

## **SISTEMA DE PRUEBA PARA CARACTERIZAR UN ELECTROLIZADOR PEM.**

G. Santillán-Aragón<sup>1\*</sup>, R. Vargas García<sup>2</sup>, O. Solorza-Feria<sup>2</sup>, R.G. González-Huerta<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ESIQIE-IPN, Laboratorio Electroquímica, UPALM, México, D. F., 07738, México

<sup>2</sup>ESIQIE-IPN, Depto de Metalurgia y Mat., UPALM, México, D. F., 07738, México

<sup>3</sup>CINVESTAV-IPN, Depto. Química, IPN 2508, 07360 México D.F.

Tel: 53234726, mail: raja\_10910@yahoo.com.mx

### **RESUMEN ORAL**

El empleo del hidrógeno como combustible está ligado directamente a su producción eficiente y limpia, uno de los métodos más prometedores es la electrólisis del agua, ya que integrándolo a una fuente de energía renovable se evita la emisión de contaminantes a la atmósfera. Si se utiliza un electrolizador de membrana de intercambio protónico (Tipo PEM, por sus siglas en inglés Proton Exchanger Membrane), el hidrógeno es de alta pureza, listo para ser utilizado en una pila de combustible. Muchos estudios se concentran en encontrar distintos electrocatalizadores estables y selectivos para el ánodo y cátodo, lo cual implica tener los dispositivos adecuados para caracterizarlos. En este trabajo se presenta un sistema de prueba para determinar el desempeño de un electrolizador PEM, se analizaron diferentes ensambles membrana electrodos con distintos electrocatalizadores anódicos. El electrolizador de prueba está formado por 2 carcasas de grafito de baja porosidad, con un área geométrica de 4 cm<sup>2</sup>, una entrada de recirculación de agua y una salida de gases, dos mallas distribuidoras de corriente de acero inoxidable y dos sellos de teflón para evitar fugas. Se integraron dos bombas para el mejor desalojo de los gases. Se determinó el desempeño del electrolizador utilizando como electrocatalizadores anódicos Pt/C E-Tek al 10% y una mezcla de RuO<sub>2</sub>-IrO<sub>2</sub> comerciales y sintetizados por CVD. Las técnicas electroquímicas utilizadas fueron la cronopotenciometría y la voltametría lineal. El compuesto que presentó el mejor desempeño fue el de 75% IrO<sub>2</sub> y 25% RuO<sub>2</sub> sintetizado por CVD.

## 1.- Introducción

Un electrolizador es una celda electrolítica donde se lleva a cabo una reacción química no espontánea, la cual es la transformación fisicoquímica que sufre una sustancia en la interfase electrodo/disolución al paso de la corriente eléctrica; esta transformación consiste en una ganancia o pérdida de electrones que se da a medida que se alimenta energía eléctrica de una fuente externa, es decir, una reacción de reducción u oxidación respectivamente.

En un electrolizador se alimenta corriente directa a través de dos electrodos (ánodo y cátodo), los cuales están sumergidos en un electrolito, que permite el transporte de las sustancias o los iones del seno de la solución hacia los electrodos.

En el caso del agua, la electrólisis es un proceso que permite su descomposición en los elementos que la componen (oxígeno e hidrógeno), mediante la acción de la corriente eléctrica. Esto sucede en el dispositivo llamado electrolizador. Y mediante éste, se puede obtener hidrógeno y oxígeno de alta pureza y con una alta eficiencia.

La utilización del hidrógeno como combustible está ligado directamente a su producción eficiente y limpia, uno de los métodos más prometedores es la electrólisis del agua, ya que acoplado con una fuente de energía renovable se evita la emisión de contaminantes a la atmósfera. Si se utiliza un electrolizador de membrana de intercambio protónico (Tipo PEM), el hidrógeno que se produce es de alta pureza, listo para ser utilizado en una pila de combustible.

Los electrolizadores de membrana polimérica, PEM (por sus siglas en inglés Proton Exchanger Membrane) surgen del desarrollo alcanzado en las películas poliméricas que son capaces de conducir iones[1-7]. Actualmente los electrolizadores PEM se utilizan para la producción a baja escala de hidrógeno con rangos de producción de 0.01-10 Nm<sup>3</sup>/h de H<sub>2</sub>.

