

“Estudio del Comportamiento y Estabilidad de las Propiedades Termodinámicas y Electroquímicas-Químicas de la Membrana de Intercambio Protónico Nafion 112, mediante el uso del equipo Fuel Cell Test System”

Kevin Alejandro Calle Pauta ⁽¹⁾, Jeese Enrique PARRALES HERRERA. ⁽²⁾

Ing. Marco Pazmiño B.

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral

Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador

kealcall@espol.edu.ec ⁽¹⁾, jeparral@espol.edu.ec. ⁽²⁾

Resumen

El presente artículo es referente a la tesina de seminario con respecto al tema de investigación y determinación de parámetros de funcionamiento de una celda de combustible con la utilización de dos membranas poliméricas de intercambio protónico utilizando el equipo de prueba Fuel Cell Test System.

Usando y poniendo en práctica los conocimientos adquiridos en el transcurso del seminario, se realizaron las investigaciones respectivas como lo es el principio bajo el cual las celdas de combustibles operan, teniendo en cuenta los diferentes tipos de celdas. En las pruebas electroquímicas se conto con un equipo muy versátil y de avanzada tecnología que trabaja conjuntamente con un software el cual muestra las graficas y datos obtenidos.

Con el desarrollo de la tesina se estudio la preparación de gases reactantes, gases de purga, preparación y puesta en marcha del equipo Fuel Cell Test System, el cual se logro determinar parámetros de eficiencia y optimización de recursos para la obtención de energía eléctrica.

Palabras Claves: *celda de combustible, membranas poliméricas de intercambio protónico, electroquímica, Fuel Cell Test System.*

Abstract

This article is referred to the seminar thesis on the subject of investigation and determination of operating parameters of a fuel cell with the use of two polymeric proton exchange membranes with the using test equipment Fuel Test System.

Using and implementing the knowledge gained during the seminar, relevant investigations were carried out as it is the main principle which fuel cells operate, taking into account the different types of cells. In electrochemical tests were counted with a versatile and advanced technology that works in conjunction with software that shows the graphs and data.

With the development of the dissertation it was studied the preparation of reactive gases, purge gases, preparation and implementation of the Fuel Cell Test System team, which is able to determine parameters of efficiency and resource optimization for obtaining electricity.

Keywords: *fuel cell, proton exchange polymeric membranes, electrochemistry, Fuel Cell Test System.*

1. Introducción

El consumo de los combustibles fósiles tales como el petróleo (con sus derivados) y el gas, es sin duda una fuerte fuente energética para el desarrollo del hombre, pero también es el causante del impacto negativo sobre el medio ambiente [1].

La combustión de estos tipos de combustibles emite gases como el dióxido de carbono, monóxido de carbono y otros gases que son los causantes de las amenazas medioambientales, efecto invernadero, las lluvias ácidas, la contaminación del aire, suelo y agua.

Para cubrir toda la demanda energética en la sociedad moderna es importante ser más eficientes energéticamente. El sobreconsumo de energía es uno de los más grandes problemas actuales, sobre todo, porque la mayor cantidad de la energía que usamos proviene de los combustibles fósiles.

Con el desarrollo de más investigación sobre energías renovables (el viento, las olas, la energía solar y energías poco desarrolladas como las celdas de combustibles) se podría dar a las personas más posibilidades para la sostenibilidad energética y disminuir la huella ecológica.

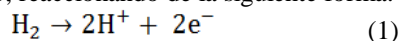
Las celdas de combustible son una buena opción de obtener energía a partir de recursos renovables como lo es el hidrógeno, la determinación de parámetros de funcionamiento para su posterior optimización son los puntos a tratar en este artículo.

Inicios de investigaciones para futuras ayudas a investigadores e interesados en el desarrollo de esta forma de energía tiene como objetivo este documento.

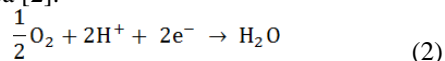
2. Fundamentos y Métodos usados.

El concepto de funcionamiento de una celda de combustible es bastante simple, la celda de combustible está compuesta por 3 componentes principales ya mencionados: electrodo de combustible (ánodo), un agente oxidante (cátodo), y un electrolito entre los dos.

