Simulación computacional de generadores termoeléctricos de telururo de bismuto

D. Fuentes Hernández[1], M. Vargas Ramírez[1], F. Legorreta García [1], E.A. Chávez Urbiola[2*]

[1]Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca- Tulancingo Km. 4.5, Col. Carboneras, Mineral de la Reforma, Hgo.
[2]CONACyT-Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca- Tulancingo Km. 4.5, Col. Carboneras, Mineral de la Reforma, Hgo.
chavez.urbiola@gmail.com
E-mail: chavez.urbiola@gmail.com

RESUMEN

En este proyecto de investigación se detalla el procedimiento para simular generadores termoeléctricos (TEG) de la marca Kryother fabricados de telururo de bismuto mediante el software de simulación multifísica Comsol. El TEG simulado es el modelo TGM-127-1.24-2.5 para cuya caracterización se destinaron diferentes condiciones de temperatura a la sección cálida y fría del dispositivo, generando gradientes de 170, 150 y 120 °C, la simulación fue validada comparando los resultados de simulación con los datos proporcionados por el fabricante. Con lo cual se pretende a futuro analizar la viabilidad de su aplicación en sistemas híbridos solares que incorporan reflectores difusos de refuerzo aprovechando el calor residual producto de la operación del sistema híbrido para su conversión en energía eléctrica e incrementar el desempeño del sistema.

Palabras Clave: Generador termoeléctrico, simulación computacional, validación, sistema híbrido solar.

1. INTRODUCCIÓN

En los generadores termoeléctricos, son dispositivos que aprovechan la diferencia de temperatura entre sus placas (llamadas secciones cálida y fría) convirtiéndola en una diferencia de potencial mediante el llamado efecto Seebeck. [1][2]

Por otra parte, un sistema híbrido solar es un sistema de generación de energía que utiliza como fuente principal de conversión a la energía solar, ya sea en forma de calor o de luz y que es auxiliada por un

segundo proceso en el cual se aprovecha una segunda fuente [3]. En este sentido, el proceso más común para la transformación de radiación solar en energía eléctrica, son los sistemas fotovoltaicos; los cuales emplean celdas fabricadas en materiales semiconductores que convierten la luz solar en una corriente eléctrica [4]. Cabe mencionar que durante la transformación de luz solar en electricidad el calor incidente sobre los generadores fotovoltaicos no es aprovechado y este solo favorece su calentamiento reduciendo así su eficiencia de conversión [5]. Es por ello que la compatibilidad entre generadores termoeléctricos y sistemas fotovoltaicos se ha evaluado en diversas investigaciones como las de Vorobiev en 2005, la de Chávez-Urbiola en 2011 y 2012, Yuan en el mismo año Willars-Rodríguez en 2016 e Indira en 2021, con el fin de aprovechar el calentamiento de los generadores fotovoltaicos por la sección cálida de, TEG y convertirla en una fuente secundaria de conversión, incrementando así el rendimiento del sistema. [1,6-11]

2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Para la simulación del TEG se plantean las mismas diferencias de temperatura mediante la cual es caracterizado por el fabricante (170, 150 y 120 °C), con el fin de generar un parámetro de referencia y validar la simulación. Los valores de condición de frontera se detallan en la Tabla 1. [12]

Tabla 1. Condiciones iniciales de simulación.

Temperatura en la sección cálida (°C)	Temperatura en la sección fría (°C)	Diferencia de temperatura (°C)
200	80	120
200	50	150
200	30	170

La geometría del dispositivo es generada a través del software SOLIDWORKS 2020, mientras que para la simulación se hace uso del módulo de termoelectricidad disponible en la sección de semiconductores del software de simulación multifísica Comsol Multiphysics en su versión 5.2.

2.1. Caracterización Electroquímica

Las variables de mayor interés dentro de la simulación computacional son la temperatura, el coeficiente de Seebeck, la densidad de corriente y la diferencia de potencial a la salida. Estos valores se logran obtener al resolver las ecuaciones 1, 2, 3 y 4.

$$q = -k\nabla T \quad (1)$$

$$\rho C_p \nabla T + \nabla \cdot q = Q \quad (2)$$

$$J = -s\nabla T \quad (3)$$

$$E = -\nabla V \quad (4)$$

Donde:
q= Calor transferido mediante conducción
k= Coeficiente de conductividad térmica
T= Temperatura
Rho= Densidad
Cp= Capacidad calorífica a presión constante
Q= Calor total transferido
J= Densidad de corriente
S= Coeficiente de Seebeck
E= Campo eléctrico
V= Potencial eléctrico

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se pueden apreciar los resultados obtenidos de la simulación y su comparación con los reportados por el fabricante [12]

Así mismo, en las Figuras 1, 2 y 3, se puede observar de forma gráfica la diferencia de potencial a la salida de cada uno de los módulos termoeléctricos que conforman el TEG según las diferencias de temperaturas aplicadas en las secciones.