## 2.- Condiciones experimentales

El electrolizador se diseñó con ayuda del software Auto-Cad versión 2008, considerando un área activa de  $4\text{cm}^2$ . La carcasa del electrolizador es de grafito de baja porosidad, su maquinado se llevó a cabo en una fresadora de control numérico especial para grafito. Las mallas distribuidoras de corriente son de acero inoxidable de 1 mm de espesor con perforaciones circulares de 0.5 mm, los sellos son de silicón de 0.2 mm, ambos materiales se maquinaron en una cortadora láser de  $\text{CO}_2$ . Los difusores de gases son de tela de carbón con tratamiento de teflón y se cortaron de  $4\text{ cm}^2$ .

Los ensambles membrana-electrodos, MEA (por sus siglas en inglés Membrane Electrodes Assembly) se prepararon activando las membranas Nafion<sup>®</sup> 115, con peróxido de hidrógeno y ácido sulfúrico para eliminar impurezas, hidratarlas y protonarlas. Para determinar el desempeño correcto del electrolizador diseñado se probó un MEA de referencia Pt/Pt. El cátodo se preparó utilizando una tinta que contiene  $1.2\text{ mg cm}^2$  de Pt-Etek al 10% en peso sobre carbón vulcan, 40  $\mu\text{l}$  de Nafion<sup>®</sup> líquido (5% w/alcohol etílico) y 700  $\mu\text{l}$  de etanol grado cromatográfico como diluyente. Para el ánodo la tinta se compuso de  $1.5\text{ mg cm}^2$  de Pt-Etek al 10% en peso sobre carbón vulcan, 50  $\mu\text{l}$  de Nafion<sup>®</sup> líquido (5% w/alcohol etílico) y 900  $\mu\text{l}$  de etanol grado cromatográfico como diluyente.

La impregnación de la tinta catalítica se llevó a cabo sobre la membrana Nafion<sup>®</sup> 115 por un método de dispersión, con un equipo semiautomático de pintado. Se lleva a cabo un procedimiento de prensado en caliente, a  $11\text{ kgf cm}^{-2}$  y  $120\text{ }^\circ\text{C}$  por 2 min, para integrar los difusores a la membrana Nafion<sup>®</sup> con las tintas catalíticas.

Para completar el estudio del desempeño del electrolizador diseñado se prepararon MEA's con las siguientes cargas anódicas, Tabla I, la composición del cátodo se mantuvo constante[6].

**Tabla I.** Composición anódica de los MEA's

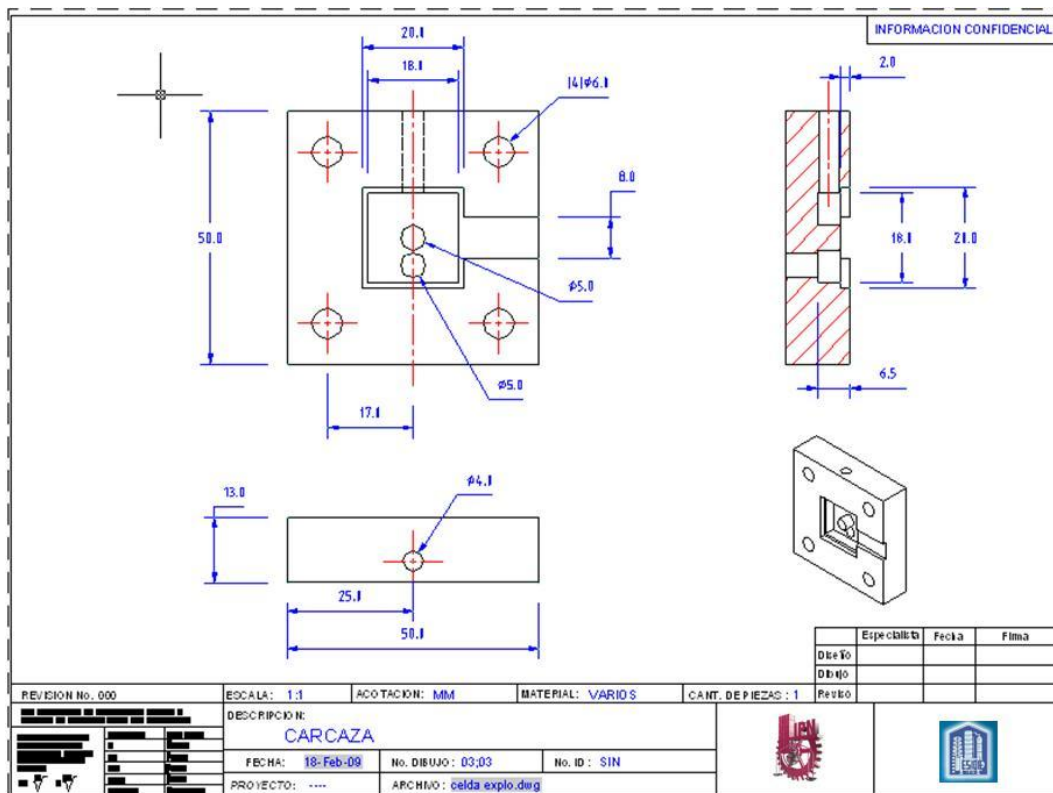
| Composición | IrO <sub>2</sub> | RuO <sub>2</sub> |
|-------------|------------------|------------------|
|             | % Peso           | % Peso           |
| MEA 01      | 25               | 75               |
| MEA 02      | 50               | 50               |
| MEA 03      | 75               | 25               |

