

# EVALUACIÓN DE UNA CELDA DE COMBUSTIBLE –DMFC– UTILIZANDO ETANOL, CON MIRAS A DETERMINAR LA FLEXIBILIDAD DE LAS CELDAS Y EL USO EFICIENTE DE RECURSOS ENERGÉTICOS –FASE I–

Claudio R. Bernal B. y José David Jiménez  
Universidad de América, Bogotá (Colombia)

## Resumen

El objetivo de este trabajo estuvo dirigido a evaluar la incidencia o afectación que puede sufrir una Celda de Combustible, DMFC (Direct Methanol Fuel Cell), al usar etanol como sustancia combustible. Seguidamente, se determinó el uso flexible de la DMFC y se promovieron investigaciones del uso eficiente de los recursos energéticos colombianos como el Bioetanol. Para lo anterior, se estudió una celda de combustible a metanol (DMFC), suministrada por un proveedor, en las condiciones de operación sugeridas, posteriormente se realizaron ensayos con etanol en la secuencia siguiente: (1) Comparación de las curvas características de la DMFC utilizando metanol y etanol y (2) Operación de la DMFC utilizando metanol, teniendo en cuenta el efecto cooperativo de promoción (*Spillover*) que favorece la oxidación del CO adsorbido en el Pt a causa de la reacción del etanol en la DMFC. Para la comparación de las dos sustancias se recurrió a un diseño experimental factorial, previa definición de un criterio de comparación: criterio molecular. Los resultados, curvas características, muestran una similitud en el comportamiento del etanol vs. metanol, tanto para la curva electroquímica, como para las curvas de potencia y voltaje vs. densidad de corriente, indicando que durante el tiempo de ensayo, el etanol, además de generar energía eléctrica en símil al metanol, no parece afectar el catalizador, la membrana y otros dispositivos de la DMFC, quizá a causa del efecto *Spillover*, no obstante, se hace necesario estudiar el fenómeno de agotamiento de la DMFC por el uso continuo de etanol, ya que la reacción de electrooxidación del etanol será incompleta lo que provocará, en el tiempo, su agotamiento.

**Palabras clave:** Celdas de combustible, metanol, etanol, efecto *Spillover*.

## Abstract

The objective of this work was aimed at assessing the impact or damage that may suffer a fuel cell DMFC (Direct Methanol Fuel Cell) to use ethanol as a fuel substance. Then, it found the flexible use of the DMFC research and promotes the efficient use of energy resources Colombians, Bioethanol. For the foregoing, it is a study on methanol fuel cell – DMFC, supplied by a vendor, under the conditions of operation suggested, was later tested with ethanol in the following sequence: (1) Compare to the

characteristic curves of the DMFC using methanol and ethanol and (2) Operate of the DMFC using methanol, taking into account the effect of cooperative promotion (Spillover) that promotes the oxidation of CO adsorbed on the Pt because of the reaction of ethanol in the DMFC. For comparison of the two substances it was used to a factorial experimental design, pre-definition of a benchmark: molecular approach. The results, curves show a similarity in the behaviour of ethanol vs. methanol, both for the electrochemical curve, as the curves for power and voltage vs. current density, indicating that during the time of trial, ethanol, in addition to generating electricity in comparison to methanol, does not appear to affect the catalyst, the membrane and other devices in the DMFC, perhaps by the spillover effect, however, it becomes necessary to study the phenomenon of depletion of the DMFC by the continued use of ethanol as the reaction of electrooxidation of ethanol may be incomplete as it will, in time, its exhaustion.

**Keywords:** Fuel Cell, methanol, ethanol, Spillover effect.

## Introducción

Una celda de combustible (CC), es un dispositivo electroquímico que convierte la energía química de una reacción directamente en energía eléctrica. En tal sentido, las CC ofrecen la posibilidad de utilizar cualquier sustancia que contenga hidrógeno, sin embargo, los hidrocarburos como el gas natural, metanol, etanol, propano, así como diesel y la gasolina están recibiendo mayor atención.

Los problemas que se presentan hoy en día, en particular, con los sistemas centralizados distribuidores de energía eléctrica son, entre otros, los de transporte, distribución y almacenamiento. Del conjunto de alternativas, las celdas de combustible (CC) compiten con las tecnologías convencionales ofreciendo muchas ventajas. A partir de los desarrollos en CC han surgido dos tipos: las que operan a alta temperatura y las de baja temperatura. Esta clasificación es quizá la más adecuada teniendo en cuenta las aplicaciones que unas y otras celdas tienen (Cano, 1999).

