

SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN DE UNA PILA DE COMBUSTIBLE A NIVEL LABORATORIO

M. A. Domínguez Reza¹, C. Cortés Escobedo², O. Solorza Feria³, R. G. González Huerta^{1*}

¹ESIQIE-IPN, UPALM, Av. IPN s/n, C.P. 07738, México, D.F.

²CIITEC-IPN, Cerrada Cecati S/N Col. Santa Catarina, Del. Azcapotzalco, 02250, México, D.F.

³CINVESTAV-IPN, Av. IPN 2508, C.P. 07360, México, D.F.

*E-mail Contacto: rosgonzalez_h@yahoo.com.mx

RESUMEN POSTER

En la actualidad el uso de los combustibles derivados del petróleo producen emisiones contaminantes, provocando el calentamiento global y el deterioro en la salud de los seres vivos. Muchos laboratorios del mundo están desarrollando distintos sistemas híbridos que utilizan energías renovables, lo que ayudará a disminuir la dependencia energética de los hidrocarburos. 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. Una de las necesidades principales que se tiene en este ámbito es tener personal capacitado y actualizado en el uso de energías alternas. En este trabajo se diseñó e integró una pila de combustible para su uso en laboratorio y obtener las curvas características. Con ello se puede saber cuál es el punto óptimo de trabajo para acoplar un buen sistema y generar energía renovable.

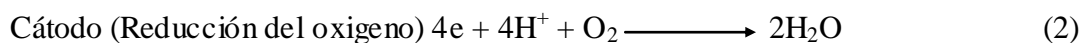
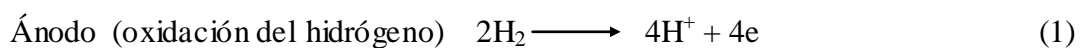
1.- Introducción

En nuestro país la generación de energía a través de combustibles fósiles no renovables y su consumo excesivo forman un grave problema para la contaminación del agua, suelo, medio ambiente y reservas ecológicas. Entre los daños más severos que se pueden mencionar esta el calentamiento global del planeta problema que es muy crítico para nuestro país, derrames de combustible en el mar, contaminación ambiental entre muchos más. Por cada átomo de carbón que se extrae del subsuelo y se transforma en energía, una molécula de algún óxido de carbono y de nitrógeno es emitido a la atmósfera, teniendo grandes cantidades de CO_2 que se incorporan en esta. Por ejemplo, en un solo año, se suman cerca de 5,600,000,000 toneladas métricas de CO_2 al ambiente lo que agrava el problema relacionado con el efecto invernadero. Estudios muestran que la emisión de gases de efecto invernadero por el uso de los combustibles fósiles seguirá en aumento a lo largo del siglo XXI, debido a la marcada demanda de energía por el aumento poblacional o para satisfacer las necesidades de desarrollo de los países, se sabe que los países desarrollados a nivel económico y tecnológico usan grandes cantidades de energía, llegando a utilizar cientos de veces el consumo que hay en los países pobres o que están en vías de crecimiento. Está previsto que las emisiones de dióxido de carbono aumenten en un 50 % entre 2009 y 2030. Es esencial para evitar cumplir esta predicción incrementar la eficiencia energética, detener la deforestación de bosques y utilizar energías alternas. Aproximadamente la tercera parte de la energía primaria se destina a la producción de energía eléctrica, aunque en términos de energía consumida esta representa un 12% del total y se distribuye en la industria y en la vivienda, lo que indica que más de la mitad son pérdidas [1-4].

Las fuentes alternativas son la clave para detener el cambio climático, debido a que no inciden en el calentamiento global ni a la contaminación del planeta. Muchos expertos explican que se debe empezar por construir una nueva cultura haciendo que los consumidores contribuyan y dar incentivos que fomenten el uso de nuevas tecnologías limpias. Se debe comenzar por introducir poco a poco las nuevas fuentes de energía renovable, tomando como puente los combustibles fósiles, ya que no es tan fácil quitarlos como principal fuente de energía.

Las energías renovables son un elemento clave para reducir los tres grandes problemas de nuestro actual sistema energético: a) Contaminación ambiental, b) Agotamiento de recursos y c) Modelos de desarrollo muy centralizado.

