Revista Científica y Tecnológica InGenio revista de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería
ISSN: 2697-3642
ingenio@uteq.edu.ec
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Ecuador

Vargas Almeida, Alexander; Olivares Robles, Miguel Ángel; Vargas Almeida, Mariloli
Efecto de los intercambiadores de calor en la potencia máxima de generadores termoeléctricos
Revista Científica y Tecnológica InGenio revista de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, vol. 6, núm. 2, 2023, pp. 20-29
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Ecuador

DOI: https://doi.org/10.18779/ingenio.v6i2.679

Número completo
Más información del artículo
Página de la revista en redalyc.org

meliCA

InGenio Journal
Revista de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo
https://revistas.uteq.edu.ec/index.php/ingenio
e-ISSN: 2697-3642 - CC BY-NC-SA 4.0

Efecto de los intercambiadores de calor en la potencia máxima de generadores termoeléctricos

(Effect of heat exchangers on the maximum power of thermoelectric generators)

Alexander Vargas Almeida[1], Miguel Ángel Olivares Robles[2], Mariloli Vargas Almeida[3]
[1]Universidad Politécnica del Golfo de México, Paraíso, Tabasco, México.
[2]Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Culhuacán-IPN, Ciudad de México, México.
[3]Residencia General de Construcción I,Comisión Federal de Electricidad, Santiago de Querétaro, México.
alexander.vargas@updelgolfo.mx, olivares@ipn.mx, mariloli.vargas@cfe.mx

Resumen: La conductancia térmica de contacto que existe entre los intercambiadores de calor y la superficie de un dispositivo termoeléctrico es un factor que afecta a la máxima potencia eléctrica de este último. Específicamente, el efecto antes mencionado ha sido poco estudiado en generadores termoeléctricos segmentados. El presente trabajo muestra un método con el cual es posible modelar a un módulo termoeléctrico compuesto de dos segmentos y realizar cálculos de la máxima potencia eléctrica que puede producir el sistema; tomando en cuenta la conductancia térmica de contacto y la combinación de los materiales de los segmentos que componen al módulo. El estudio se hizo partiendo del modelado del sistema físico, se platearon las cantidades termoeléctricas que intervienen en los cálculos para posteriormente formular las ecuaciones que gobiernan la física del problema; las cuales fueron sometidas a variaciones en función de la conductancia térmica de contacto y lograr determinar las condiciones que favorecen a la máxima potencia eléctrica. El principal aporte de este trabajo es la aplicación de la formulación de cantidades equivalentes para el análisis del rendimiento de un módulo termoeléctrico segmentado y la forma en que es afectado por imperfecciones en su estructura como el contacto entre su superficie y los intercambiadores de calor.

Palabras clave: conductancia térmica de contacto, máxima potencia equivalente, intercambiadores de calor, generador termoeléctrico segmentado

Abstract: The contact thermal conductance that exists between the heat exchangers and the surface of a thermoelectric device is a factor that affects the maximum electrical power of the latter. Specifically, the aforementioned effect has been little studied in segmented thermoelectric generators. The present work shows a method with which it is possible to model a thermoelectric module composed of two segments and perform calculations of the maximum electrical power that the system can produce; taking into account the contact thermal conductance and the combination of the materials of the segments that make up the module. The study was made based on the modeling of the physical system, the thermoelectric quantities that intervene in the calculations were set to later formulate the equations that govern the physics of the problem; which were subjected to variations depending on the contact thermal conductance and to determine the conditions that favor the maximum electrical power. The main contribution of this work is the application of the formulation of equivalent quantities for the analysis of the performance of a segmented thermoelectric module and the way in which it is affected by imperfections in its structure such as the contact between its surface and the heat exchangers.

Keywords: contact thermal conductance, maximum equivalent power, heat exchangers, segmented thermoelectric generator