De los tipos de celda de combustibles: las celdas de ácido fosfórico cuya aplicación inmediata es la generación distribuida, transporte y aplicaciones móviles, su eficiencia está entre 40 y 85% y la temperatura de operación es de 200°C. Las celdas de carbonatos fundidos, MCFC, se emplean en generación distribuida, cogeneración y potencia central, su eficiencia es de 45 a 70%, trabaja a 650 °C. Para las celdas de óxido sólido SOFC, las aplicaciones son iguales a las MCFC y presentan una eficiencia entre 50 y 80%, opera a 1000 °C. Las celdas de

polímeros sólidos o membrana de intercambio protónico se utilizan para la generación distribuida, transporte y aplicaciones móviles, ofrecen una eficiencia entre el 40 y el 70% y su temperatura de operación es de 80°C, o menor a ésta. Entre las celdas de interés están las DMFC, que operan a temperatura relativamente bajas y utilizan metanol como combustible sin necesidad de reformación del mismo.

Las celdas más estudiadas han sido las que emplean hidrógeno; sin embargo, debido a problemas inherentes a esta sustancia se buscan otras alternativas como las sustancias ya indicadas anteriormente: metanol, etanol, gas natural y propano, que a su vez emplean para el funcionamiento mezclas de catalizadores; no obstante, la investigación en catalizadores bimetálicos del tipo Pt-M, soportados en carbón vítreo, advierte que debido a la conformación de átomos de carbono de tales sustancias, éstas dejan CO que envenena el platino Pt; sustancia utilizada como ánodo en las celdas de combustible (Sánchez, et al., 2004).

Cabe destacar que para este estudio en primera instancia se utilizó una celda de combustible a metanol directo (DMFC) suministrada por Heliocentris (2002), la cual es considerada como un sistema ideal debido a que operan con un combustible líquido - metanol. Adicionalmente, es importante señalar que se deben vencer algunos retos tecnológicos; por ejemplo la formulación de mejores electro catalizadores para disminuir los sobre potenciales anódicos y el mejoramiento de las membranas de intercambio y de los catalizadores catódicos que evitan el envenenamiento del cátodo

y las pérdidas de combustible ocasionadas por la migración de metanol del ánodo al cátodo (methanol crossover), (Durón-Torres et al., 2005). Sobre los electro catalizadores, se ha encontrado que las mezclas Pt-Ru han sido extensivamente estudiadas y usadas para la reacción anódica de oxidación del metanol en las celdas DMFC (Hooger, 2003; Arico et al., 2002; Pozio et al., 2003; Camara et al., 2002; Tripkovic et al., 2002). En virtud de un efecto cooperativo de promoción (*Spillover*), se sabe que el Ru contribuye con centros activos ricos en oxígeno (probablemente  $\text{OH}_{\text{ads}}$ ), que favorecen la oxidación del CO adsorbido en el Pt como producto de la descomposición del metanol y que libera  $\text{CO}_2$  dejando libres los sitios activos del Pt para realizar la absorción y oxidación de nuevas moléculas de metanol (Durón -Torres et al., 2005). En la actualidad los catalizadores mas activos para la electro-oxidación del metanol se basan en materiales de aleaciones Pt-Ru (Hoogers, 2003; Lamy et al., 2002; Löffler et al., 2003).

En segunda instancia, en el trabajo reciente de Sánchez et al. (2003) sobre el desarrollo de catalizadores para celdas de combustible directas a etanol en medio ácido, se evalúan varios metales, entre ellos el Ru, (y otros metales - M: Ru, Ir, Os o Sn) ya que éstos pueden aportar especies oxidadas evitando que el Pt no se envenene. De hecho, la CC DMFC empleada por los autores está compuesta de una mezcla de Pt-Ru; se desconoce los porcentajes de la mezcla. Continuando con la revisión de los estudios realizados por Sánchez et al. (2003), tales usan mezclas Pt-M, en particular para  $\text{Pt}_{90}\text{-Ru}_{10}$ , y se evidencia que la celda presenta una permeación muy grande de etanol pues las diferencias de potencial son muy grandes en las condiciones de temperatura en que se realizaron los ensayos; de otra parte, se debe considerar que los autores realizan los ensayos sobre una CC-DMFC compacta y la cual difiere de algunas condiciones tenidas en cuenta por Sánchez et al. (2003).

En todo caso, así como se presenta un efecto cooperativo de promoción (*Spillover*) para el metanol en una DMFC, puede también presentar el mismo efecto cuando se usa etanol en la misma DMFC. De hecho, cabe la hipótesis del *spillover* para el etanol a partir de los parámetros termodinámicos para metanol y etanol (Kartha et al., 1994).

Tabla N°. 1. Parámetros termodinámicos para reacciones de sustancias en una celda de combustible

Combustible	Reacción	$\Delta n$ *	$\Delta H$ **	$\Delta G$ ***	$q^+$	$E_{\text{th}}^+$	$\eta^{++}$
Metanol	$\text{CH}_3\text{OH} + 3/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$	-1/2	7.55	7.29	6	1.21	96.7
Etanol	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$	-1	14.2	13.7	12	1.14	96.5

Fuente: Fuel Cell: Energy conversion for the next Century – Princeton University's Center for energy and environmental studies.

