

## Rendimiento de las celdas de combustible de óxido sólido a diferentes densidades de combustible

Luis Ramón Sánchez Salgado<sup>1</sup> y Dr. Abel Hernández Guerrero<sup>2</sup>

### RESUMEN

En este trabajo se realizó un análisis en un paquete de CFD (Computational Fluid Dynamics) a una celda de combustible tipo SOFC (Solid Oxide Fuel Cell). En este estudio fueron empleadas tres diferentes geometrías, las cuales variaron en el número de canales y como consecuencia en el área de la interface canal-electrodo. Para cada geometría fueron probados diferentes casos, para los cuales se realizaron cambios en la concentración del combustible y solamente se mantuvo constante la concentración de aire, lo cual por consiguiente genera cambios en los flujos máxicos, densidad y velocidad en la entrada del combustible; alterando de manera significativa el comportamiento de la celda de combustible. Además, las geometrías también fueron analizadas bajo diferentes corrientes de operación.

**PALABRAS CLAVE** SOFC, celda de combustible, sobrepotencial.

### INTRODUCCIÓN

Las celdas de combustible son una de las opciones que ofrecen las energías alternas debido a que su principal combustible es el hidrógeno, un elemento que abunda en la naturaleza ya que el único producto de su funcionamiento es vapor de agua. Sin embargo, diversas críticas hacia este tipo de tecnología se basan en el hecho de que el hidrógeno no se considera como un recurso natural que se encuentre libre en el medio ambiente, teniéndose que obtener a partir de otras materias primas, habiendo así distintas opiniones al creer que se necesita más energía para obtener el hidrógeno de la que podría ser proporcionada por la celda. Es aquí donde entran las celdas de combustible de óxido sólido (SOFC), un tipo de celda de combustible que debido a las propiedades de sus componentes y a su temperatura de operación, le permiten en su funcionamiento alcanzar condiciones de operación más flexibles para dar solución a los cuestionamientos mencionados.

---

1 Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Universidad de Guanajuato, División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca. Carretera Salamanca - Valle de Santiago Km. 3.5 + 1.8 Comunidad de Palo Blanco C.P. 36885, Guanajuato, Salamanca. Teléfono: (01) 4646-4799-40.

2 Profesor, Universidad de Guanajuato, División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca, Departamento de Ingeniería Mecánica, Carretera Salamanca - Valle de Santiago Km. 3.5 + 1.8 Comunidad de Palo Blanco C.P. 36885, Guanajuato, Salamanca. Teléfono: (01) 464 647 9940 Ext. 2382; Fax: (01) 464 647 9940 Ext. 2311; abel@ugto.mx

El objetivo del proyecto consiste en caracterizar mediante la simulación numérica de varios modelos geométricos así como de varios combustibles, las pérdidas óhmicas que se originan debido al transporte de electrones a través de los componentes conductivos dentro de la celda de combustible de óxido sólido, así como también las pérdidas por concentración que se originan debido a la difusión de los gases desde los canales de gas hacia la interface electrodo-electrolito, donde las reacciones electroquímicas se llevan a cabo. También se cuantificarán las pérdidas por activación para los diferentes combustibles utilizados. Así, de esta manera se tendrán las bases suficientes para proponer diseños eficientes que reduzcan dichas pérdidas de tal manera que la mayor potencia de salida sea alcanzada.

## MÉTODOS Y MATERIALES

Para este estudio se desarrolló un modelo numérico, el cual fue resuelto en un software basado en el método de volumen finito. Lo primero que se procedió a realizar fue la generación de los distintos modelos geométricos de la celda de combustible (ver Figuras 1 y 2). En este caso fueron generados tres modelos similares, variando entre cada uno de ellos algunos parámetros (ver Tablas 1 y 2). En el análisis se estudió el efecto del área de interface canales-electrodos dentro de la celda de combustible, donde colectores de corriente con canales rectos fueron modelados. El área de la sección transversal de los canales de flujo es la misma en cada diseño, variando únicamente el número de canales.