En este trabajo se diseñó e integró una pila de combustible de membrana de intercambio protónica, PEM, la cual esta formada por un ánodo y un cátodo separados por un electrolito el cual tiene depósitos de electrocatalizadores para llevar a cabo las reacciones de oxidación-reducción durante el proceso electroquímico para la generación de electricidad. El oxígeno se alimenta en la parte del cátodo y el hidrógeno en la parte anódica. Cuando el hidrógeno entra en contacto con el catalizador es ionizado y pierde un electrón, al ocurrir esto, el protón (H^+) y el electrón toman diferentes caminos hacia el segundo electrodo. El protón (H^+) se transporta hacia el otro electrodo a través del electrolito mientras que el electrón lo hace a través de un material conductor. Este proceso electroquímico producirá agua, corriente eléctrica y calor útil. En las pilas de combustible se pueden hacer arreglos (stacks), los cuales son conectados en serie o paralelo según sean los requerimientos del servicio que se alimentará. Las reacciones simultáneas que se tienen en la pila de combustible PEM son:



En este trabajo se presenta un sistema de pilas de combustible de dos ensambles conectados en serie y se obtendrá su curva característica.

2.- Condiciones experimentales

Se instalaron 3 celdas solares de silicio conectadas en paralelo, cada una de ellas da 100 mA y 4.5V que al final viene arrojando una intensidad de 300 mA y 4.5 V mismas que van conectadas a un electrolizador PEM (Membrana de intercambio protónico) el cual fue diseñado para que por medio de la electrólisis del agua nos genere Hidrógeno y Oxígeno como combustible para alimentar a una celda de combustible diseñada para mover un

motor de baja potencia y hacer sonar una caja de música. En este trabajo se utilizó un stack de dos ensambles conectados en serie. Los componentes del sistema de polas de combustible se observa en la figura 1:

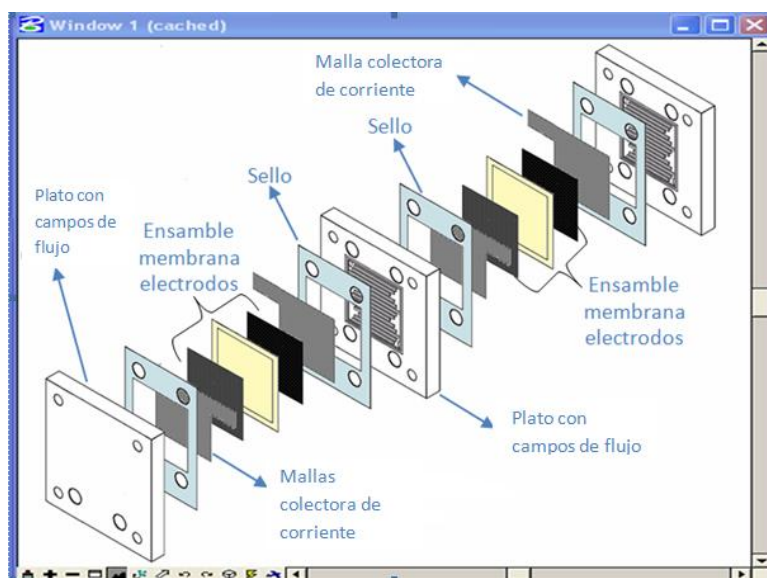


Figura 1. Componentes de la pila de combustible de prueba

El diseño de las carcasas y los campos de flujo de la pila de combustible se realizaron con el software plant design system (PDS) figura 2.