\* Cambio en el número de componentes gaseosos.

+ Transferencia de carga por átomo de combustible.

\*\* Cambio en la entalpía por átomo de combustible

++ Voltaje teórico.

\*\*\* Cambio en la Energía Libre de Gibbs por átomo de combustible.

+++ Eficiencia teórica.

En los dos casos: metanol y etanol (tabla N°.1), se presentan algunos valores típicos para el cambio en la entalpía y el cambio en la energía libre de Gibbs, junto con el valor teórico de eficiencia de la pila de combustible alimentada por estas reacciones. En los dos casos, la eficiencia es alta.

Otro de aspecto tenido en cuenta, aún considerando que se trabaja con una celda de combustible-compacta, es la membrana de intercambio protónico. Se conoce que las investigaciones referidas al asunto de las membranas están en auge y que, hasta el momento, no se ha logrado disponer de un material impermeable para metanol, por tanto, y teniendo en cuenta que se está trabajando el etanol, cuando se estudie su agotamiento, quizá se pueda entender que dicha membrana empleada también sea permeable para el etanol y cause envenenamiento. En todo caso, la idea central de las investigaciones de nuevos materiales catódicos para las DMFC, es encontrar compuestos con diferentes metales de transición que aprovechen las características de cooperación sinérgica entre ellos y obtener catalizadores basados en el concepto de *spillover*.

## Experimentación

### Materiales

Un kit Hydro-Genius Extension Kit – Methanol Fuel Cell, con el siguiente contenido: una celda de combustible, tres tapones, tres tanques de almacenamiento para las soluciones de metanol, una boquilla e instrucciones de operación. La celda de combustible con las siguientes especificaciones: Potencia eléctrica: 0.1W, voltaje: entre 0.1 y 0.6V,

temperatura de operación: entre 10 y 35°C y sus dimensiones eran (85 x 70 x 40 mm). De los reactivos: Etanol, grado analítico al 99,9% absoluto – suministrado por la empresa Merck, a través del Laboratorio de Química de la Universidad de América. Metanol: grado analítico, 99% Carlo Erba – Laboratorio de Química de la Universidad de América y agua destilada. Para las mediciones se elaboró un prototipo de banco de prueba, para: modelo de medición de voltaje y amperaje, modelo de sistema de calentamiento, modelo para sistema de enfriamiento.

El experimento centró su atención en un diseño factorial  $3^2$  – variables Temperatura y Concentración y tres (3) niveles de factor.

Para la variable temperatura, se sugiere que para la operación de la CC, ésta sea de 10 – 35°C. Para el caso de la variable concentración molar se tomaron los valores sugeridos por el proveedor de la CC: 0,25 mol/l, 0,5 mol/l y 1 mol/l; que corresponde a un porcentaje en masa de 0.8%, 1.6% y 3,2% respectivamente. Se obtuvieron 9 tratamientos (9 experimentos con su réplica) de la combinación de los niveles y variables, para un total de 18 experimentos.

Para la experimentación se tuvo en cuenta que al tratar la CC con Etanol, posterior al tratamiento con Metanol y la purga de inicio, la CC debe ser afectada por las sustancias de la reacción del etanol. La molécula de etanol al tener dos átomos de carbono en su estructura y cuando los potenciales suministrados no son tan altos, la reacción no será completa, provocando la generación de sustancias intermedias, que finalmente causarían disminución del potencial de la CC. El tercer paso es tratar la celda nuevamente con Metanol, posterior al tratamiento con etanol y la purga. En todo caso, los análisis que se realizan se hacen sobre el método descrito.

Por otra parte, sobre el control local de error, existen factores que afectan el potencial de la celda tales como los tratamientos previos de la celda; cómo secar la membrana antes de la prueba; cuánto tiempo la unidad ha estado funcionando antes del experimento y tiempo después de que la unidad se llenó con

metanol. Finalmente, se utilizó un programa de estadística *Desing Expert*, versión 6.0.6, para todo lo relacionado con el tratamiento de la información y manejo estadístico de datos.

## Procedimiento

### *I - Etapa: operación con metanol en la DMFC*

Se siguieron todas las recomendaciones en las instrucciones de operación dadas por el fabricante de la DMFC. No obstante, la experimentación se realizó de acuerdo con el diseño experimental planteado arriba. Las gráficas son: (1) curva característica de la DMFC; (2) curva de poder de la DMFC; (3) las curvas características de la DMFC como una función de su concentración molar de metanol y (4), la curva de poder de la DMFC como una función de la concentración molar del metanol.