Recibido (Received): 2023/03/01
Aceptado (Accepted): 2023/06/05

1. INTRODUCCIÓN

La termoelectricidad es un campo de estudio y de aplicación que actualmente está experimentando un activo desarrollo de investigación e innovación [1, 2]. Es posible que esta tendencia a nivel mundial sea consecuencia del interés y preocupación de países por generar soluciones a problemas como: el cambio climático, aprovechamiento de la energía de diversas fuentes, desarrollo sostenible y la disminución de gases de efecto invernadero [3, 4, 5]. Uno de los objetivos principales hacia los cuales muchas de las investigaciones son dirigidas en este campo es el mejoramiento en el rendimiento de los sistemas termoeléctricos; es decir, que estos dispositivos logren un aprovechamiento óptimo de la energía que capturen; para lograrlo deben superarse diversos defectos que se encuentran presentes en la estructura del sistema, por ejemplo: ajustes de tipo geométrico [6] para mejorar la adaptación a las formas de las fuentes de calor con las cuales entra en contacto el módulo o bien modificaciones en los canales que transportan algún fluido refrigerante que contribuye a la optimización de la transferencia del calor del foco caliente al foco frío [7]. Otro aspecto por mejorar es la conexión eléctrica entre las legs y los puentes semiconductores debido a que existe una resistencia eléctrica interna que reduce la potencia eléctrica del generador termoeléctrico [8]. Otro factor que afecta al rendimiento de los sistemas termoeléctricos es la conductancia térmica de contacto que existe en el punto de unión entre la superficie del módulo y los intercambiadores de calor [9] y es el tema central de este artículo. Específicamente el problema que se ha planteado es el análisis de la máxima potencia eléctrica producida por un generador termoeléctrico segmentado, considerando la influencia de la conductancia térmica de contacto y la forma en que afecta al rendimiento del sistema. Para realizar el estudio se aplicó el formalismo de cantidades termoeléctricas equivalentes [10], el cual consiste escribir el coeficiente Seebeck, conductancia térmica y resistencia eléctrica como cantidades globales que contienen las contribuciones de los dos materiales termoeléctricos que componen a cada uno de los segmentos. El tópico de módulos termoeléctricos segmentados es aún muy novedoso en el campo de termoelectricidad y es por esta razón que este trabajo representa una contribución al extender el formalismo de cantidades termoeléctricas equivalentes y combinarlo con el análisis de la conductancia térmica de contacto. En la siguiente subsección se comentan algunos trabajos relacionados a la temática de este artículo.

Además del objetivo principal mencionado anteriormente, en este trabajo se pretende contribuir con nuevo conocimiento a los tópicos de diseño e ingeniería para la construcción de generadores termoeléctricos, que ha sido poco estudiado si se hace una comparación en número de publicaciones frente al área de materiales termoeléctricos [11], en donde se han generado mayores investigaciones desde el descubrimiento de los fenómenos termoeléctricos. Es así como, después de realizar una revisión de la literatura, se ha identificado un área de oportunidad para desarrollar nuevas investigaciones dirigidas a la optimización de los dispositivos termoeléctricos por medio del análisis de los factores externos como son los intercambiadores de calor. Estos componentes son los que favorecen el mecanismo de transferencia de calor desde la fuente (foco caliente) hasta el sumidero (foco frío), de no contar con ellos el módulo termoeléctrico no lograría realizar de forma correcta la conversión de calor en electricidad (efecto Seebeck). En lo que refiere a los tipos de intercambiadores que existen se encuentran: los de ventilador o fan, de aletas y los de tubos conductores de fluidos [12]. La clase de intercambiador seleccionado dependerá de la aplicación para la cual se desea aplicar el sistema termoeléctrico, del espacio disponible para colocarlo, de los valores de temperatura en los cuales estará operando y de la cantidad de calor a disipar. Independientemente de cuál sea elegido lo cierto es que se generará una conductancia térmica de contacto en el punto de unión entre el intercambiador y el módulo y que dependiendo de la calidad del contacto el rendimiento será afectado en mayor o menor medida. Por supuesto, en la actualidad existe una amplia cantidad de resultados reportados gracias a la aplicación de herramientas como la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) [13], tratamientos analíticos combinados con métodos numéricos y experimentales [14], cada uno permite realizar análisis

potentes y muy detallados. Sin embargo, es necesario contar con esquemas de diseño que estén construidos sobre leyes sólidas de la física y que puedan ser tomados como referencias o reglas universales que gobiernen a los fenómenos termoeléctricos, en este sentido los autores de [15] han planteado una metodología desarrollada sobre la termodinámica lineal de flujos y fuerzas para procesos de conversión irreversibles fuera del equilibrio y es precisamente el método que se aplica en este trabajo. Para un mejor entendimiento de las ideas de este tipo de estudio en la siguiente subsección se discute con más detalle el trabajo desarrollado en [15].

