

ANÁLISIS DE CELDAS DE COMBUSTIBLE DE ALTA TEMPERATURA

Jaime Velázquez Izaguirre (1), Sergio Cano Andrade (2)

1 Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Guanajuato, Salamanca, Guanajuato 36885, México | Dirección de correo electrónico: jaimeizaguirre18@hotmail.com

2 Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Guanajuato, Salamanca, Guanajuato 36885, México | Dirección de correo electrónico: sergio.cano@ugto.mx

Resumen

Este artículo presenta el modelado de una celda de combustible de óxido sólido (SOFC), así como la comparación de su desempeño con resultados numéricos obtenidos de la literatura. El modelo se construye de forma tridimensional, e incluye los colectores de corriente, los canales de flujo, y las capas de difusión, tanto para el ánodo como para el cátodo, así como la capa de electrolito que se encuentra entre los componentes del ánodo y del cátodo. La simulación se lleva a cabo en un paquete computacional comercial que usa el método de elemento finito. El modelo resuelve las ecuaciones de momentum, especies, y energía. Los resultados muestran la comparación del funcionamiento de la SOFC con datos numéricos obtenidos de la literatura tales como la producción de densidad de corriente y fracción masa de los reactantes a lo largo del canal, y la curva de polarización de la celda.

Abstract

This paper presents the modeling of a solid oxide fuel cell (SOFC), and its performance compared to numerical results obtained from the literature. The model is constructed in a three-dimensional manner, and includes the current collectors, flow channels, and diffusion layers for the anode and cathode, respectively, as well as the electrolyte layer between the cathode and anode components. The simulation is performed in a commercial software that uses the finite element method for the solution of the discretized equations. The models solves the momentum, species, and energy equation. Results show a comparison of the SOFC performance with numerical data obtained from the literature, such as the current density production and mass fraction of reactants along the channel length, as well as the polarization curve.

Palabras Clave

Celdas de combustible, óxido sólido, alta temperatura, densidad de corriente, curva de polarización.

INTRODUCCIÓN

Las celdas de combustible de óxido sólido (SOFCs) utilizan un cerámico como electrolito, tal como el óxido de zirconio con adiciones de itrio o de calcio. Las SOFCs utilizan hidrógeno o metano para el lado del ánodo como combustible y oxígeno para el lado del cátodo como oxidante. De todos los tipos de celdas de combustible, esta es la que tiene la más alta temperatura de operación, que es entre los 600 y 1000 °C, por lo que el tiempo de operación puede llegar a ser de varias horas. La eficiencia de las SOFCs está entre un 45 y 60% [1, 2]. Algunas ventajas de la SOFC son [3-6]:

- Los materiales de construcción de la celda son altamente resistentes a la corrosión.
- Debido a que el electrolito se encuentra en estado sólido (cerámica), se evita el problema de inundación de los electrodos.
- No usa catalizadores, evitando el uso de platino (Pt), el cual es muy costoso.
- Debido a su alta temperatura de operación se pueden usar en cogeneración, es decir, electricidad y agua caliente (o vapor).

Algunas desventajas de la SOFC son [3-6]:

- El rango de temperaturas de operación es muy alto, lo cual disminuye el tiempo de vida de los materiales de la celda y los periodos de arranque de la celda son más largos.
- La tecnología aun esta en desarrollo.
- Son sensibles a la contaminación de los componentes, lo que hace que disminuya considerablemente su eficiencia.

En la Imagen 1 se muestra la estructura de la SOFC celda de combustible de Oxido Sólido. Oxígeno entra en el lado del cátodo e hidrógeno entra en el lado del ánodo. En el electrolito el hidrógeno reacciona, dividiéndose en protones y electrones. Los electrones son extraídos por un circuito externo generando energía eléctrica. Los electrones que no se atrapan en el circuito externo

fluyen hasta el lado del cátodo, donde reaccionan con el oxígeno y los protones para formar agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

El modelo que se desarrolla en este artículo se compara con los resultados numéricos obtenidos por Wang et al [7]. El modelo se construye y simula en el paquete computacional COMSOL Multiphysics® [8]. El modelo de la SOFC se muestra en la Imagen 2, y consiste de una celda de canal recto con una longitud de 10 cm. Las condiciones de operación se muestran en la Tabla 1. El objetivo es encontrar como se consume el oxígeno en el cátodo y el hidrógeno en el ánodo, así como la producción de la densidad de corriente a lo largo del canal y la curva de polarización de la SOFC.