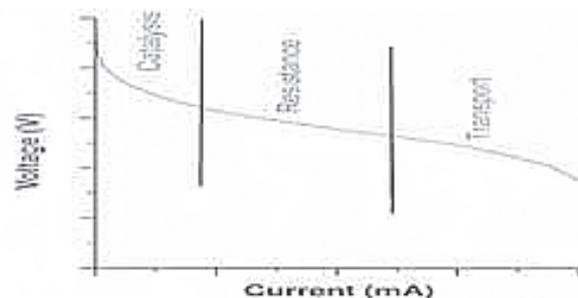
Para todas las gráficas:

Las fluctuaciones dependen básicamente de tres factores que son determinantes para el desarrollo de las celdas de combustible, como la complejidad en la cinética de las reacciones que ocurren en los electrodos de la celda, por los efectos ohmicos provocados por la celda en si y por el transporte de los reactantes hacia los intersticios del catalizador.

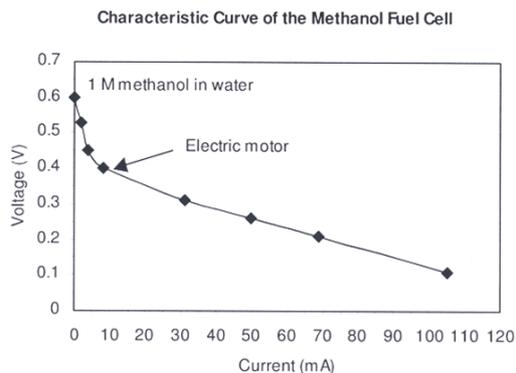
#### *a) Curva electroquímica*

Al igual que la curva de una pila de combustible de metanol (ver gráfica 1a), la gráfica 1 deja ver la curva electroquímica que se suele dividir en 3 partes: catálisis, resistencia y transporte.

Gráfica 1: curva electroquímica. Fuente: Hydro-Genius TM Extension Kit Methanol Fuel Cell. Berlín, Germany



Gráfica 1a: Curva característica de la DMFC. Hydro-Genius TM Extension Kit Methanol Fuel Cell. Berlín, Germany



En línea con la serie electroquímica, una pila de combustible de metanol tiene un voltaje teórico de 1,21 V. En la práctica, el voltaje de funcionamiento se sitúa entre 0,6 y 0,2 V, dependiendo del tamaño de la Celda, que está influenciado por el material del electrodo (catalizador), la resistencia interna, la temperatura, la cantidad de metanol en el ánodo y la cantidad de oxígeno desde el aire que llega al cátodo.

La gráfica 1, para una muy pequeña o corriente nula de la celda de combustible, el voltaje es de 0,5 a 0,6. Esta tensión se llama tensión fuera de la carga, cuando la tensión disminuye, se presenta un aumento en la corriente eléctrica.

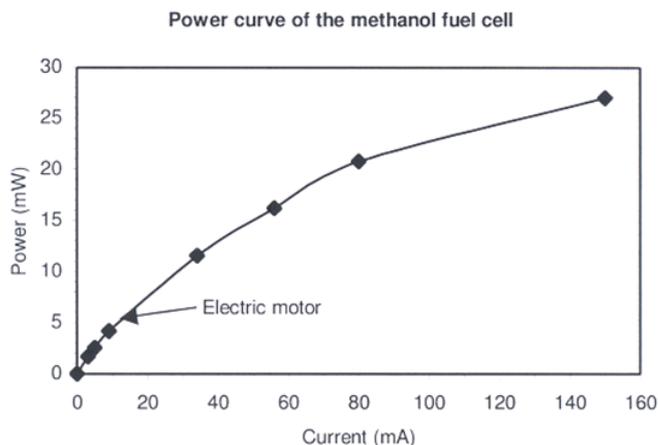
*b) Curva de poder de la DMFC:*

La gráfica 2, representa el punto máximo de potencia eléctrica en donde se obtiene un máximo entre 25 y 30 mW, a corrientes entre 140 y 160 mA. Estos datos son correspondientes a los expuestos por el fabricante del Extension Kit – Methanol Fuel Cell, y expresan la forma en la cual se evalúa el comportamiento de la celda de combustible según las variables potencial eléctrico, corriente y potencia eléctrica.

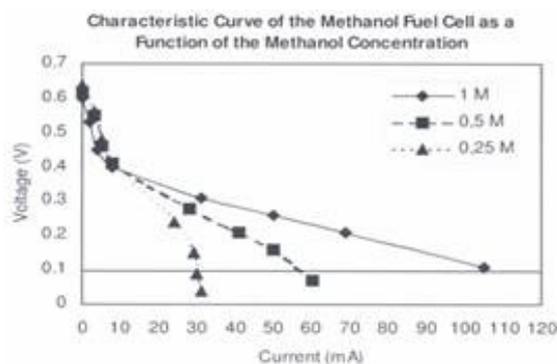
*c) Curva característica de la DMFC como una función de su concentración molar:*

Se estudia el efecto de la concentración en la curva característica, se observan tres curvas diferentes para tres concentraciones de 0,25, 0,5 y 1 M. Se ve claramente que existe una dependencia directa entre el potencial eléctrico de la celda con la concentración del combustible metanol. Por otra parte, cabe anotar que las concentraciones utilizadas son demasiado bajas, esto se debe a que según el fabricante,