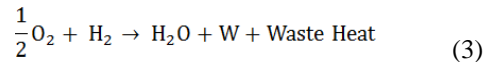
El flujo de hidrógeno es inyectado a un electrodo el cual será el ánodo, reaccionando de la siguiente forma:



Las membranas poliméricas de intercambio protónico son el medio o también llamado electrolito por donde atraviesan los protones hasta llegar al lado del cátodo para reaccionar con el agente oxidante (oxígeno) y formar el producto de la reacción electroquímica [2].



Se obtiene una ecuación pura de balance de energía, al cual están sometidas las celdas de combustible, la ecuación termodinámica es la siguiente:



En el proceso electroquímico intervienen también pérdidas inevitables las cuales son muy visibles en la gráfica característica de las celdas de combustible también llamada Curva de Polarización, que esta descrita por voltaje de la celda (V) versus la densidad de corriente (mA/cm^2):

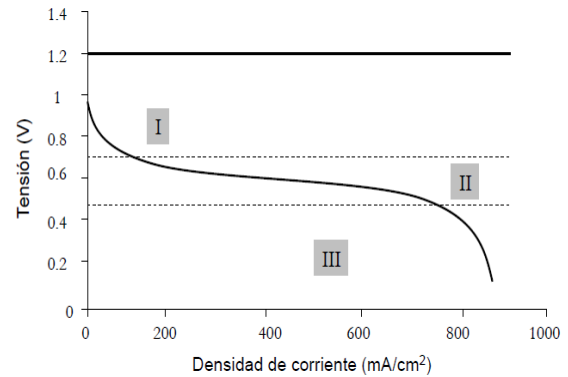


Figura 1. Curva de polarización de una PEMFC [3].

Las regiones descritas en la figura 1 son las que llevan a cabo estas pérdidas las cuales son las siguientes:

Región I: El voltaje a circuito abierto es menor que el ideal y se produce además una caída de tensión en el instante que se empieza a suministrar corriente. Los aspectos que determinan la forma de esta región son las pérdidas por activación y un fenómeno denominado crossover.

Región II: La caída de voltaje se considera lineal en la cual predominan las pérdidas resistivas u óhmicas.

Región III: En esta región se produce nuevamente un descenso brusco del voltaje debido a pérdidas por transporte de masa.

En condiciones reales intervienen factores que no se han tenido en cuenta como pérdida que suelen denominarse polarizaciones o sobre voltajes y son:

- Polarización de activación
- Polarización óhmica o resistiva
- Polarización de concentración o transporte de masa.

Desde que los reactantes (combustible y oxidante) están presentes en una celda y reaccionan para producir energía eléctrica, se reviso algunos conceptos termodinámicos relacionados al sistema de reacción que específicamente son de mucha ayuda para el análisis de las celdas de combustible [2]: Entalpia absoluta, entalpia de la reacción, valores caloríficos, funciones de Gibbs. Seguido de esto se examino un máximo posible desarrollo para las celdas de combustible, llamado, potencial reversible de la celda y también un desarrollo irreversible.

3. Materiales y equipos.

Se utilizó el equipo fuel Cell Test System para realizar las pruebas electroquímicas.



Figura 2. Equipo Fuel Cell Test System 850e

Este equipo requiere para su funcionamiento implementos de laboratorio tales como:

- Gases comprimidos con reguladores: H₂, N₂, O₂, aire (21% O₂, 4% O₂+96% N₂ mezclado).
- Una celda de combustible con sus respectivas resistencias.
- Una membrana electrolítica ensamblada (MEA)
- Una computadora con su programa de adquisición de datos y GPIB, con cable GPIB [3].

En las pruebas realizadas para la posterior obtención de datos se contó con dos membranas de diferentes características, como describiremos a continuación:

- Ensamble de membrana y electrodo MEA, existente en Laboratorio de Fuentes Renovables de Energía Espol (Lab. Free) la cual es llamada "Tipo A", con las siguientes especificaciones: Nafion 112 con capas de gas difusor de 0.4 mg Pt/cm² de platino en el cátodo y 0.2 mg Pt/cm² en el ánodo.
- Para la segunda MEA, se tienen las siguientes características: Nafion 112 pero con capas de gas difusor de 1.0 mg Pt/cm² de platino en el cátodo y 0.4 mg Pt/cm² en el ánodo.