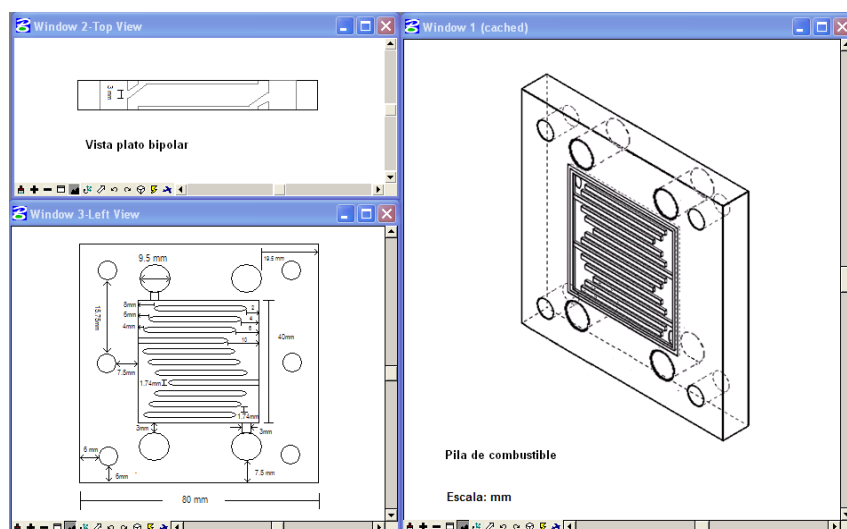


Figura 2- Diseño de las placas de la pila de combustible

Para maquinar los campos de flujo de la pila se utilizó un taladro fresador marca Arboga Maskiner Modelo A2508U, Figura 3.



Figura 3- Taladro Fresador (marca Arboga Maskiner Modelo A2508U).

Los platos colectores de corriente de la pila de combustible se diseñaron con campos de flujo tipo serpentín alternado para una mejor distribución de los gases de reacción y un mejor desalojo de agua, Figura 4.



Figura 4- Platos colectores de corriente

Para los dos ensambles membrana electrodos se utilizó membrana nafion previamente activada, como cátodo y ánodo se utilizaron electrodos comerciales electrochem de tela de carbón de 4 cm², con una carga catalítica de 1 mg/cm² de Pt-Etk al 10%.

La pila de combustible trabaja a base de hidrógeno y oxígeno, por lo que se instaló en el sistema, para la producción de gases, un electrolizador de membrana de intercambio protónico, figura 5, integrado a una energía renovable. Al electrolizador se le instalaron 2 tanques de vidrio con una capacidad de 250 ml, con dos entradas laterales para la recirculación de agua y una salida superior para el flujo de gases hacia la pila de combustible.

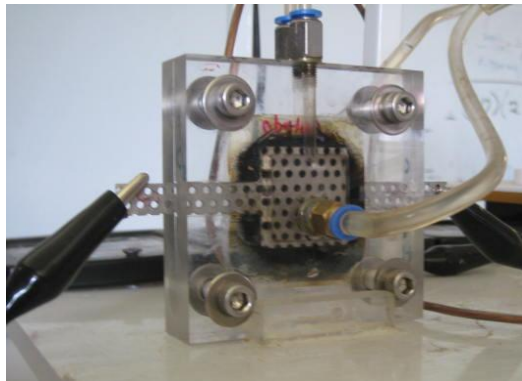


Figura 5. Integración del electrolizador con los tanques de almacenamiento

Estos tanques sirven para almacenar el hidrógeno y oxígeno que se alimenta a la pila de combustible para hacerla funcionar.