Gráfica 2. Curva de potencia eléctrica para metanol. Hydro-Genius TM Extension Kit Methanol Fuel Cell. Berlín, Germany



Gráfica 3. Curva característica de la DMFC como una función de la concentración molar de metanol. Hydro-Genius TM Extension Kit Methanol Fuel Cell. Berlín, Germany

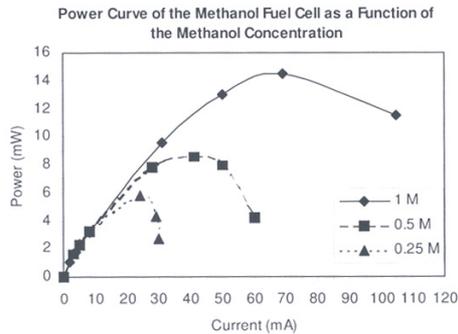


concentraciones demasiado altas de metanol podrían provocar que éste se vea forzado a traspasar el electrolito y oxidarse en el cátodo de la celda, provocando una disminución en el potencial de la misma (ver la gráfica 3). El experimento muestra que la corriente depende de la cantidad de metanol en la solución. Esto se observa en la gráfica, por ejemplo la línea a 0,1 V., indica que la corriente es proporcional a la concentración del metanol.

*d) Curva de poder de la DMFC como una función de la concentración molar del metanol:*

En altas densidades de corriente, su tamaño es determinado también por el transporte del reactivo al electrodo (transporte por difusión), es decir, la cantidad de metanol llega al catalizador en un momento determinado de conversión catalítica. La

Gráfica 4. Curva de potencia de la DMFC como una función de la concentración molar de metanol. Hydro-Genius TM Extension Kit Methanol Fuel Cell. Berlín, Germany



gráfica 4 demuestra precisamente este efecto. Aquí, el tamaño de la corriente es linealmente dependiente de la concentración de metanol. Esta corriente también se denomina de difusión, porque está determinada por el transporte de material.

*II - Etapa: Operación de la celda*

En la tabla N°. 1, se muestra la eficiencia teórica, pero no sobra decir, que en la realidad práctica se presentan valores por debajo de los valores teóricos y que depende de muchos factores de operación de la celda, principalmente de los instrumentos y del mismo combustible.

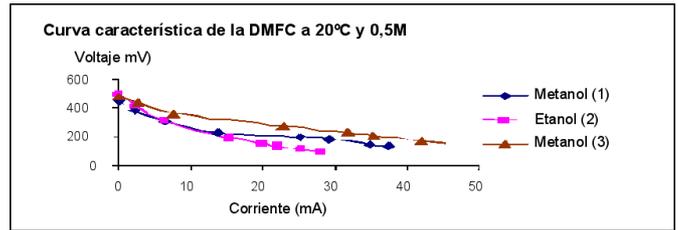
En esta etapa se realizaron todos los procedimientos sugeridos por el fabricante para determinar el funcionamiento de la celda, no obstante, se plantearon algunos cambios, por ejemplo determinar la temperatura de operación de la celda para obtener las mismas respuestas proporcionadas por el fabricante de la DMFC. Aún cuando, las concentraciones del etanol utilizado pueden ser las mismas del metanol, ya que son muy bajas, se tiene en consideración realizar alguna conversión del número de moléculas de etanol y equiparar al número de moléculas de metano que entran en la concentración molar.

**Análisis y discusión de resultados**

**Resultados y análisis**

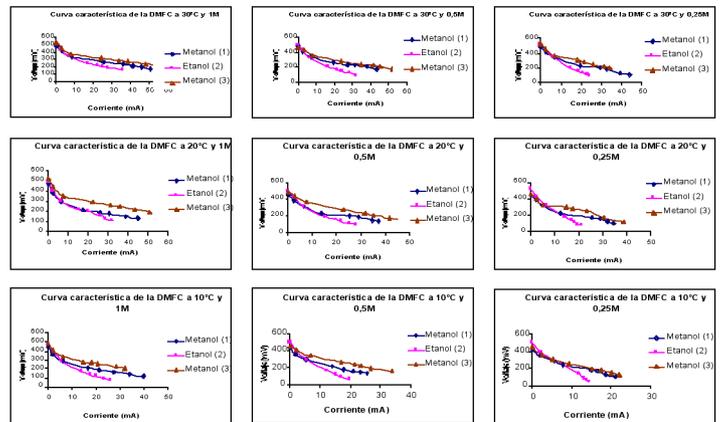
Si se compara la curva del metanol (1) con la curva del etanol (2), se puede decir que la fluctuación en

Gráfica 6. Curva característica del comportamiento de la DMFC, para Metanol (1), Etanol (2) y Metanol (3), Voltaje contra Densidad de Corriente. Fuente Autores.