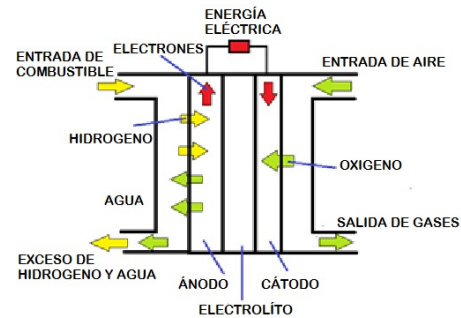


IMAGEN 1: Componentes y funcionamiento básico de una celda de combustible oxido sólido (SOFC) [3].

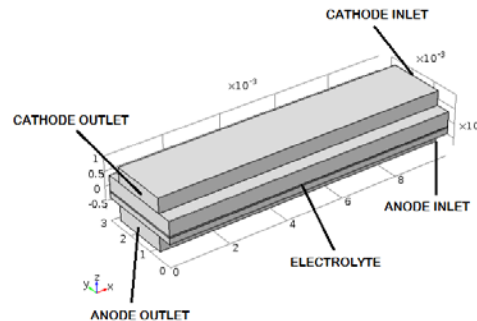


IMAGEN 2: Esquema tridimensional de la SOFC dibujado en COMSOL Multiphysics®.

Tabla 1: Condiciones de operación de la SOFC [7].

Parámetro de Operación	Valor
Temperatura de la celda	916 °C
Presión de operación	1 atm
Voltaje de operación	0.5 V
Porosidad del medio	35 %
Velocidad de flujo	0.5 m/s
Permeabilidad	10×10^{-12}
Conductividad Térmica (Cátodo)	6.23 W/mK
Conductividad Térmica (Ánodo)	9.6 W/mK
Conductividad Térmica (Electrolito)	2.7 W/mK

El modelo matemático consiste primeramente en la identificación de algunas de las partes de la Celda de la Combustible bajo como estudio tal y como se muestra en la Imagen 3, los parámetros dimensionales que se tomaron en cuenta para la construcción de nuestro modelo fueron, para el ánodo, cátodo y el electrolito tienen un espesor de 0.5, 0.25 y 0.05 mm, respectivamente.

El Hidrogeno y el Oxigeno fluyen de manera paralela, donde se muestra la entrada de Hidrogeno (cátodo) y la entrada del Oxigeno (ánodo) como también especificando su zona de salida, teniendo así un flujo paralelo.

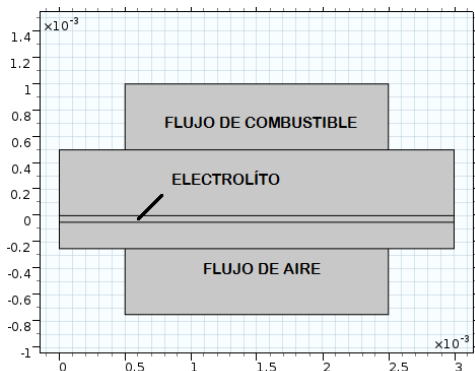


IMAGEN 3: Vista frontal del modelo para la SOFC

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la densidad de corriente de la SOFC con respecto a la longitud del canal, y su comparación con resultados obtenidos de [7] se muestran en la Imagen 4. Se muestra una pequeña desviación de los resultados, aunque la aproximación es satisfactoria. La tendencia de los resultados también es acorde a lo reportado en [7]. En la imagen 5 se muestra la temperatura de la SOFC en el lado del ánodo. Al igual que en la curva de la densidad de corriente, se tiene una pequeña desviación de los resultados reportados en [7], aunque nuevamente, la tendencia de la variación de la temperatura se obtiene con el modelo propuesto en este documento.