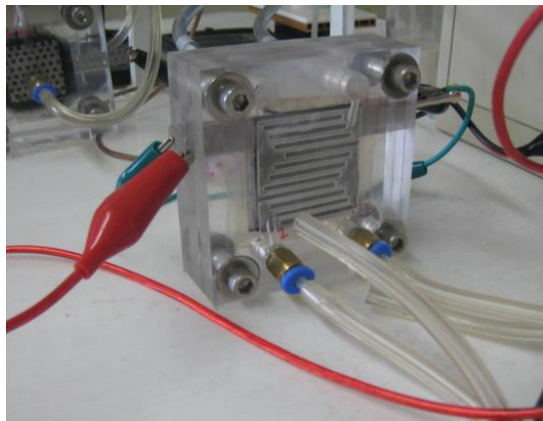


Figura 6. Integración de la pila de combustible

La caja de resistencias variables nos sirve para la caracterización de la pila de combustible. El circuito eléctrico de esta caja de resistencias esta constituido por un polo 11 tiros, teniendo resistencias que van desde corriente de corto circuito (C.C.C), donde la intensidad de corriente es la máxima en el sistema, hasta voltaje circuito abierto (V.C.A.), que es el voltaje máximo al que llega el sistema. En la figura 7, se observa el diagrama de la caja de resistencias variable, se ven las resistencias $R=\infty$ (V.C.A), 200Ω , 100Ω , 50Ω , 10Ω , 5Ω , 3Ω , 1Ω y $R=0$ (C.C.C), incluyendo una caja de música y el motor de baja potencia. El amperímetro va conectado en serie al sistema y se alimenta de una fuente de 5 V integrada a la caja de resistencias. Tiene dos contactos, uno para conectar los sistemas a caracterizar, y el otro para monitorear el voltaje del sistema.

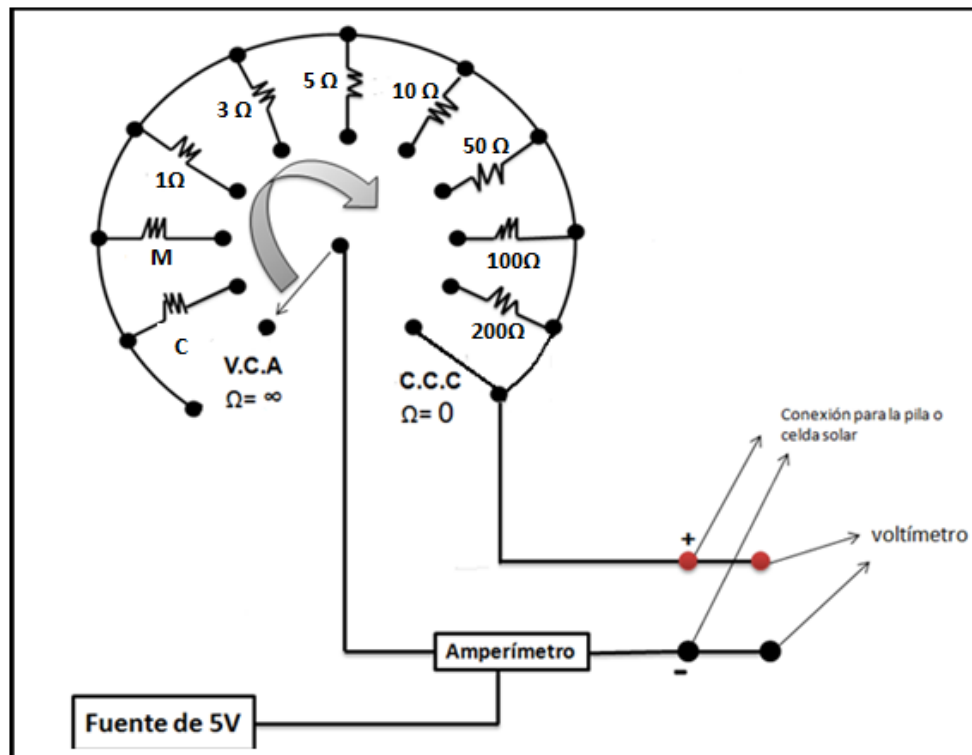


Figura 7- Diagrama de la caja de resistencias variables

Para iniciar el funcionamiento de la pila se instaló el sistema completo, el cual consiste de las celdas solares de silicio conectadas en paralelo, que van conectadas al electrolizador para generar hidrógeno y oxígeno, que a su vez se alimenta a la pila de combustible.

2.1. Caracterización de la pila de combustible

El caracterizar una pila de combustible sirve para conocer si esta es apta para el servicio que se debe alimentar con la energía producida. En esta caracterización es importante conectar la caja de resistencias y un voltímetro en paralelo con la pila de combustible. Es necesario dejar producir el hidrógeno necesario para que el voltímetro marque un voltaje a circuito abierto constante, que es el mayor voltaje que la pila puede proporcionar. Una vez teniendo este voltaje se empiezan a variar las resistencias (V.C.A, 200Ω , 100Ω , 50Ω , 10Ω , 5Ω , 3Ω , 1Ω y C.C.C) para ir monitoreando los valores de voltaje e intensidad de corriente. Un punto que es necesario resaltar es que cada vez que se haga una lectura, se regrese la perilla de la caja de resistencias al puto de origen V.C.A, para alcanzar de nuevo el máximo voltaje y poder hacer la siguiente lectura. Para generar la grafica de V vs I se requiere anotar los datos obtenidos tanto de intensidad de corriente como de diferencia de potencial. El sistema se conecta como se muestra en la figura 8:

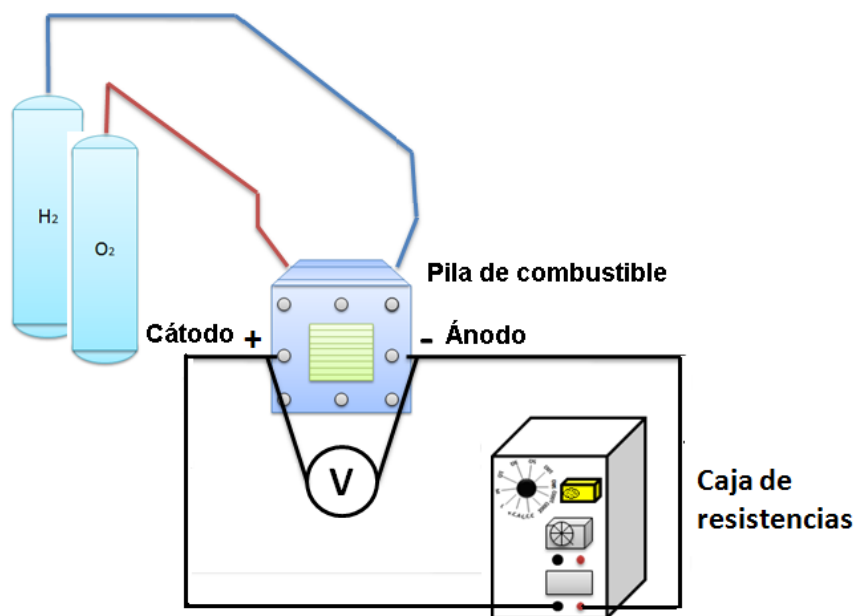


Figura 8. Conexión para la construcción de la curva de la pila de combustible.

Una vez recabados los datos se prende el motor y la caja de música con la energía almacenada en la pila y se observa el voltaje necesario para que este se mantenga en movimiento.

3.- Resultados y discusión

En una pila de combustible el voltaje experimental se relaciona con el voltaje reversible a través de sobrevoltajes, que son las pérdidas de voltaje, V_{per} , que aparecen durante la operación de la celda y se describen de la siguiente manera:

$$V = V_r - V_{per}, \quad (4)$$

$$V_{per} = \eta_m + \eta_a + \eta_\Omega + \eta_c, \quad (5)$$

donde η_m es el sobrevoltaje mixto o entrópico, η_a es el sobrevoltaje de activación, η_Ω es el sobrevoltaje por resistencia o caída óhmica y η_c es el sobrevoltaje por concentración como se había descrito anteriormente. Durante todo el proceso de operación de la pila existen los diferentes sobrevoltajes, pero conforme se obtiene una mayor densidad de corriente, domina alguno de ellos, como se muestra en la figura 9.

La Región 1 de la Figura 9 muestra las pérdidas intrínsecas de una pila, principalmente por las contribuciones entrópicas del sistema. La Región 2 corresponde al sobrevoltaje mixto, η_m , por entrecruzamiento de gases de reacción, voltajes mixtos que resultan de corrientes farádicas y por la irreversibilidad de la reacción. En la Región 3 existe un sobrevoltaje por activación, η_a , el cual tiene un comportamiento semiexponencial, principalmente por la cinética lenta de la reacción en los electrodos. En la Región 4 el sobrevoltaje por caída óhmica, η_Ω , surge principalmente por la resistencia a la conducción protónica desde el ánodo, a través de la membrana polimérica, hasta el cátodo y por los contactos eléctricos. Finalmente, la Región 5 representa el sobrevoltaje de concentración, η_c . este sobrevoltaje se debe principalmente a la baja velocidad de transporte de los gases reactivos, H_2 y O_2 , a través de los difusores y poros de las capas del electrocatalizador. En resumen las investigaciones de las pilas de combustible deben de estar dirigidas a disminuir cada uno de estos sobrevoltajes. La figura 9 también muestra la curva de potencia vs corriente de la pila. Se puede predecir la forma de esta curva si se examina su comportamiento a bajas y altas densidades de corriente. Así para bajas densidades de corriente, $i \rightarrow 0$ y a altas densidades