1.2. Trabajo relacionado

En el trabajo [16] se define con precisión que es un módulo termoeléctrico segmentado o de termocuplas segmentadas, se da a conocer como este concepto ha sido explorado en el Jet Propulsion Laboratory (JPL) de la NASA, y el desarrollo de prototipos en los cuales se ha buscado resolver el problema de mantener el perfil de temperatura deseado en la termocupla para su correcto funcionamiento, un parámetro que permite lograr esta optimización es el cociente de áreas de sección transversal de las legs tipo n y tipo p. El formalismo de parámetros equivalentes es propuesto y fundamentado por los autores de [10], [17] quienes analizaron el sistema físico de un generador termoeléctrico segmentado definiendo a la corriente eléctrica y al flujo de calor que circulan en el sistema, posteriormente garantizan la continuidad del flujo de calor a través de la unión de los dos segmentos y surge como una cantidad clave la temperatura en esa unión; a partir de estas suposiciones obtienen a cada una de las cantidades termoeléctricas equivalentes llegando a proponer una figura de mérito equivalente a partir de la cual logran dilucidar la física de los mecanismos de transporte de calor de carga eléctrica en termocuplas segmentadas. Finalmente para conocer más sobre la conductancia térmica de contacto y su influencia en los generadores termoeléctricos se remite lectura a [18], en donde se hace énfasis en el papel que tienen las condiciones térmicas del ambiente sobre el módulo termoeléctrico llegando a formular por primera vez la resistencia térmica equivalente, una cantidad que relaciona las contribuciones térmicas y eléctricas del generador, un punto notable de este artículo es la explicación de las condiciones físicas a las cuales puede ser sometido el sistema termoeléctrico considerando restricciones realistas y cómo es posible que en ese escenario se pueda optimizar el rendimiento.

Como se mencionó anteriormente en la introducción, un trabajo que se tomó como base para el estudio que aquí se presenta es el de [15], el cual parte del concepto de corriente térmica y eléctrica incluyendo la producción de entropía y el decrecimiento de la eficiencia térmica, como consecuencia de la existencia de imperfecciones en el contacto entre el módulo termoeléctrico y los intercambiadores de calor. El siguiente paso es la suposición de que el sistema responde linealmente a las perturbaciones ejercidas por factores externos, para luego derivar dentro del formalismo de flujos y fuerzas a la corriente térmica como una suma de las contribuciones de calor por convección y por conducción en estado estacionario; mientras que la corriente eléctrica contiene contribuciones por ley de Ohm y por efecto Seebeck. La parte sustantiva del artículo referenciado es la maximización de la potencia y de la eficiencia con contactos térmicos no ideales proponiendo el concepto de conductancia térmica de contacto llegando a concluir que la optimización de la potencia se alcanza cuando la conductancia térmica de contacto es igual a la conductancia térmica del generador termoeléctrico.

En este trabajo se extiende la metodología antes mencionada al caso de un generador termoeléctrico segmentado y se busca comprobar si este nuevo sistema obedece la regla de la igualdad entre la conductancia térmica de contacto y la conductancia térmica del generador.

2. METODOLOGÍA

2.1 Modelo Físico del Generador Termoeléctrico

El primer paso es plantear el modelo físico del sistema de estudio y fijar las condiciones físicas, para el propósito de este análisis el modelo propuesto es una termocupla segmentada, que resulta ser el sistema más simple que contiene todas las propiedades de un generador termoeléctrico segmentado (Figura 1).

.

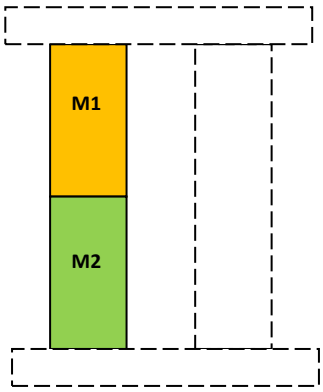

Figura 1. Modelo físico del generador termoeléctrico segmentado (GTES)

Cada uno de los materiales, (M1) y (M2), están caracterizados por: el coeficiente Seebeck (α), resistividad eléctrica (ρ) y conductividad térmica (K). La termocupla está sometida a dos reservorios de calor a temperaturas (T_H) y (T_C), cada uno de estos contactos tiene una conductancia térmica (K_H) y (K_C), respectivamente, Figura 2.