Para el armado del electrolizador entre las mallas distribuidoras de corriente y los sellos se puso una pasta de silicón para evitar fugas.

La caracterización del electrolizador se llevo a cabo en un potenciostato/galvanostato 263A PAR. La conexión de equipo fue de tres electrodos, el electrodo de trabajo se conecto al cátodo y el contraelectrodo y el electrodo de referencia se conectaron al ánodo. Las técnicas electroquímicas utilizadas fueron la cronopotenciometría, con modo galvanostático del equipo y la voltametría lineal, con modo potenciostático. Para la cronopotenciometría se realizaron pulsos de 3 min de corriente desde 10 mA hasta 300 mA, se permitió al sistema llegar a un potencial constante y se registro la última lectura. En el caso de la voltametría lineal se realizo un barrido anódico de 1.23 V hasta 3.5 V a una velocidad de barrido de 20 mV s<sup>-1</sup>.

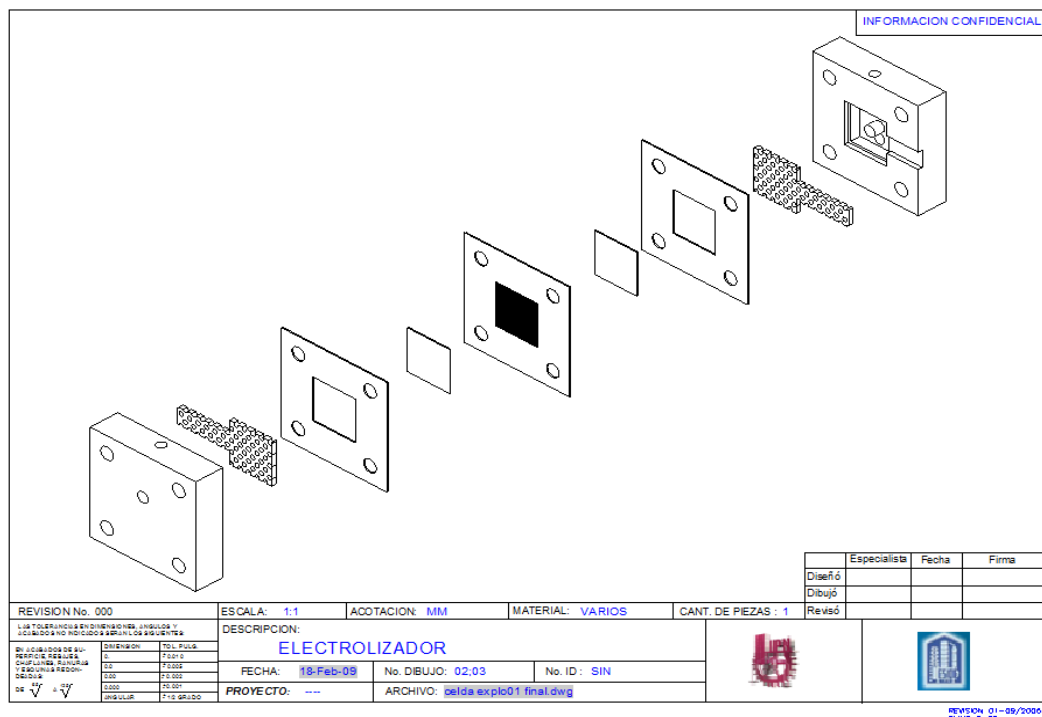
### 3.- Resultados y discusión

La Figura 1 muestra el diseño del electrolizador de prueba para materiales nanométricos. Se dejo una cavidad de 2.5 cm<sup>3</sup> para garantizar el suministro de agua a los electrodos. Se diseño una salida para los gases en la parte superior para facilitar su extracción, así mismo se diseño una entrada en la parte lateral de la carcaza para la recirculación de agua.