La Imagen 6 muestra la distribución molar del oxígeno a lo largo del canal del cátodo, y la Imagen 7 muestra la distribución molar del hidrógeno a lo largo del canal del ánodo. Para ambos casos, las gráficas muestran que el hidrogeno y el oxígeno se consumen conforme se aproximan a la salida del canal del ánodo y cátodo, respectivamente. Finalmente, la Imagen 8 Como se puede observar en la Imagen 8 la curva de polarización obtenida para la SOFC.

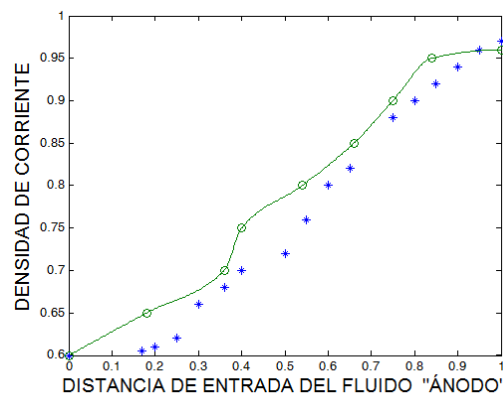


IMAGEN 4: Curva de la densidad de corriente con respecto a los valores presentados en [7]. La línea continua (verde-círculos) muestra los resultados de modelo presentado, y los puntos (azul) los resultados presentados en [7].

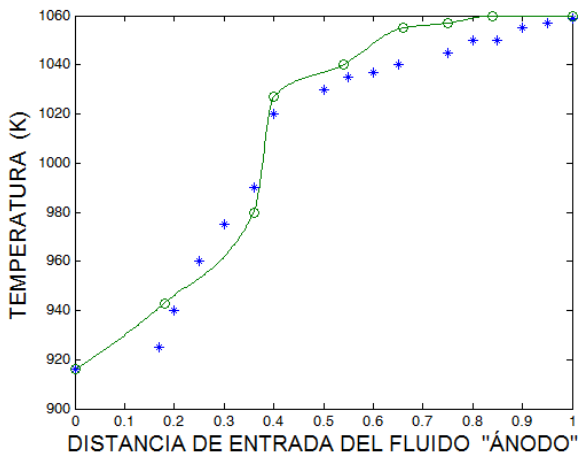


IMAGEN 5: Curva de la temperatura en el lado del ánodo con respecto a los valores presentados en [7]. La línea continua (verde-círculos) muestra los resultados de modelo presentado, y los puntos (azul) los resultados presentados en [7].

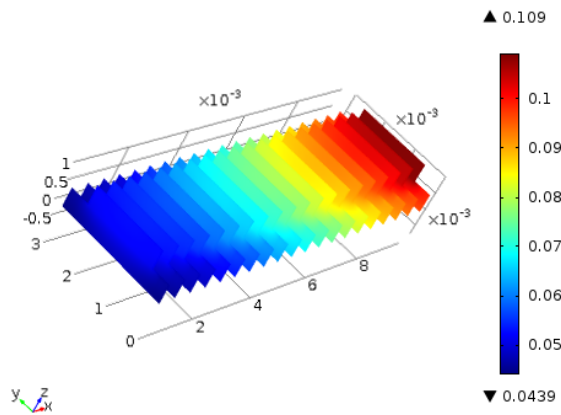


IMAGEN 6: Fracción molar del oxígeno en el canal de cátodo.

CONCLUSIONES

En este artículo se desarrolló el modelo en COMSOL Multiphysics® de una celda de combustible de óxido sólido (SOFC), en el cual se estudia el funcionamiento de la celda bajo condiciones de operación específicas.

Los resultados muestran la producción de la densidad de corriente a lo largo del canal, así

como la curva de polarización de la celda. También se muestra la fracción masa del hidrogeno y oxígeno en el lado del ánodo y cátodo, respectivamente. Los resultados muestran un comportamiento acorde a lo reportado en la literatura.

Como trabajo futuro, se cambiara la configuración de los canales de flujo de los gases reactantes con el fin de incrementar su funcionamiento al obtener mejores distribuciones de los gases reactantes en el área activa de la celda.