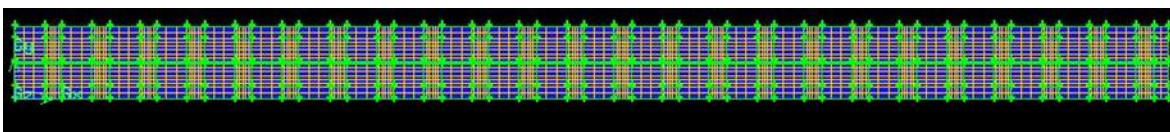


Figura 1. Sección transversal del modelo geométrico de la celda para el Caso 3.

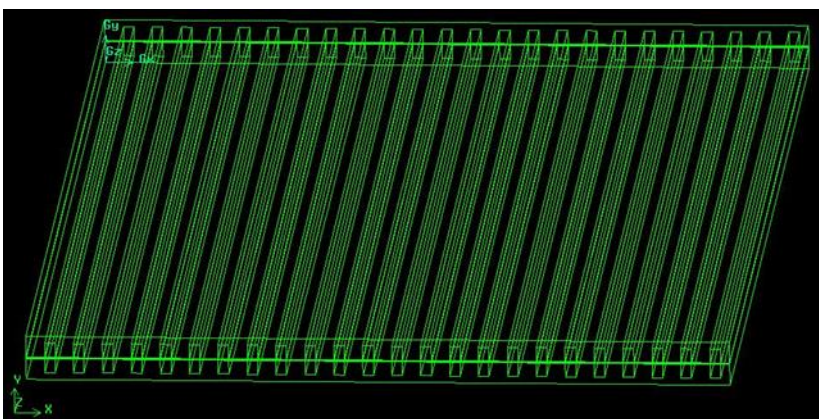


Figura 2. Vista isométrica del modelo geométrico de la celda de combustible, Caso 3.

**Tabla 1. Dimensiones de los casos 1, 2 y 3.**

Caso	Dimensiones de los Canales (ancho x alto) [mm <sup>2</sup> ]	Número de Canales	A <sub>f</sub> [mm <sup>2</sup> ]	θ
1	0.75x1	18	1350	0.27
2	0.75x1	28	2100	0.42
3	0.75x1	24	1800	0.36

**Tabla 2. Características de la malla para los casos 1,2 y 3.**

Caso	No. de elementos en la sección transversal de los canales	No. de elementos a lo largo de los canales	Número de celdas
1	36	400	1,920,000
2	36	400	2,428,800
3	36	400	2,092,800

El parámetro  $\theta$  que aparece en la Tabla 1, se define como la relación entre el volumen ocupado por los gases (volumen de los canales) y el volumen total (colector de corriente y canales). La Ecuación (1) muestra una expresión para la definición del parámetro  $\theta$

$$\theta = \frac{V_f}{V_t} \quad (1)$$

Dentro de este análisis, tanto la altura como el ancho de los canales se mantuvo constante, así de esta manera para este caso en especial la relación de  $\theta$  podría escribirse en términos del área de la interface entre los canales y los electrodos.

Las propiedades de los materiales de los colectores de corriente, electrodos y electrolito, como lo son la conductividad térmica ( $k$ ), calor específico ( $c_p$ ), densidad ( $\rho$ ) y conductividad eléctrica ( $\sigma$ ), fueron extraídos de estudios llevados a cabo previamente por varios autores (E. Achenbach, 1995), (Elizalde-Blancas F., 2006), las cuales son reportadas en la Tabla 3.