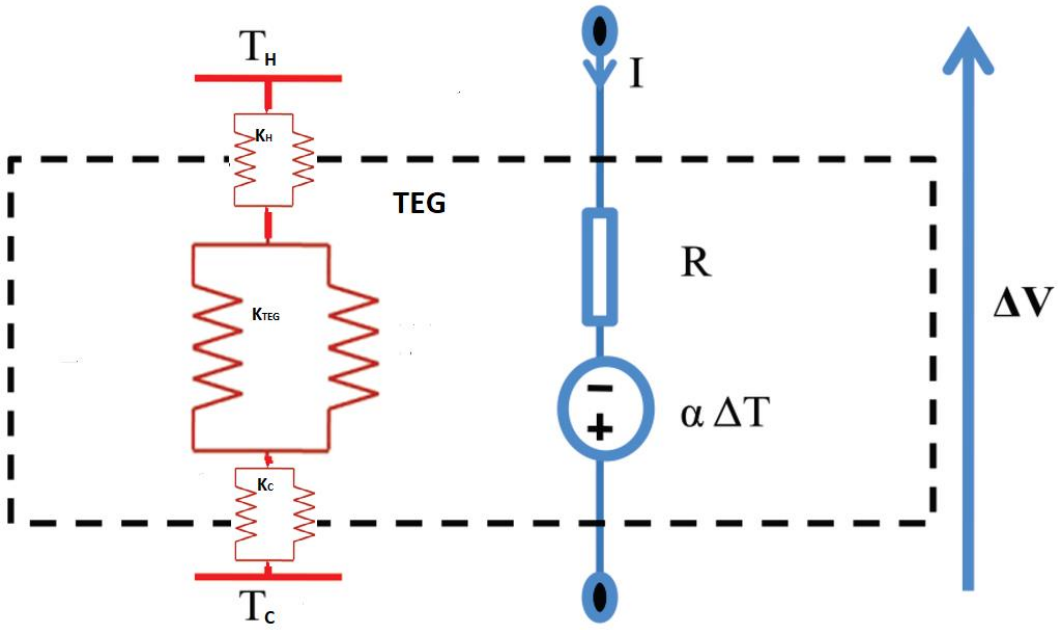

Figura 2. Circuito electro-térmico para el generador termoeléctrico

Se observa que el generador termoeléctrico tiene una resistencia eléctrica (R) y una conductancia térmica (K). Se notan también la corriente eléctrica (I), el voltaje (V) que produce y la resistencia de carga (R_{load}) que corresponde al sistema que recibe la potencia eléctrica producida.

2.2 Tratamiento Analítico

Se escribe la ecuación de la potencia eléctrica producida por el generador,

$$P_{producida} = Q_{entrada} - Q_{salida} \quad (1)$$

La máxima potencia se alcanza cuando la resistencia eléctrica del generador es igual a la resistencia eléctrica de carga (R = R_{load}), resultado que conduce a la expresión final,

$$P_{max} = \frac{(K_c \Delta T)^2}{4(K_{I=0}+K_c)\underline{T}} \frac{\underline{\underline{ZT}}}{1+\underline{ZT}+\frac{K_c}{K_{I=0}}} \quad (2)$$

En donde K_c es la conductancia térmica de contacto, $\underline{ZT}$ es la figura de mérito adimensional, $K_{I=0}$ es la conductancia térmica del GTE a corriente eléctrica cero. La formulación estricta de la ecuación (2) implica una extensa discusión de principios de la termodinámica de procesos irreversibles fuera del equilibrio, pero queda fuera de los alcances de este trabajo, se sugiere consultar los trabajos [17], [19].

Para el caso del generador termoeléctrico segmentado, la formulación de la ec. (2) se realiza por medio de cantidades equivalentes (α_{eq}, K_{eq}, R_{eq}),

$$P_{eq-max} = \frac{(K_c \Delta T)^2}{4(K_{eq-I=0}+K_c)\underline{T}} \frac{\underline{\underline{Z_{eq}T}}}{1+\underline{Z_{eq}T}+\frac{K_c}{K_{eq-I=0}}} \quad (3)$$

En los trabajos de [17] [19] se muestra con detalle el procedimiento analítico con las condiciones físicas para deducir la ecuación anterior. La utilidad de la ecuación (3) radica en que permite conocer la potencia eléctrica máxima producida por un generador termoeléctrico segmentado, por medio de las propiedades termoeléctricas de los materiales (M1) y (M2). Otro aspecto relevante es que la ecuación contiene a la conductancia térmica de contacto generada por la conexión del generador con los intercambiadores de calor; lo que hace al modelo planteado más cercano a condiciones reales.

3. RESULTADOS

Para los cálculos en este apartado, se han seleccionado como materiales termoeléctricos a las aleaciones PbTe y SiGe. Los valores de sus propiedades eléctricas y térmicas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades térmicas y eléctricas de los materiales que forman al GTES

Material termoeléctrico	Coeficiente Seebeck (μV/K)	Resistividad eléctrica (Ω.m)	Conductividad Térmica W/(m.K)
PbTe	0.0002330	0.030375	0.017750
SiGe	0.000132	0.00132625	0.0522625`

Dependiendo de la calidad del contacto entre los intercambiadores de calor y la superficie del módulo termoeléctrico. Se pueden producir un decaimiento de la potencia del generador, entonces tomando como un valor de referencia a la conductancia térmica del generador a corriente eléctrica cero $K_{eq-I=0}$ y formando el cociente $\frac{K_{eq-I=0}}{K_c}$, con la conductancia térmica de contacto (que corresponde a los intercambiadores), es posible visualizar el comportamiento de la potencia eléctrica producida por el GTES, como lo muestra la curva de la Figura (3).