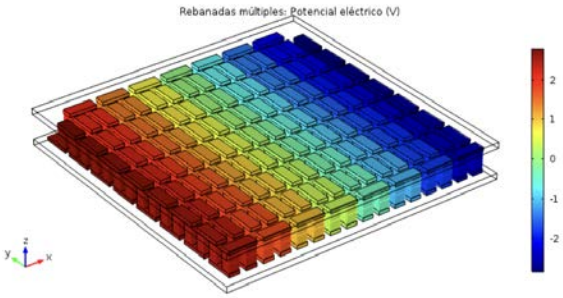

Figura 1. Diferencia de potencial entre las terminales del TEG con una diferencia de temperatura de 120 °C.

Fuente: Elaboración propia.

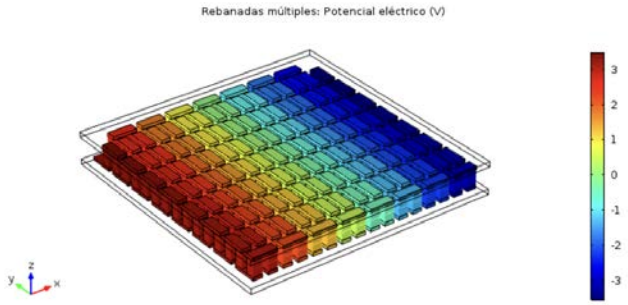

Figura 2. Diferencia de potencial entre las terminales del TEG con una diferencia de temperatura de 150 °C. Fuente: Elaboración propia.

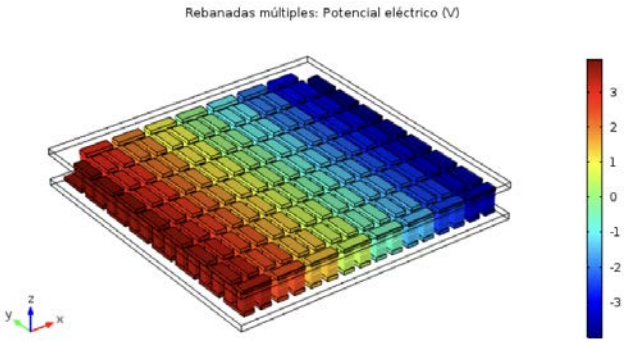

Figura 3. Diferencia de potencial entre las terminales del TEG con una diferencia de temperatura de 180 °C. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Resultados obtenidos de la simulación y su comparación con los valores reportados por el fabricante.

Diferencia de temperatura (°C)	Valor reportado por Kryotherm (V)	Valor calculado (V)	Error porcentual (%)
170	7.5	7.316	2.45
150	6.6	6.45	2.27
120	5.35	5.2	2.8

4. CONCLUSIONES

Como se puede apreciar, la simulación del TEG proporciona una buena aproximación a las condiciones reales de operación del dispositivo, lo cual permitirá plantear simulaciones bajo las condiciones de operación del sistema híbrido solar.

Si bien tanto la tecnología del TEG y la de un generador fotovoltaico en primera instancia lucen similares y su interconexión pareciera factible, es importante recalcar que este acoplamiento resulta en un desafío técnico donde se busca minimizar las pérdidas de energía debido al acoplamiento.

Finalmente, como se logra apreciar tanto en las figuras como en la tabla 2, el incremento en la salida de potencial está ligado al incremento en la diferencia de temperatura entre las secciones del TEG, por lo que para que la rentabilidad del acoplamiento con sistemas fotovoltaicos se incremente, también lo deberá de hacer la diferencia de temperatura entre la sección fría y cálida, lo cual se puede alcanzar mediante la refrigeración del TEG y el incremento de radiación sobre el generador fotovoltaico, esto último es alcanzable mediante la incorporación de reflectores difusos de refuerzo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al CONACyT por el financiamiento de este trabajo mediante el proyecto 282260 “Incremento del desempeño de sistema solar híbrido utilizando reflectores de refuerzo difusos” perteneciente a la convocatoria de ciencia básica 2016.

REFERENCIAS

[1] S. Swanson, *IEEE*, 446-447, (1979).
[2]Kryotherm https://kryothermtec.com/assets/dir2attz/TGM%20hints.pdf
[3] E.A. Chávez-Urbiola, Y. Vorobiev, *Elsevier Solar Energy*, 369-378, (2011).
[4] J.A. Carta González, *Centrales de energías renovables: Generación Eléctrica con Energías Renovables*, Pearson Education, Madrid, España, (2009).
[5] E. Collado, *Renewbable Energy Magazine*, (2015).
[6] Y. Vorobiev, J. González-Hernández, P. Vorobiev, L. Bulat, *Elsevier Solar Energy*, 170-176, (2005).

[7] E.A. Chávez-Urbiola, Y. Vorobiev, *Recent Researches in Environmental and Geological Sciences*, 336-341, (2012).
[8] W. Z. Yuan Deng, *Elsevier*, 182-191, (2012).
[9] F. Willars-Rodríguez, E.A. Chávez-Urbiola, P. Vorobiev, Y. Vorobiev, *International Journal of Energy Research*, (2016).
[10] P.K. Pratish Rawat, *International Journal of Science and Research*, 1466-1471, (2016).
[11] D. Fuentes-Hernández, *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, **Vol 8**, 128-138, (2020).
[12]Kryotherm https://kryothermtec.com/assets/dir2attz/ru/TGM-127-1.4-2.5.pdf