de corriente $V \rightarrow 0$, por lo que P se aproxima a cero en ambos extremos, mientras que a valores intermedios toma un valor máximo, el cual tiene un valor de voltaje muy cercano a la mitad del V_{ca} que presenta el sistema.

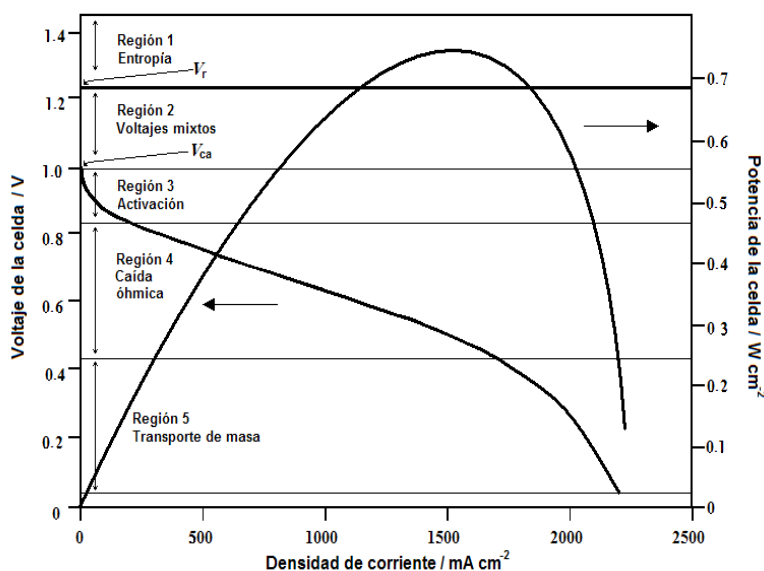


Figura 9. Gráfica de i vs V vs W , mostrando los sobrevoltajes existentes.

En figuras 10 se muestran las curvas características de la pila de combustible de este trabajo, la cual consiste de dos ensambles en serie. La corrida 1 se realizó con la pila de combustible conectada a un electrolizador que genera 0.081 IN hr^{-1} de hidrógeno. Se puede observar un VCA de 1.3 V. En los primeros 30 mA existe una caída de voltaje hasta 0.3 V, logrando una CCC de 110 mA. Este comportamiento se atribuye a la baja producción de hidrógeno en el electrolizador y muestra como el acoplamiento de ambos sistemas debe estar diseñado adecuadamente. La corrida 2 se llevó a cabo conectada la pila de combustible al electrolizador que producía 0.081 IN hr^{-1} de hidrógeno, la producción de hidrógeno es mayor a la de la corrida 1. Se puede observar un VCA alrededor de 1.5V y una CCC de 300 mA. A potenciales cercanos al VCA y baja corriente, se puede observar el comportamiento exponencial, lo cual indica que están involucrados los procesos de la transferencia de carga y depende mucho de los catalizadores que son utilizados. A bajos potenciales, menores a 1.1 V, se observa una línea recta, esta zona está controlada por la

resistencia óhmica generada por el electrolito (membrana Nafion 115) y los contactos eléctricos internos de la celda.