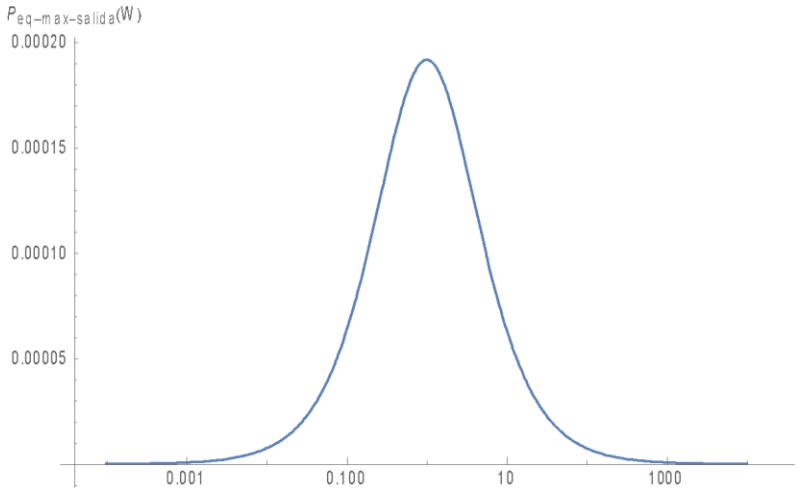

Figura 3. Curva de potencia equivalente máxima para el caso del GTES en el cual se incluven las conductancias térmicas de los intercambiadores de calor PbTe v SiGe

La Figura (3) indica que existe un valor específico del cociente $\frac{K_{eq-I=0}}{K_c}$, con el cual el GTES alcanza su máximo valor, al aplicar un método para encontrar puntos de máximo, se determina que el valor específico que maximiza a la potencia es $\frac{K_{eq-I=0}}{K_c} = 0.99$.

Como una manera de tener una idea del potencial de energía que se podría aprovechar con el GTES, resulta útil analizar el caso ideal, en el cual no se toma en cuenta la conductancia térmica de los intercambiadores de calor. En este caso la ecuación que corresponde es la siguiente, (Peq – max-ideal)

$$P_{eq-max-ideal} = \frac{(\alpha_{eq}\Delta T)^2}{4R_{eq}} \qquad (4)$$

Se obtiene la curva de la potencia como función del cociente de conductancias térmicas K_2/K_1, para el caso ideal, en donde K_1 y K_2 son las conductancias de los materiales PbTe y SiGe, Figura (4),

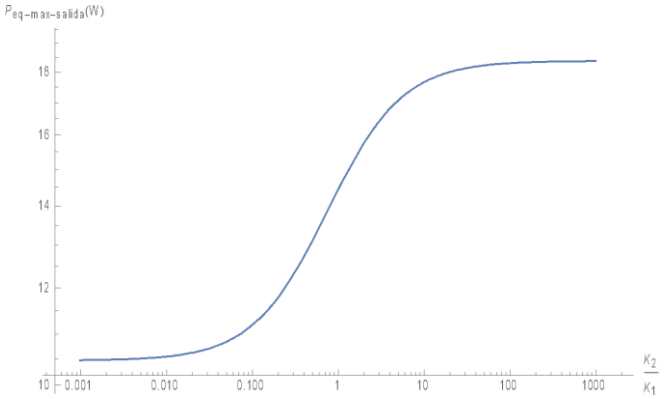

Figura 4. Curva de potencia equivalente máxima para el caso ideal del GTES, en el cual únicamente intervienen las conductancias térmicas de los materiales PbTe y SiGe

La Figura (5) muestra el máximo de potencia que alcanzaría el sistema si se lograra reducir en forma drástica la pérdida de energía debida a los intercambiadores de calor, si se extiende el dominio del cociente de conductancias térmicas se puede notar que el valor máximo se mantiene constante; lo que permite establecer un valor límite al cual se pretende llegar con el dispositivo real, la Figura 6 muestra este comportamiento asintótico.