4. Análisis de Pruebas y Graficas.

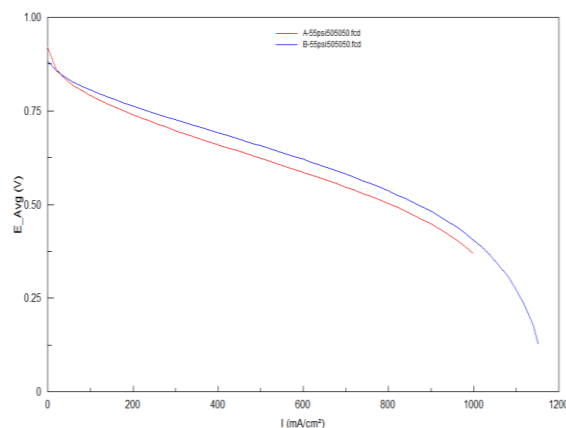


Figura 3. Curva de polarización a la presión de 55 PSI y temperaturas de 50°C en el lado del ánodo, cátodo y la celda.

Es claro que la polarización de activación ocurre a una densidad de corriente pequeña mientras la polarización de concentración ocurre a una densidad de corriente alta.

El descenso lineal del potencial de la celda debido a las pérdidas por resistencia (óhmica) ocurre a una densidad de corriente intermedia y las operaciones prácticas de la celda de combustible son casi siempre localizada dentro de la región de polarización óhmica.

Se observa en la gráfica que siempre a una corriente de salida cero desde la celda de combustible el potencial de la celda actual es más pequeña que el potencial de celda idealizado. Esta diferencia de potencial está directamente relacionada a la diferencia de potencia químico entre el cátodo y ánodo.

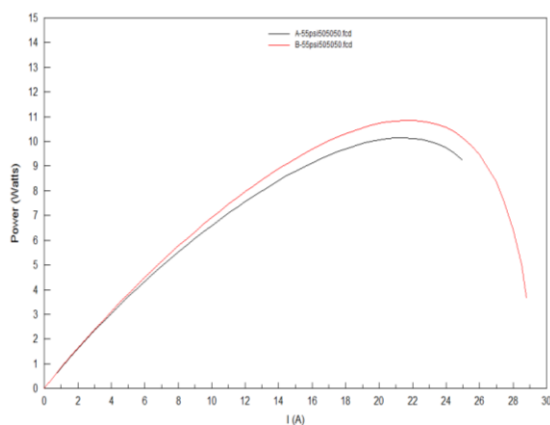


Figura 4. Potencia de la celda versus corriente en condiciones de trabajo de 55 PSI y 50°C de temperatura en el ánodo, cátodo y la celda

Las curvas de polarización seleccionadas fueron las que para la membrana tipo A trabajan a una presión de

55 PSI y temperaturas de 50°C en el lado del ánodo de la celda, así también en el lado del cátodo. A su vez para la membrana tipo B con características catalizadoras superiores a la tipo A seleccionando condiciones de operación de 55 PSI y 50°C en la celda, el ánodo y el cátodo.

Para membrana tipo B, con condiciones catalizadoras superiores a las del tipo A por su mayor contenido en mg de Platino del lado del oxígeno, podemos observar en la figura 3 y 4 un voltaje actual de 0.883 V y un voltaje mínimo de 0.127 V, esta caída de tensión se debe por las diferentes pérdidas de polarización.

También podemos observar que para esta membrana se obtuvo una densidad de corriente límite de 1151.6 mA/cm².

Se obtuvo una máxima potencia de 10.83 Watts, con parámetros de voltaje y densidad de corriente de 0.481V y 899.8 mA/cm² respectivamente.

La eficiencia total para este voltaje, asumiendo un 100% de eficiencia de corriente, es del 59.5%. Este 59.5% es la máxima energía útil aprovechable que es transformada en electricidad mientras la energía restante (40.5%) es liberada como calor.

Para la membrana tipo A, las tensiones a la que trabaja la celda de combustible con este tipo de membrana, son de 0.921V y en su valor más bajo que es de 0.369V.

La densidad de corriente a la que llega esta celda con membrana tipo A es de 999.8 mA/cm².

La figura 4 nos muestra el punto más alto de potencia, el mismo que es de 10.14 inferior a la potencia obtenida con la membrana tipo B.