**Tabla 3. Propiedades de los materiales.**

Componente	$k$ [W/m K]	$c_p$ [J/kg K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\sigma$ [ $\Omega$ m] <sup>-1</sup>
Electrolito	2	400	6600	2.26
Ánodo	5.84	640	6870	30315.4
Cátodo	1.86	800	6570	12792.4
Colector	2	400	6600	3109.26

Las condiciones de operación para la SOFC son mostradas en la Tabla 4, las cuales fueron tomadas de la literatura (E. Achenbach, 1995), donde hidrógeno humidificado es suministrado al ánodo y aire es alimentado al cátodo. La composición de la mezcla combustible utilizada en este trabajo se reporta en la Tabla 5.

Tabla 4. Condiciones de operación.

Temperatura de operación ( $T_s$ )	1073 K
Presión de operación ( $P_s$ )	1 atm
Relación de aire referido a $O_2$	$Ar=7$

Tabla 5. Composición de la mezcla.

Mezcla	Combustible	Aire
1	10% $H_2O$ ; 90% $H_2$	21% $O_2$ ; 79% $N_2$
2	20% $H_2O$ ; 80% $H_2$	21% $O_2$ ; 79% $N_2$
3	30% $H_2O$ ; 70% $H_2$	21% $O_2$ ; 79% $N_2$

El flujo másico en la entrada puede ser determinado por la densidad de corriente promedio ( $i=3000$  A/m<sup>2</sup>), el área de la sección transversal del canal, la fracción masa de las especies presentes ( $X_i$ ) y la utilización del combustible ( $U=85\%$ ). El flujo másico del combustible puede ser determinado con la Ecuación (2)

$$\dot{m}_{Combs} = \frac{iM_{H_2}A_{act}}{2FU_{Combs}X_{H_2}} \quad (2)$$

donde  $M_{H_2}$  es el peso molecular del hidrógeno ( $M_{H_2}=2.0$  g/mol),  $F$  es la constante de Faraday ( $F=96485$  C/mol),  $X_{H_2}$  la fracción masa de hidrógeno a la entrada para cada mezcla y  $A_{act}$  el área activa ( $A_{act}=0.01$  m<sup>2</sup>). De forma similar el flujo másico para el aire a la entrada puede ser calculado con la Ecuación (3)

$$\dot{m}_{Aire} = \frac{iM_{O_2}A_{act}Ar}{4FX_{O_2}} \quad (3)$$

donde  $M_{O_2} = 32$  g/mol,  $X_{O_2}=0.233$  y  $Ar$  es la relación de aire mostrada en la Tabla 4. Por lo tanto las velocidades de entrada para el combustible y el aire pueden ser calculadas con las Ecuaciones (4) y (5).

$$V_{Combs} = \frac{\dot{m}_{Combs}}{\rho_{combs}A_c} \quad (4)$$

$$V_{Aire} = \frac{\dot{m}_{Aire}}{\rho_{Aire} A_c} \quad (5)$$

## RESULTADOS

Una vez realizadas las simulaciones numéricas de los diferentes casos analizados en este trabajo, fue posible cuantificar los diferentes tipos de sobrepotenciales (activación, óhmicos y de concentración). De las 27 simulaciones realizadas, el sobrepotencial total se muestra en las Figuras 3, 4 y 5, a diferentes concentraciones del combustible y corrientes de operación. Como se puede apreciar de estas Figuras, el sobrepotencial total mínimo dentro de la celda siempre se presenta para un valor del parámetro  $\theta$  de 0.36, esto independientemente de las distintas corrientes aplicadas o geometrías utilizadas, lo cual nos sugiere que para esta condición, es cuando la celda opera con menos irreversibilidades, por lo cual su eficiencia es mayor.

El único caso en el cual el comportamiento de la celda parece no seguir el patón mostrado por las demás configuraciones, fue para el caso cuando se tiene una concentración de H<sub>2</sub> del 70% y la celda soporta una corriente de 7 A, ya que el sobrepotencial total es menor en  $\theta=0.42$  que en  $\theta=0.36$ , lo cual nos hace pensar que este caso en particular necesita ser analizado a más detalle en futuros trabajos con el fin de deducir qué es lo que está generando este comportamiento.