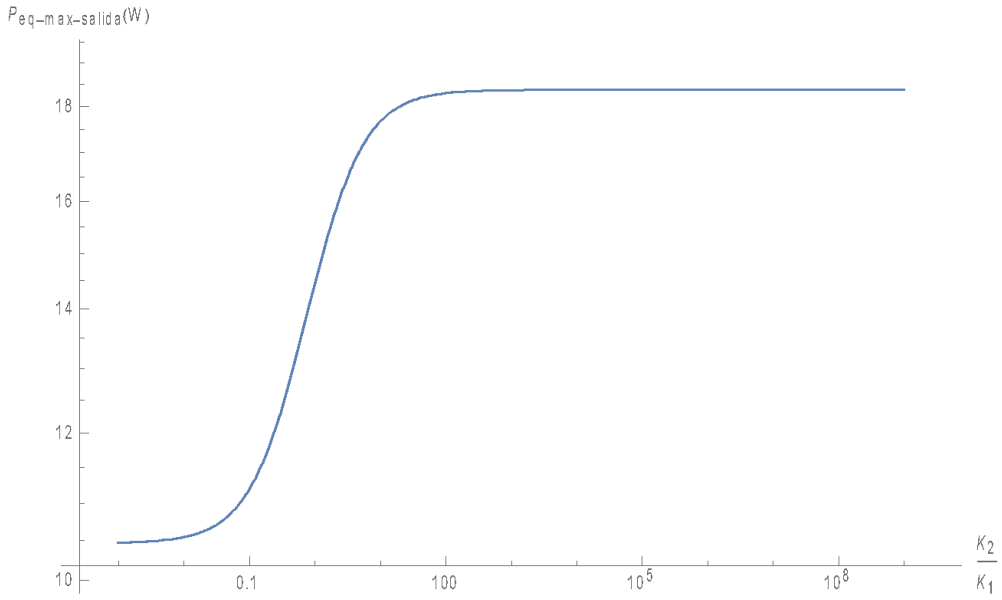

Figura 5. Curva de potencia equivalente máxima para el caso ideal del GTES, con el dominio ampliado, se observa que el valor máximo se mantiene constante sin importar el valor de la razón entre las conductancias K_2 y K_1.

Finalmente se concluye el estudio aplicando la comparación de los valores de $K_{eq-I=0}$ y K_C por medio del cociente K_0/K_C, con la cual se obtiene el resultado que muestra la Figura 6,

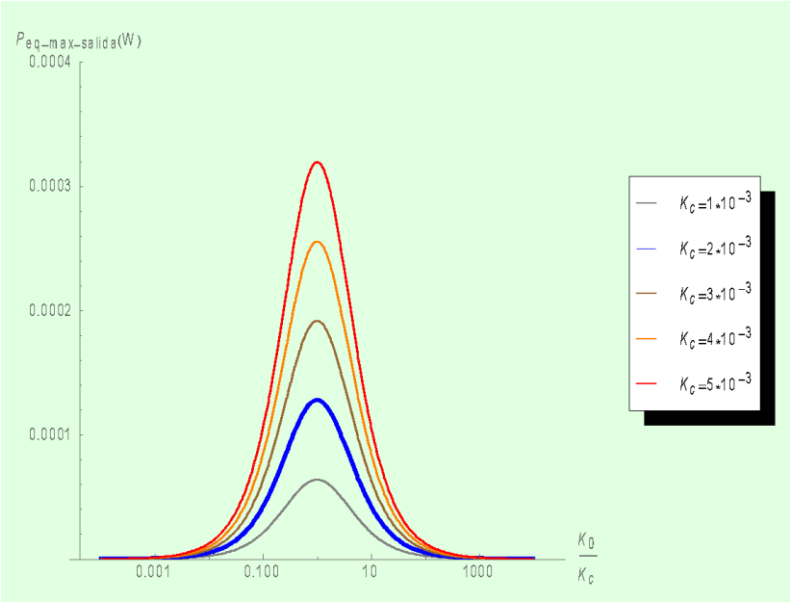

Figura 6. Potencia máxima del GTES como función del cociente K_0/K_C

La gráfica de la Figura 6 muestra un conjunto de curvas de potencia eléctrica para el GTES, en donde se observa que existe un valor específico del cociente ($K_{eq-I=0}/K_C$) en el cual todas alcanzan su valor más alto, y que es el mismo para todas independientemente del valor de Kc, al aplicar la búsqueda de máximos, se ha determinado que ese valor específico es,

$$\frac{K_{eq-I=0}}{K_C} = 0.99 \qquad (5)$$

Es decir, aproximadamente 1.