La celda de combustible de H₂/O₂ con la membrana tipo A opera a un voltaje actual de 0.921V, tiene una eficiencia de voltaje de 74.8%, entonces la eficiencia total para este voltaje, asumiendo un 100% de eficiencia de corriente, es del 62.14%. Este 62.14% es la máxima energía útil aprovechable que es transformada en electricidad mientras la energía restante (35.86%) es liberada como calor.

5. Conclusiones.

1) La investigación y desarrollo de las celdas de combustible está actualmente enfocada en reducir los costos de los materiales en conjunto con la optimización del diseño de la celda de combustible para mejorar el rendimiento y durabilidad. Para lograr el rendimiento requerido y las más valiosas metas, hay una necesidad fuerte para identificar, entender, controlar, predecir, y optimizar varios parámetros termodinámicos, Cinéticos y procesos de transporte que ocurre en escala de longitudes desiguales durante la operación de la celda de combustible.

2) Se establece que las capas del gas difusor son relevantes en el desempeño de la celda de combustible pues la velocidad de reducción del oxígeno es mucho

más rápida que en el caso de la membrana A y esto se debe a los mg de Pt. extras en el lado del cátodo.

3) Después de varios experimentos manipulando el flujo de los reactantes en función de la corriente requerida, la temperatura y presión de operación, se establece que los parámetros más convenientes de trabajo de flujo de los reactantes es de 0.2 l/min en el ánodo y 1.362 l/min en el cátodo.

4) En general un aumento en la presión de los reactantes favorece en la distribución del combustible y el oxidante y la eliminación de los productos pero puede disminuir el rendimiento general del sistema o comprometer la integridad física de los materiales.

6. Recomendaciones.

1) Para la puesta en marcha del equipo Fuel Cell Test System 850e es de carácter obligatorio contar con el equipo de seguridad necesario para el trabajo con los reactantes, es decir contar con al menos dos detectores de partículas de hidrogeno en el ambiente uno cerca de la celda y el otro en su parte posterior.

2) Se recomienda adquirir el accesorio de llenado automático para que de esta manera no se interrumpa los experimentos que estén corriendo por falta de humedad en la membrana.

3) Se recomienda trabajar con personal calificado, entrenado o con experiencia en el manejo de operación de celdas de combustible, se recomienda ante cualquier inquietud mantener comunicación o contacto con los proveedores del equipo Fuel Cell Test System 850e.

4) No es recomendable trabajar a altas temperaturas, los rangos de operación de las membranas poliméricas como Nafion son de 50°C a 90°C, a partir de 80°C las temperaturas son consideradas altas y en la práctica no se debe trabajar en los límites, teniendo en cuenta que conforme aumenta la temperatura de operación el voltaje y potencia se van reduciendo, por lo que se recomienda contar con un dispositivo que mantenga la temperatura de operación constante.

7. Agradecimientos

Debemos de agradecer de manera sincera al Ing. Marcos Pazmiño B. por aceptarnos realizar esta tesina de seminario bajo su dirección, su apoyo y confianza en el trabajo realizado y la capacidad para guiarnos ha sido un gran aporte, no solo en la realización de esta tesina sino también en nuestra formación como investigadores. Le agradezco también el habernos facilitado siempre las instalaciones del laboratorio de energía renovable para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de esta tesina.

Queremos expresar también nuestros más sinceros agradecimientos al Ing. Pablo Bejarano por su

importante aporte y participación activa en el desarrollo de esta tesina.

No cabe duda que su participación ha enriquecido el trabajo realizado y, además, ha significado el surgimiento de una sólida amistad.

8. Referencias

- [1] Riesgos del sistema energético actual. www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/08_lecciones/01_leccion/www/riesgos_del_sistema_energetico_a.htm
- [2] Xianguo Li. Principles of Fuel Cells. Editorial Taylor & Francis Group, LLC. New York, 2006.
- [3] S.M. Javaid Zaidi, Takeshi Matsuura. Polymer Membranes for Fuel Cells. Springer science+Business Media, LLC. 2009
- [4] Scribner. Experimental Methods and Data Analyses for Polymer Electrolyte Fuel Cells.pdf
- [5] Advanced products for electrochemical research, United States; <http://www.scribner.com/850e-multi-range-fuel-cell-test-system.html>
- [6] Manual de gases INDURA - © INDURA S.A., Industria y Comercio Inscripción en el Registro de Propiedad Intelectual N° 67.127.