plásticos, evitaron la presencia de fugas, por otro lado, la disposición de los empaques alrededor de la MEA junto con un apriete de 2.2 Nm contuvieron los gases reactantes dentro de los canales de flujo dentro de las placas bipolares.

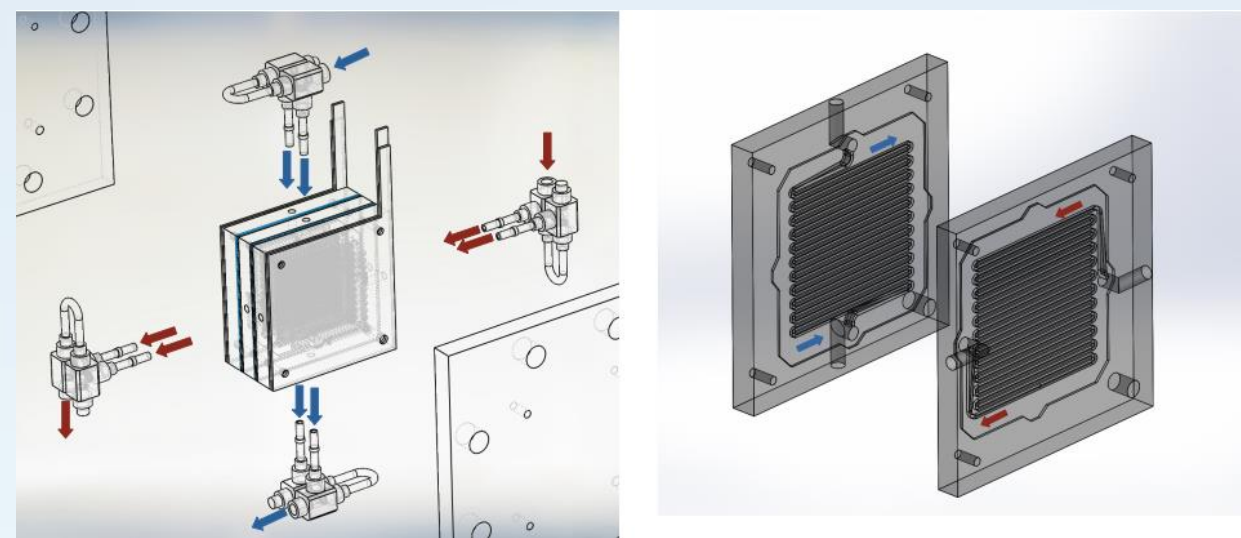


Figura 4 Conectores neumáticos dentro de las placas bipolares

b) **Minimizar resistencia eléctrica de contacto:** Esto se logra utilizando colectores de corriente de acero inoxidable en contacto con las placas bipolares al resto del ensamble con el apriete mencionado anteriormente.

c) **Promover una buena disipación de calor:** Utilizar placas de sujeción de aluminio y tornillos de acero, propicio una buena disipación de calor generado en la celda por convección natural.

Property	Value (mm)
(i) Thickness	12
(ii) Side	160
(iii) Bolt hole position	125
(iv) Bolt hole distance	51.77
(v) Guide hole distance	64

Figura 5 Placas de sujeción de aluminio y tornillos de acero

d) **Buena distribución de reactantes y reducción del estancamiento del agua:** Alimentar externamente cada una de las placas evita estancamientos, una vez dentro de los canales de distribución se busco una buena alimentación en contraflujo a través de los serpentines que como se muestra en el diseño, quedan empalmados.

El patrón de campo de flujo seleccionado es un serpentin (Figura 6), por que es la geometría mas común y la mas documentada, se ha observado que esta geometría ofrece un buen compromiso entre los problemas de caída de presión y eliminación del agua.

Property	Value (mm)
(i) Length	80
(ii) Width	80
(iii) Thickness	12
(iv) Depth gasket seat	0.75
(v) Channel width	1
(vi) Channel rib	1.1

Figura 6 Tamaños de placas bipolares de grafito.