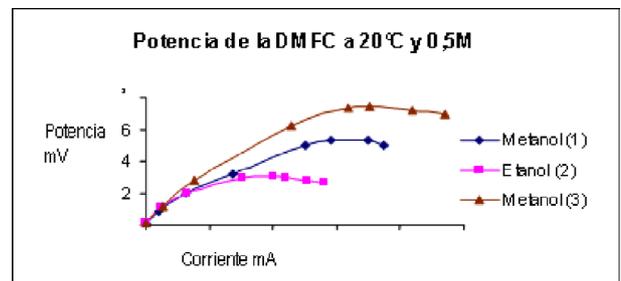


las gráficas es un comportamiento característico que ocurre cuando se estudia el voltaje y la densidad de corriente de sustancias combustibles.

Gráfica 7. Curvas características para todos los ensayos y sustancias. Fuente: Autores.



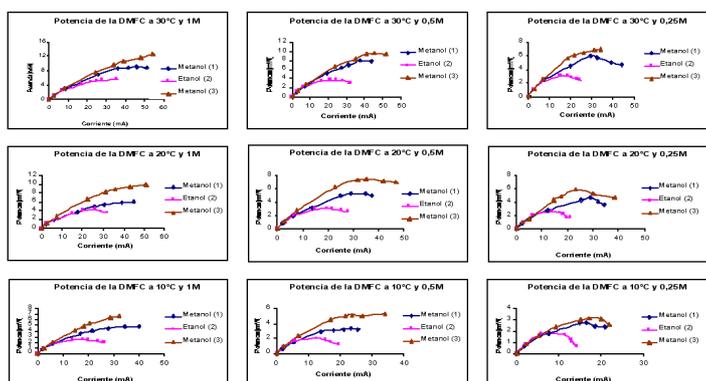
Gráfica 8. Curva característica del comportamiento de la DMFC, para Metanol (1), Etanol (2) y Metanol (3), Potencia contra Densidad de Corriente.



Como se ha señalado anteriormente, el procedimiento de trabajo con la DMFC se realizó en la secuencia Metanol (1) à Etanol (2) y à Metanol 3. Si

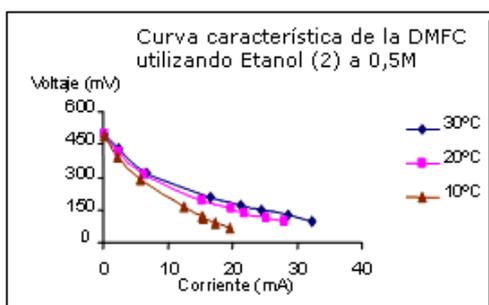
se observa en la gráfica 8, el Metanol (1) está por debajo de Metanol (3), indicando que posterior al trabajo con etanol se puede estar presentando el efecto cooperativo de promoción (*spillover*), donde el Ru de la mezcla Pt-Ru empleada en el electrocatalizador de la DMFC, puede estar contribuyendo con centros activos, favoreciendo la oxidación de CO y quizá de otras sustancias que hayan sido producto de la oxidación del etanol en la DMFC. Se puede señalar también que la baja de potencial representado en curva del etanol sea a causa de la migración de éste a través del electrolito y oxidarse en el cátodo.

Gráfica 9. Curva de poder de la DMFC para todos los ensayos y sustancias.



Fuente: Autores.

Gráfica 10. Curva de comportamiento del Etanol Voltaje contra Densidad de Corriente realizadas en varias condiciones de Temperatura.



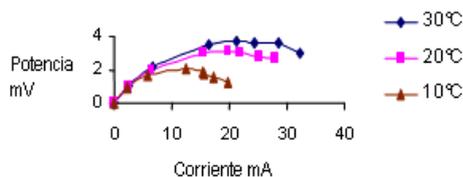
Fuente: Autores.

La gráfica 10 presenta en comportamiento de la DMFC utilizando etanol a una concentración molar de 0.5M a diferentes temperaturas. Se observa que la densidad de la corriente depende de la temperatura.

Este comportamiento es equiparado a la curva de 0.5 M del metanol.

Gráfica 11. Curva del comportamiento del Etanol Potencia contra Densidad de Corriente a diferente Temperatura.

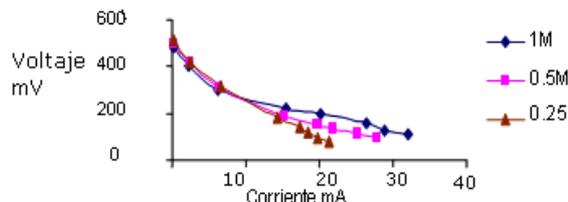
**Potencia de la DMFC utilizando Etanol (2) con o combustible a 0,5M**



La gráfica 11 muestra que el potencial depende de la temperatura, además se mantiene la hipótesis de que el etanol atraviese la membrana provocando una disminución del potencial.