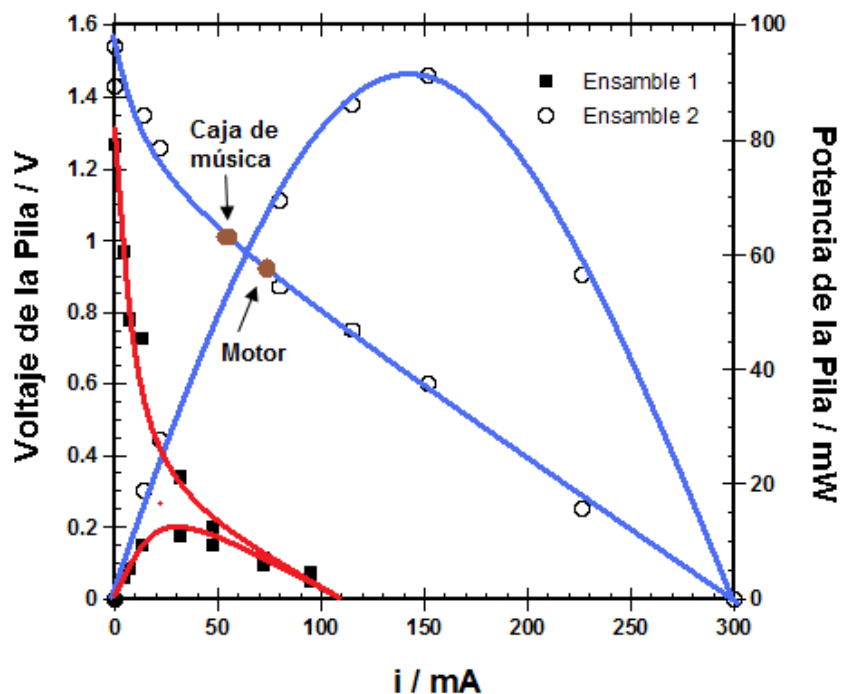


Figura 10. Gráfica de densidad de corriente vs voltaje de la celda y vs potencia

En la misma figura 10 se observa también las curvas de potencia, la corrida uno muestra una potencia muy baja de 12 mW, que no podría utilizarse en la práctica. La corrida dos indica el punto máximo de desempeño de la pila de combustible en 90mw y 150 mA. El rango óptimo de operación de la celda queda antes de este punto entre 1.V y 0.8 V con rangos de corriente entre 50 y 100mA, esto es en la zona de caída óhmica después de la transferencia electrónica para lograr un buen desempeño, por lo regular una pila de combustible no se opera en el punto de máximo desempeño para evitar una caída de voltaje muy grande y daños en los MEAS por calentamiento, así se logra que el tiempo de vida útil sea mayor.

Como caso práctico se integró una caja de música y un motor de baja potencia para determinar el punto de operación de la pila de combustible. El motor demandó 70 mA con un potencial de 0.9 y la caja de música requirió solamente 50 mA a 1 V. Estos sistemas

funcionan correctamente mientras sean alimentados los gases de reacción de manera continua, no se observó ningún corto circuito ni fugas en la pila. Por lo que se puede concluir que la pila está bien integrada a los servicios requeridos, motor y caja de música. En la Tabla 1 se resumen los parámetros obtenidos de las dos corridas que se hicieron en la pila de combustible.

Tabla 1. Desempeño de la pila de combustible dos ensambles en serie

Corrida pila de combustible	VCA V	CCC mA	P _{max} mW	Corriente a P _{max} mA	Voltaje A P _{max} V
1	3.41	3.3	210	30	0.35
2	2.60	2.3	257	150	0.6

4.- Conclusiones

Se diseñó la pila de combustible y se realizó el montaje del sistema (solar-hidrógeno-pila de combustible) para la caracterización de la pila de combustible de los dos ensambles conectados en serie. Se obtuvo el desempeño de la pila de combustible para determinar que el motor de baja potencia y la caja de música quedan bien acoplados con la pila diseñada. Se observa que el motor y la caja de música quedan en el punto óptimo donde la pila de combustible trabaja mejor por lo que la eficiencia de esta basta para mover los dos servicios.

5.- Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo para el desarrollo de este proyecto al ICYTDF (Proyecto PICS08-37) y al IPN (Proyecto SIP-20100530)

6.- Referencias

- [1] A. Rodríguez, E. López, O. Solorza, *J. Mex. Chem. Soc.*, 51, 55, (2007).
- [2] F. Barbir, *Solar Energy*, 78, 661, (2005).
- [3] F. Barbir F., *PEM fuel cells: theory and practice*, Richard C. Dorf. (ed.), USA, (2005).
- [4] Hidrógeno: Introducción a la energía limpia, Editor UACM, (2009).