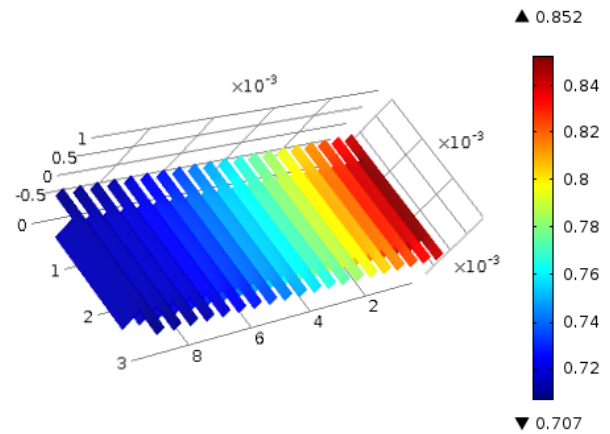


IMAGEN 7: Fracción molar del hidrogeno en el canal del ánodo.

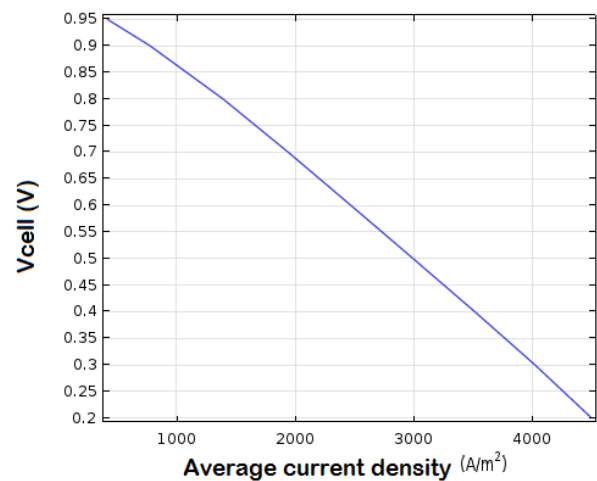


IMAGEN 8: Curva de polarización de la SOFC.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a VERANOS UG 2015 por la oportunidad de participar en este evento. J.V.I. también agradece a DINPO-UG por el apoyo financiero durante la estancia. S.C.A. también agradece al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato (CONCYTEG) por apoyo financiero mediante el programa: Jóvenes Investigadores (Convenio 111/2015 UG).

REFERENCIAS

- [1] Hafsia A., Bariza Z., Djamel H., Hocine M. B., Andreadis M. G., and Soumia A. (2011). SOFC fuel cell heat production: Analysis. *Energy Procedia*, 6, 643-650.
- [2] Au S. F., Blum L., Dengel A., Kimmerle K. (2005). Utilization of mine gas with a high-temperature SOFC fuel cell, *Journal of Power Sources*, 145(2), 582-587.
- [3] O'Hayre, R. P., Cha, S. W., Colella, W.G., Prinz F.B. (2009). *Fuel Cells Fundamentals*. 2nd Edition. Hoboken, New Jersey. John Wiley & Sons Inc., pp. 3-18.
- [4] O'Hayre, R. P., Cha, S. W., Colella, W.G., Prinz F.B. (2009). *Fuel Cells Fundamentals*. 2nd Edition. Hoboken, New Jersey. John Wiley & Sons Inc., pp. 169-193.
- [5] Larminie, J., Dicks, A. (2003). *Fuel cell systems explained*. 2nd Edition. West Sussex, England. John Wiley & Sons Ltd.
- [6] EG&G Technical Services. (2004). *Fuel cell handbook*. 7th Edition. Morgantown, WV. U.S. Department of Energy
- [7] Wang, G., Yang, Y., Zhang, H., Xia, W. (2007). 3-D model of thermo-fluid and electrochemical for planar SOFC. *Journal of Power Sources* 167, 398-405
- [8] COMSOL Multiphysics®. Current Density Distribution in a Solid Oxide Fuel Cell. <http://www.comsol.com/model/current-density-distribution-in-a-solid-oxide-fuel-cell-514>