Gráfica 12. Curva de comportamiento Voltaje contra Densidad de Corriente realizadas en varias condiciones de concentración molar.

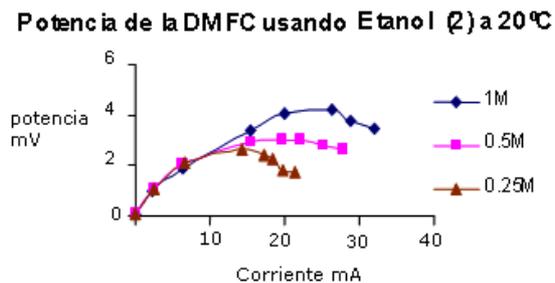
**Curva característica de la DMFC utilizando Etanol (2) a 20°C**



Como se puede observar existe una dependencia directa entre el potencial eléctrico de la celda con la concentración del combustible etanol. Por otra parte, se señala que las concentraciones utilizadas son demasiado bajas, esto se debe a que según el fabricante, a concentraciones demasiado altas, caso del metanol, éste podría verse forzado a traspasar el electrolito y oxidarse en el cátodo de la celda, provocando una disminución en el potencial de la misma. Para hacer control local de error se procedió a equipar el mismo número de moléculas de etanol y metanol utilizadas.

En altas densidades de corriente, el tamaño de ésta es determinado por el transporte del reactivo al electrodo (transporte por difusión), es decir, la cantidad de etanol llega al catalizador en un momento determinado de conversión catalítica. La gráfica 13

Gráfica 13. Curva del comportamiento del Etanol Potencia contra Densidad de Corriente a diferente Concentración molar



demuestra precisamente este efecto. Aquí, el tamaño de la corriente es linealmente dependiente de la concentración de etanol. Esta corriente también puede ser denominada como de difusión, porque está determinada por el transporte de material.

### Efecto de la temperatura sobre la potencia eléctrica

La temperatura favorece la velocidad de reacción, tanto en la oxidación del combustible, en el ánodo, como en la reducción del oxígeno, en el cátodo, esto significa que el aumento de la temperatura provoca un aumento en la transferencia de carga, producto de las reacciones catalíticas.

En la zona de pérdidas de potencial, debido a la resistencia de la celda, se continua observando que el aumento de la temperatura provoca un mayor transporte de electrones por el circuito y de protones por la membrana; esto se debe a que al aumentar la temperatura se incrementa la conductividad de la celda, disminuyendo su resistencia eléctrica, y finalmente las pérdidas de potencial por el transporte de los reactivos hacia el electrodo, se ve favorecido al aumentar la temperatura, es decir que la temperatura provoca una mayor o una menor difusión de los reactivos, tanto en el ánodo como en el cátodo.

### Efecto de la concentración sobre la potencia eléctrica

La gráfica 13 permite observar cómo cambia la potencia a diferentes concentraciones. Hay evidencia que la máxima potencia se obtiene a la mayor concentración debido a que existe mayor transporte de material, es decir que al aumentar la concentración se produce mayor cantidad de electrones y protones

que son transportados por el circuito y por la membrana, permitiendo así un incremento en la potencia eléctrica.

El análisis para las pérdidas de potencial por la resistencia de la celda evidencia el efecto de la concentración, donde se observa que a mayor concentración de combustible las pérdidas de potencial disminuyen. Esto a su vez, obedece a que a mayor concentración de combustible se produce una mayor cantidad de electrones y protones fluyendo hasta el cátodo, por el circuito y por la membrana respectivamente, lo que indica que la zona de la resistencia eléctrica controlada por la difusión es controlada por la concentración de combustible alimentado.

Finalmente, las pérdidas de potencial por difusión de reactivos hacia el catalizador, aumentan al disminuir la concentración y se debe a que a mayor concentración, mayor es el número de moléculas capaces de ser adsorbidas pero el electro catalizador.

## Conclusiones

El comportamiento del etanol es equiparado al comportamiento del metanol en una celda de combustible DMFC, a razón de que el etanol se ajusta al modelo de las curvas características de una celda de combustible del tipo DMFC.

Las celdas de combustible DMFC aceptan etanol lo que permite el uso de manera flexible con otros combustibles como es el caso del bioetanol.

Se observa el efecto cooperativo de promoción (*Spillover*) al usar en la secuencia metanol (1) → etanol (2) y → metanol (3), lo que hace pensar que el catalizador empleado de la mezcla Pt-Ru en la DMFC, el Ru contribuye con centros activos ricos en oxígeno (probablemente  $\text{OH}_{\text{ads}}$ ), que favorece la oxidación del CO adsorbido en el Pt como producto de la descomposición del metanol y, luego etanol en la DMFC.

Se requiere estudiar el efecto *Spillover* durante el fenómeno de agotamiento de la DMFC utilizando etanol como combustible.