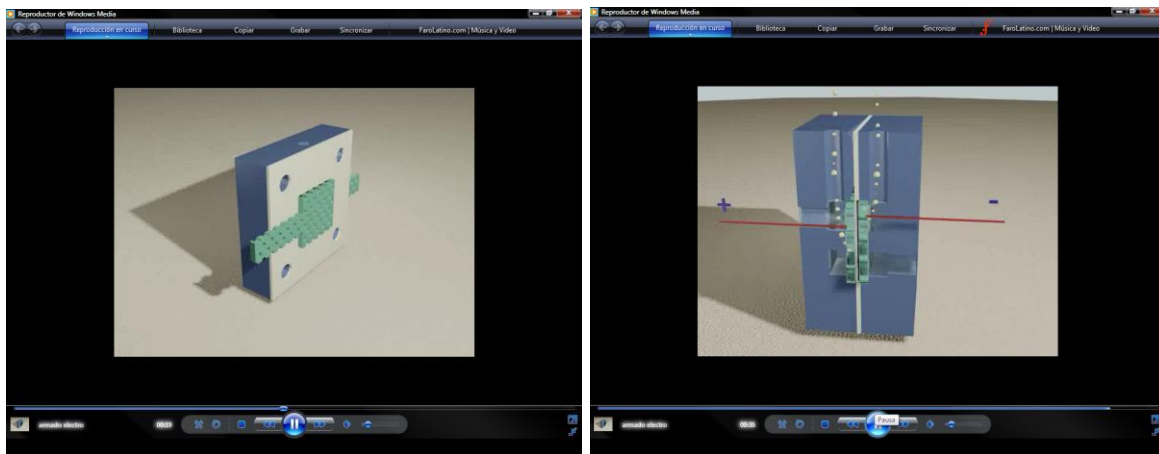


**Figura 1. Diseño de la carcasa del Electrolizador PEM**

Se diseño un plano final del electrolizador PEM para poder observar el orden del armado. En la Figura 2 se presenta una explosión del plano principal para poder visualizar sus componentes, cabe señalar que se realizó un video con ayuda del software 3D-Students el cual representa en forma de simulación el armado y proceso del electrolizador PEM (Figura 3). Para el armado del electrolizador se utilizaron tornillos de acero inoxidable aislados con empaques de plástico para evitar corrosión y contacto entre los electrodos.

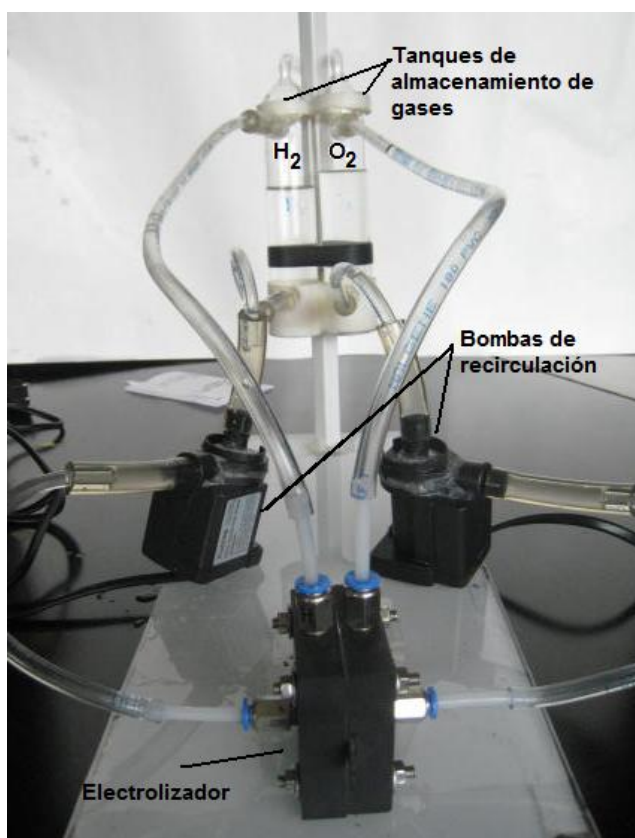


**Figura 2.** Explosión del electrolizador PEM. Carcaza, mallas distribuidoras de corriente, sellos de Silicon, difusores de gases.