4. DISCUSIÓN

La gráfica de la Figura 3 comprueba que la regla de la igualdad entre la conductancia térmica de contacto y la conductancia térmica del generador termoeléctrico se cumple para el sistema de un generador termoeléctrico segmentado. Es importante mencionar que este resultado se ha obtenido con apoyo de la formulación de las cantidades equivalentes. Por tanto, resulta relevante reconocer la utilidad de este resultado ya que permite avanzar en el diseño de sistemas termoeléctricos para generación de potencia, ahorrando tiempo e incluso costo al momento de seleccionar los intercambiadores de calor correctos. Otro caso que se inspeccionó lo muestra la Figura 4 que fue obtenida en función del cociente de las conductancias térmicas de los dos segmentos que componen al dispositivo en la condición de contactos térmicos ideales, es notable el incremento del valor de la máxima potencia y aunque pudiera pensarse que el máximo de potencia equivalente ideal aumenta de forma indefinida conforme aumenta el cociente $\frac{K_2}{K_1}$. La Figura 5 ayuda a comprobar por medio de su comportamiento asintótico que existe un límite que es el máximo ideal que alcanzaría el sistema si sus deficiencias fueran eliminadas. Específicamente para los dos materiales utilizados como los segmentos (PbTe y SiGe) se determinó una relación de $K_2 = 10\ K_1$. Finalmente, la gráfica de la Figura 6 muestra que al hacer variaciones de la potencia en función del cociente $\frac{K_0}{K_C}$ para distintos valores de Kc, todas las curvas alcanzan su valor máximo en el mismo punto, $\frac{K_0}{K_C} = 0.99$, es decir cuando K_0 es igual K_c.

5. CONCLUSIONES

Desarrollar sistemas que logren un mayor rendimiento es uno de los grandes hitos de la termoelectricidad, a diferencia de los sistemas convencionales de generación de energía, los generadores termoeléctricos aún representan un desafío y han creado un área de oportunidad que merece la pena explorar ya que hay mucho que hacer a nivel de investigación de frontera, innovación y aplicaciones. Como se ha mostrado en este trabajo, la temperatura es un parámetro sustantivo en el funcionamiento de un TEG, para cada material termoeléctrico existe un rango específico de temperatura en el cual alcanza su máximo rendimiento (cuantificado por la figura de mérito). Considerando este aspecto físico, la termocupla segmentada fue el modelo estudiado en este trabajo, este sistema aún se encuentra sometido a estudios y nuevas investigaciones, como se puede consultar en el trabajo [1]. Aunque la metodología planteada se puede aplicar sin problemas para el análisis de un TEG convencional, su alcance se ha enfocado para el análisis del rendimiento de legs segmentadas abordando parte de la complejidad que esta estructura implica.

Los resultados presentados son una primera contribución para el estudio de la potencia eléctrica de los generadores termoeléctricos. La ecuación (3) representa un primer avance, porque permite analizar el comportamiento de la potencia eléctrica equivalente de un generador termoeléctrico segmentado; tomando en cuenta el efecto de la conductancia térmica de contacto producida por los intercambiadores de calor unidos al sistema, y que son los responsables de la transferencia de calor entre el generador y su ambiente. También tiene importancia comentar que con el análisis del caso ideal (en el que no se toman en cuenta los intercambiadores de calor) se obtuvo el límite de potencia máxima que puede alcanzar el sistema, este resultado sirve para comprobar la consistencia del resultado que puede producir la ecuación (3), ya que, en caso de obtener un valor más alto, entonces índica que se está cometiendo un error en los cálculos.

Finalmente ha sido posible concluir que los resultados mostrados por las Figuras 3 y 6 son consistentes con los obtenidos por los autores de [15]. Una característica destacable de esta regla que se debe cumplir para las conductancias térmica de contacto y del generador es que no depende de la geometría de los intercambiadores o de la superficie del módulo.

Uno de los primeros avances que se pretende alcanzar a corto plazo con esta metodología es evaluar el rendimiento de termocuplas compuestas por tres segmentos y a largo plazo sería explorar si tiene sentido físico hacer una generalización de la ecuación (3) para aplicarla en una termocupla de N segmentos.

REFERENCIAS

[1] T. Hendricks, T. Caillat y T. Mori , «Keynote Review of Latest Advances in Thermoelectric Generation Materials, Devices, and Technologies 2022,» *Energies,* vol. 15, nº 19, 2022.

[2] G. Qin, Thermoelectricity - Recent Advances, New Perspectives and Applications, IntechOpen, 2022.

[3] J. J. Gutiérrez Moreno, J. Cao, M. Fronzi y . M. H. N. Assadi5, «A review of recent progress in thermoelectric materials,» *Materials for Renewable and Sustainable Energy,* vol. 9, nº 16, pp. 1-22, 2020.