Con la finalidad de mostrar la viabilidad de la metodología anteriormente propuesta, se analiza el desempeño de un stack de 3 celdas bajo las condiciones de operación mostradas en la siguiente tabla a 3 presiones manométricas: 15 kPa, 25kPa, Y 40 kPa.



Figura 7 (a) Estación de pruebas experimentales, (b) Stack.

Tabla 1 Condiciones experimentales.

Condición	Ánodo	Cátodo
Temperatura del stack (°C).	40	40
Temperatura de los gases en la entrada del humidificador (°C).	22.5	22.5
Humedad relativa de los gases en la salida del humidificador (%RH).	0	0
Temperatura de los gases en la salida del humidificador (°C).	60	60
Humedad relativa de los gases en la salida del humidificador (%RH).	92	92
Flujo volumétrico (sccm)	430	2300

## Resultados y conclusiones

La curva de polarización y de potencia obtenidas después de descargar el stack con una resistencia eléctrica variable se muestran a continuación:

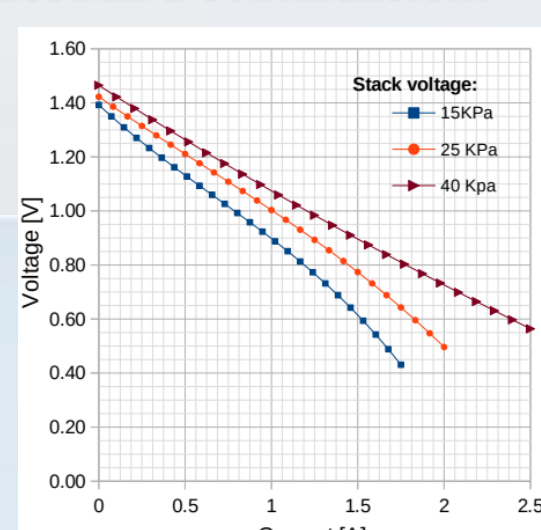


Figura 9 Curvas de polarización

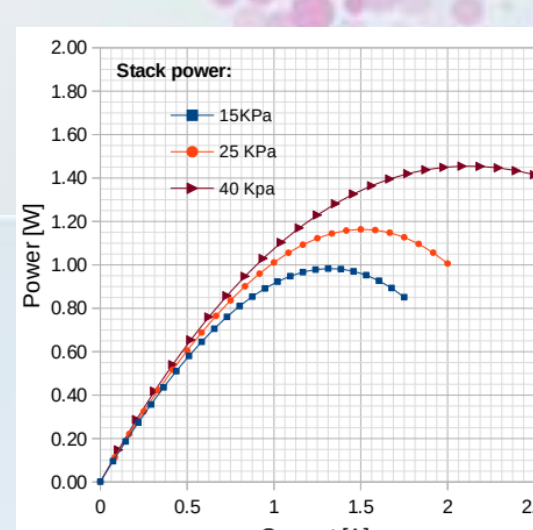


Figura 10 Curvas de potencia

El comportamiento de las gráficas es el esperado en este tipo de dispositivos electroquímicos, a medida que se incrementa la presión la presión máxima se incrementa.

Para identificar cualquier tipo de anomalía en la operación del stack ensamblado, se calcula el intervalo de confianza de las mediciones a partir de la Ec. 1:

$$Valor\ medido = \bar{X}_i \pm r_i \quad (1)$$

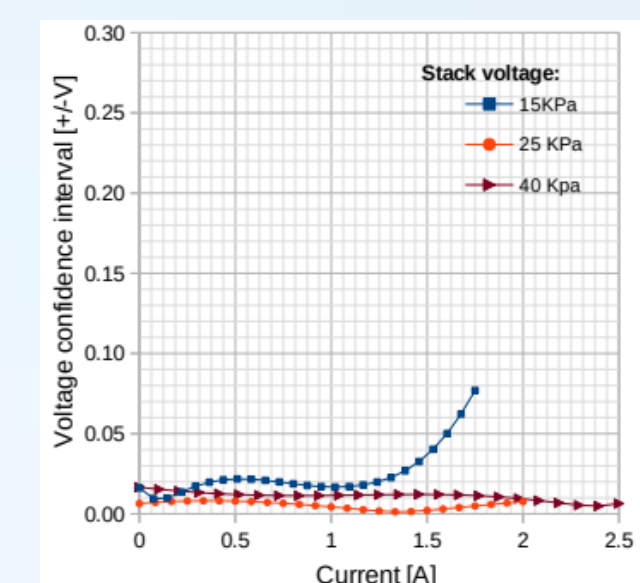


Figura 11 Tensión de confianza con un 99% de confianza

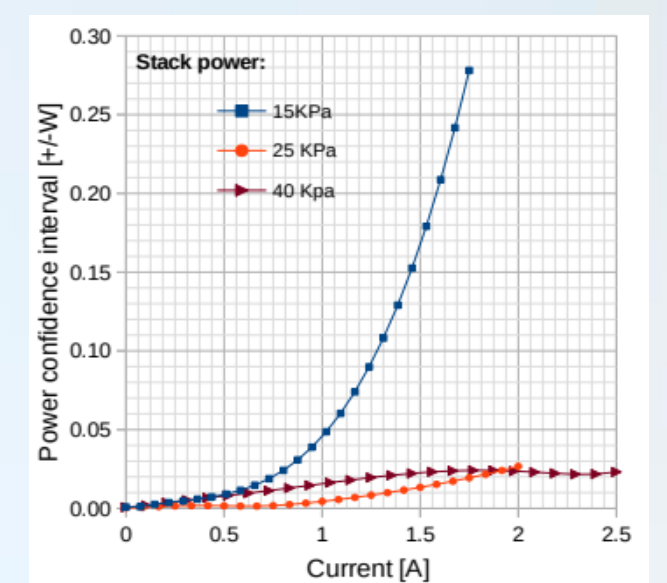


Figura 12 Confianza de potencia con un 99% de confianza

$\bar{X}_i$  es la media muestral y  $r_i$  es definida por:

$$r_i = Z_{\alpha^*} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

donde  $Z_{\alpha^*}$  es el valor crítico de z utilizando un nivel de confianza  $\alpha^*=95\%$  o  $\alpha^*=99\%$  y n el numero de muestras en este caso 4 por cada punto.

Es posible distinguir un incremento considerable en el Interval de confianza en las mediciones a 15 kPa a altas densidades de corriente, sin embargo esta incertidumbre proviene por posibles estancamientos de agua en los canales, un comportamiento típico de las celdas de combustible y no una anomalía propia del método de ensamble, el cual prueba tener rangos aceptables de incertidumbre en las mediciones fuera de estas condiciones especiales de operación.

Los valores de incertidumbre, la ausencia de fugas y la facilidad con la que se realice el ensamble garantizan la viabilidad de esta metodología para realizar pruebas experimentales con un stack de celdas de combustible tipo PEM.

## Referencias

- [1] IEA. Data & Statistics. <https://www.iea.org/data-and-statistics>, 2020.
- [2] Noopur Khare, Divya Singh, Rama Kant, and Pragati Khare. Global Warming and Biodiversity. In Current State and Future Impacts of Climate Change on Biodiversity, pages 1{10. IGI Global, 2020.
- [3] Leo JMJ Blomen and Michael N Mugerwa. Fuel cell systems. SpringerScience & Business Media, 2013.
- [4] Adriana Andronic, Ioan Stamat, Valentin Girleanu, Ionescu Viorel, and Nicolae Buzbuchi. Experimental study of a pemfc system with different dimensions of the serpentine type channels from bipolar plate flow fields. Mechanics, 25(1):11{16, March 2019. Number: 1.
- [5] W. R. W. Daud, R. E. Rosli, E. H. Majlan, S. A. A. Hamid, R. Mohamed, and T. Husaini. PEM fuel cell system control: A review. Renewable Energy, 113:620{638, December 2017.

## Agradecimientos

Los autores de este trabajo de investigación agradecen a la Universidad de Guanajuato la oportunidad de participar en un programa de gran magnitud y alcance en nuestra comunidad universitaria como lo es el Programa Verano de la Ciencia 2022.