## Referencias

### Publicaciones periódicas

- Aricó A.S.; Antonucci P.L.; Modica E.; Baglio V.; Kim H.; Antonucci V.; *Electrochimim* (2002). Acta 47- 3723.
- Camara G.A.; Giz M.J.; Paganini V.A.; Ticinelli E.A. (2002). *Electroanal. Chem.*, 537. 21.
- Cano C., Ulices (1999). Las celdas de combustible: verdades sobre a generación de electricidad limpia y eficiente vía electroquímica. *Aplicaciones Tecnológicas. Boletín IIE*, México.
- Hooger G. (2003). Editor, *Fuel Cell Technology Handbook*, CRC Press, New York.
- Lamy C. ; Lima A. ; LeRhum V. ; Delime F. ; Contanceau C. ; Léger J-M., J. (2002). *Power Sources*, 105 - 283.
- Pozio A., Silva R.F.; DeFrancesco M., Cardinalli F.; Giorgi L. (2003). *Electrochim. Acta*, 48 - 1627
- Kartha, S. & Grimes, P. (1994). Fuel cells: Energy conversion for the next century. *Physics Today*, Volume 47, Issue 11, November. 54 – 61 pp.
- Tripkovic AV.; Popovic K.D.; Grgur B.N.; Blizanic B.; Ross P.N.; Markovic N.M. (2002). *Electrochim Acta*, 47 - 3707

### Contribuciones en libros

- Bernal, Claudio (2006). Metodología, diseño y análisis de investigaciones experimentales con experimentos estadísticos. Documentos de trabajo, Universidad de América, Bogotá.
- Vargas, Amado; Quintero B., César; Sanjuanes M., Carmelo (2008). Diseño y construcción de un generador prototipo de energía mediante paneles solares-hidrogeno celda combustible. 1ª. Edición. Bogotá. Centro de Investigación y Desarrollo Científico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 41 pp.
- Heliocentris (2002). Operating Instructions hydro-Genius™ Extension Kit Methanol Fuel Cell: Em1. Characteristic curve of the methanol fuel cell. 1<sup>st</sup> Edition.

### Conferencias

- Durón-Torres, S.M., Reyes-Barrios, J. y Solorza-Feria, O. (2004) Obtención de catalizadores de rutenio resistentes al metanol por pirolisis de precursores sólidos. XVI Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Electroquímica, SIBAE. G013: 159 pp.
- Sánchez, C., González, J. y Hoyos, B. (2004). Desarrollo de catalizadores anódicos para celdas de combustible directas de etanol en medio ácido. Congreso internacional de uso racional y eficiente de energía CIUREE-2004. Cali, Colombia.

### Fuentes electrónicas

- Ángel, Benito (1994). Las pilas de combustible: Nuevo mercado para el gas natural. [En línea]. Consultado: 06/05/2007. En: [www.usuarios.lycos.es/arquinstal03/publicaciones/otras/bib404\\_las\\_pilas\\_de\\_combustible.pdf](http://www.usuarios.lycos.es/arquinstal03/publicaciones/otras/bib404_las_pilas_de_combustible.pdf).
- Schultz. Thorsten., Zhou. Su, Sundmacher. Kai (2001). Current Status of and Recent Developments in the Direct Methanol Fuel Cell. Consultado: 15/09/2007. En: <http://www3.interscience.wiley.com/journal/88512698/abstract?CRETRY=1&SRETRY=0>
- Karta. Sivian, Grimes. Patrick. Fuel cells: energy conversion for the next century (1994). Consultado: 02/07/2007. En: <http://web.ebscohost.com/ehost/pdf?vid=12&hid=5&sid=b6944b00-c7f5-4aaf-a052-54023d084eef%40sessionmgr3>.
- Hoyos, Bibian; González, Javier; Sánchez, Carlos (2002). Tesis: Caracterización del comportamiento electro catalítico del platino y el rutenio en la oxidación de etanol en medio ácido. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Medellín. 10-18 pp.

## Sobre los autores

### Claudio Raúl Bernal Bustos

Candidato a Doctor en Ciencias Pedagógicas, La Habana, Cuba; estudiante de Maestría en Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá; docente - investigador y coordinador de la línea de investigación Bioprospección e Ingeniería Química Aplicada – BIQA, de la Fundación Universidad de América, Av. Circunvalar No. 20-53, [claudio.bernal@profesores.uamerica.edu.co](mailto:claudio.bernal@profesores.uamerica.edu.co). Autor de diferentes publicaciones en revistas científicas.

### José David Jiménez

Estudiante graduado de Ingeniería Química de la Fundación Universidad de América, Avenida Circunvalar No. 20-53, [jdjimenezd@hotmail.com](mailto:jdjimenezd@hotmail.com). Autor de la ponencia: Reacciones electroquímicas y aspectos teóricos acerca de las celdas de combustible a etanol, presentada en la primera semana de academia, ciencia e innovación, realizada en los días 23-27 de abril, 2007. Fundación Universidad de América.

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.