[4] Materials for the Energy Transition, series, «THERMOELECTRIC ENERGY CONVERSION MATERIALS,» The Henry Royce Institute, Reino Unido, 2020.

[5] D. Charris , D. Gomez , A. Rincon Ortega , M. Carmona y P. Mauricio , «A Thermoelectric Energy Harvesting Scheme with Passive Cooling for Outdoor IoT Sensors,» *Energies,* vol. 13, nº 11, 2020.

[6] N. K. Karri y M. Changki, «Reliable Thermoelectric Module Design under Opposing Requirements from Structural and Thermoelectric Considerations,» *Journal of Electronic Materials,* vol. 47, nº 6, pp. 1-17, 2017.

[7] L. Song, Q. Zuoqin , . H. Dengyun, X. Li y W. He , «A Comprehensive Review of Strategies and Approaches for Enhancing the Performance of Thermoelectric Module,» *Energies,* vol. 13, pp. 1-24, 2020.

[8] C. GOULD y N. SHAMMAS, «Three Dimensional TCAD Simulation of a Thermoelectric Module Suitable for Use in a Thermoelectric Energy Harvesting System,» de *Small-Scale Energy Harvesting*, Francia, IntechOpen, 2012.

[9] B. Beltrán-Pitarch, F. Vidan y J. García-Cañadas, «Thermal contact resistance evaluation of a thermoelectric system by means of three I-V curves,» *International Journal of Heat and Mass Transfer,* vol. 173, 2021.

[10] Y. Apertet, H. Ouerdane, C. Goupil y P. Lecoeur, «Equivalent parameters for series thermoelectrics,» *Energy Conversion and Management,* vol. 93, pp. 160 - 165, 2015.

[11] M. Amine Zoui, S. Bentouba, J. G. Stocholm y M. Bourouis, «A Review on Thermoelectric Generators: Progress and Applications,» *Energies,* vol. 13, 2020.

[12] D. Astrain y Á. Martínez , Heat Exchangers for Thermoelectric Devices, Croacia: InTech, 2012.

[13] W. Li, M. Paul, J. Siviter, A. Montecucco, A. Knox, T. Sweet, G. Min, H. Baig, T. Mallick, G. Han, D. Gregory, F. Azough y R. Free, «Thermal performance of two heat exchangers for thermoelectric generators,» *Case StudiesinThermalEngineering,* vol. 8, pp. 164 - 175, 2016.

[14] B. Erdogan, K. Duran y İ. Zengin, «Experimental and Numerical Analysis of Using Thermoelectric Generator Modules on Hexagonal Exhaust Heat Exchanger,» *Karaelmas Science and Engineering Journal,* vol. 11, nº 1, pp. 54-60, 2021.

[15] L. Apertet, H. Ouerdane, O. Glavatskaya, C. Goupil y P. Lecoeur, «Optimal working conditions for thermoelectric generators with realistic thermal coupling,» *Europhysics Letters,* vol. 97, nº 2, 2012.

[16] T. Caillat, J. Fleurial, G. Snyder, A. Zoltan, D. Zoltan y A. Borshchevsky, «A New High Efficiency Segmented Thermoelectric,» *Energy Conversion Engineering Conference,* vol. 34, 1999.

[17] A. V. Almeida, M. Á. Olivares Robles y P. Camacho Medina, «Thermoelectric System in Different Thermal and Electrical Configurations: Its Impact in the Figure of Merit,» *Entropy,* vol. 15, nº 6, pp. 2162-2180, 2013.

[18] Y. Apertet, H. Ouerdane, C. Goupil y P. Lecoeur, «Influence of thermal environment on optimal working conditions of thermoelectric,» *Journal of Applied Physics,* vol. 116, nº 144901, 2014.

[19] A. V. Almeida, M. A. Olivares Robles y L. F. Méndez, «Performance of a Composite Thermoelectric Generator with Different Arrangements of SiGe, BiTe and PbTe under Different Configurations,» *Entropy,* vol. 17, nº 11, pp. 7387-7405, 2015.

[20] T. Hendricks, T. Caillat y T. Mori, «Keynote Review of Latest Advances in Thermoelectric Generation Materials, Devices, and Technologies 2022,» *Energies,* vol. 15, nº 19, 2022.

Copyright (2023) © Alexander Vargas Almeida, Miguel Ángel Olivares Robles, Mariloli Vargas Almeida.
Este texto está protegido bajo una licencia internacional Creative Commons 4.0. Usted es libre para compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato. También podrá adaptar: remezclar, transformar y construir sobre el material.
Ver resumen de la licencia.