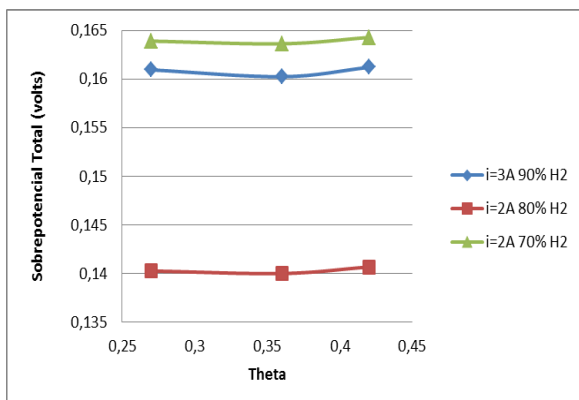


Figura 3. Sobrepotencial total para corrientes de 3A y 2A.

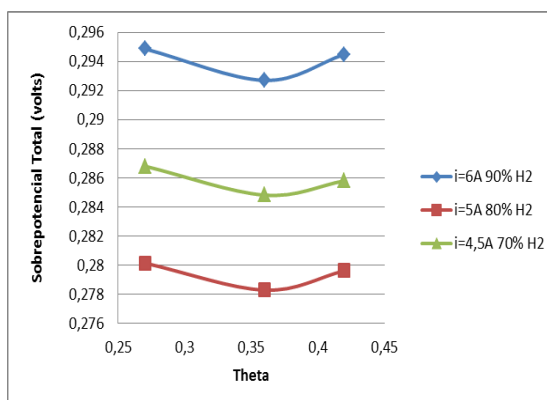


Figura 4. Sobrepotencial total para corrientes de 4.5A, 5A y 6A.

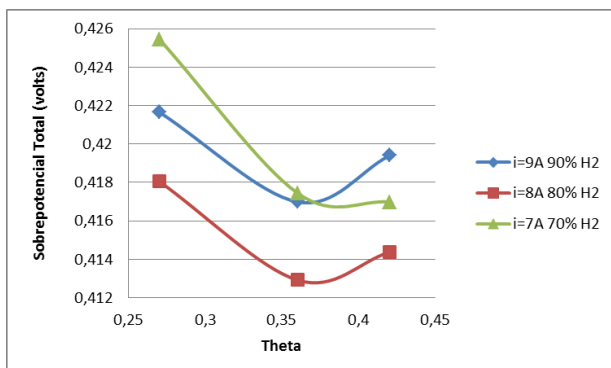


Figura 5. Sobrepotencial total para corrientes de 7A, 8A y 9A.

## CONCLUSIONES

En general se puede concluir que para el parámetro  $\theta$  el valor más adecuado que presenta menos pérdidas es de 0.36, ya que en la mayoría de los casos (a excepción de uno), independientemente de la concentración del combustible y de la corriente de operación, es cuando se presenta un sobrepotencial total más bajo. Es por ello que se sugiere utilizar este valor del parámetro  $\theta$  como un criterio de diseño.

A pesar de que el sobrepotencial total es mínimo cuando  $\theta=0.36$ , los tres sobrepotenciales (activación, óhmico, concentración) de manera individual para este caso en específico no son los menores, curiosamente la suma de estos sí proporciona un mínimo.

## REFERENCIAS

- Achenban, E. (1995) "Modelling and evaluation of advanced SOFC" Institute of Energy Process Engineering, (IEV)
- Elizalde, F., Yavuz, I., Pakalapati, S., Celik, I., (2006). "Effect of chanel aspect ratio on planar SOFC performance", Proceeding of the 4th. International Conference on Fuel Cell Science, Engineering and Technology, Irving, CA, USA.
- Moreno Blanco, J.C., (2012) "Efecto de la relación interfaz canal-electrodo en las celdas de combustible de óxido sólido", Tesis de Licenciatura, Universidad de Guanajuato, Salamanca, Gto.