**Figura 3.** Imágenes del video de las partes del electrolizador PEM.

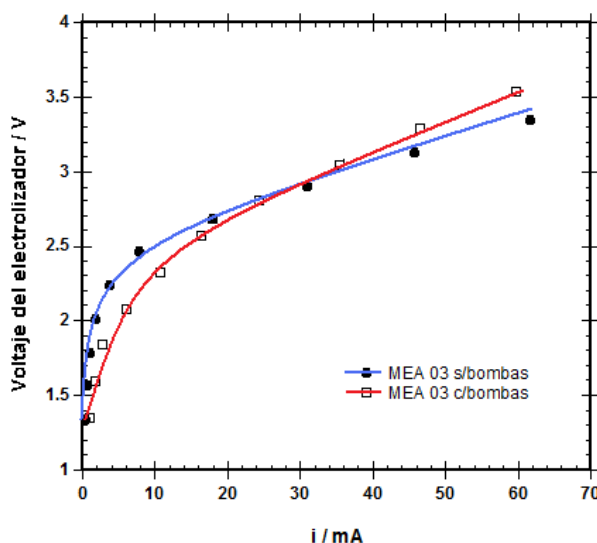
La Figura 4 muestra una imagen del equipo diseñado, acoplado a unos tanques de almacenamiento, que contienen agua de recirculación, se colocaron a una altura de 15 cm del electrolizador, así como la integración de dos bombas de recirculación de agua, las cuales cumplen la función de mantener una alimentación de agua constante hacia el electrolizador y el desalojo continuo de los gases generados en el mismo.



**Figura 4.** Imagen de Electrolizador integrado a los tanques de almacenamiento.

En la etapa de prueba se colocaron unas bombas de recirculación de agua al electrolizador que conecta la salida inferior del tanque a la entrada lateral del electrolizador, esto con el fin de desalojar de manera más eficiente los gases generados. Cabe mencionar que las pruebas del sistema sin bombas y con bombas, se llevaron a cabo en diferente tiempo y se requirió armar y desarmar en cada caso el electrolizador de prueba. La figura 5 muestra el desempeño del MEA 03 con bombas y sin bombas, a baja intensidad de corriente, 10 mA, el electrolizador con bombas muestra un menor voltaje de 2.3 V para llevar a cabo la electrólisis respecto al observado en el electrolizador sin bombas, observándose que esta

zona es de transferencia de carga. Después de 30 mA, ya en la zona de caída óhmica el MEA con bombas presenta una resistencia mayor, esto se atribuye a una mala integración de los difusores a la capa catalítica, la cual se va desgastando con el uso. Este punto es muy importante, ya que se debe tener cuidado en la integración del MEA para que el tiempo de vida útil del ensamble sea mayor.



**Figura 5.** Curvas de desempeño del electrolizador utilizando el MEA 03 Sin bombas y con bombas de recirculación.

#### 4.- Conclusiones

En este trabajo se diseñó y evaluó el desempeño de un electrolizador de prueba PEM. Los resultados obtenidos de las pruebas realizadas, muestran que este dispositivo tiene las condiciones adecuadas para que se puedan probar diferentes catalizadores anódicos y catódicos, así como membranas de intercambio protónico y difusores de gases.

#### 5.- Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero otorgado por el ICYTDF (PICS08-37), al IPN (SIP-20090433), y al Arq. Néstor Romero por el maquinado del electrolizador.



## 6. - Referencias

---

- [1]Daniel Shapiro, Michael K. H., Leung, Dennis Y.C. Leung., *Solar Energy*, vol. 79 (2005) 544-550.
- [2]Frano Barbir, *Solar Energy*, vol. 78 (2005) 661-669.
- [3]V. Baglio, A. Di Blasi, T. Denaro, V. Antonucci, A.S. Arico, R. Omelas, F. Matteucci, G. Alonso, L. Morales, G. Orozco and L.G. Arriaga, *Journal of New Materials for Electrochemical Systems*, vol. 11 (2008) 105-108.
- [4]Meng Ni, Michael K.H. Leung, Dennis Y.C. Leung, *Energy Conversion and Management*, (2008) 1-5.
- [5]V. Antonucci, Michael K. H., Leung, Dennis Y.C. Leung., *Electrochimica Acta*, vol. 53 ( 2008) 7350-7356.
- [6]Rodríguez Castellanos Andrés, “*Diseño, construcción y estudio del desempeño de un electrolizador con membrana de intercambio protónico*”, Tesis de licenciatura, IPN-ESIQIE, (2005).
- [7]Rodríguez Castellanos, Andrés, Ernesto López Torres, Omar Solorza Feria, *Journal Mexican Chemical Society*, vol. 51, núm. 2 (2007) 55-58.