

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), marzo-abril 2026,
Volumen 10, Número 2.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i2

MICROGENERACIÓN ELÉCTRICA CON UNA CELDA TERMOGENERADORA OPTIMIZADA

**MICROGENERATION OF ELECTRICITY WITH AN
OPTIMIZED THERMAL GENERATOR CELL**

Christian Ramón Covarrubias Constantino
Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 44

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i2.23738

Microgeneración eléctrica con una celda termogeneradora optimizada

Christian Ramón Covarrubias Constantino¹

christiancovac@gmail.com

<http://orcid.org/0000-0003-1085-1303>

Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria y Ciencias del Mar (DGETAyCM)
Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 44 (CBTA 44)
Chiapas, México

RESUMEN

Este trabajo propone un diseño de aplicación para convertir la energía térmica en energía eléctrica, con una célula termogeneradora optimizada (TEG). La conversión se basa en el efecto Seebeck, con una configuración electrónica que genera alrededor de 3.3W; el prototipo de pequeña escala y baja temperatura trabaja a partir de la recuperación del calor residual de una fuente térmica, que mediante un tubo de metal del lado caliente de TEG, recupera el calor por radiación, y del lado frío un intercambiador de calor tipo carcasa, que mantiene el flujo del refrigerante con el efecto termosifón, provocando la caída necesaria de temperatura para el funcionamiento del sistema de microgeneración eléctrica (∇T).

Palabras clave: Efecto Seebeck, termogenerador, microgeneración eléctrica

¹ Autor principal

Correspondencia: christiancovac@gmail.com

Microgeneration of Electricity with an Optimized Thermal Generator Cell

ABSTRACT

This work proposes an application design for converting thermal energy into electrical energy using an optimized thermal generator cell (TGC). The conversion is based on the Seebeck effect, with an electronic configuration that generates approximately 3.3 W. The small-scale, low-temperature prototype operates by recovering waste heat from a thermal source. A metal tube on the hot side of the TGC recovers heat through radiation, while a shell-type heat exchanger on the cold side maintains the coolant flow using the thermosiphon effect, causing the necessary temperature drop (ΔT) for the operation of the microgeneration system.

Keywords: Seebeck effect, thermal generator, microgeneration of electricity

*Artículo recibido 28 marzo 2026
Aceptado para publicación: 28 abril 2026*



INTRODUCCIÓN

Los transductores de energía térmica a energía eléctrica son dispositivos que han adquirido una gran importancia, la mayoría de estos termogeneradores utilizan un proceso intermedio en el que el calor se transforma en un tipo de energía mecánica para luego generar electricidad, y dependen mayormente de su utilidad, eficiencia y costo, esta tecnología podría significar una alternativa útil; la microgeneración ofrece su utilización convenientemente donde no existe o hay insuficiente acceso a la electricidad.

El dispositivo genera un microvoltaje por grados de diferencia, debido a que los electrones son excitados a niveles energéticos dependiendo del material, provocando una diferencia de potencial en la unión de estos, creando una microcorriente, en el efecto Seebeck la FEM termoeléctrica se crea en presencia de una diferencia de temperaturas entre dos metales o semiconductores diferentes, lo que ocasiona una corriente continua en un circuito completo, a diferencia del efecto Peltier que al aplicar corriente eléctrica se genera diferencia de temperaturas [1].

El efecto Peltier se ha aplicado ampliamente para fabricar equipos termoeléctricos de refrigeración (TEC) [2-3]. Sin embargo, resulta inevitable relacionarlo en el proceso inherentemente de conversión termoeléctrica. En revisiones sobre esta tecnología, se prevé que una de las mayores fuentes de energía térmica disponibles en las zonas rurales, es la biomasa, que se encuentra en forma de residuos vegetales y animales, por ello la cogeneración de energía eléctrica sigue siendo una de las formas de utilizar el calor, a partir de la producción de alimentos [4].

El acceso de diferentes dispositivos capaces de utilizar el fenómeno termoeléctrico, lo demuestra el módulo TEC1-12706 en el diseño de sistemas de transferencia de calor [5]. La tecnología termoeléctrica puede convertir el calor en electricidad por el efecto Seebeck, pero no desapercibir el efecto Peltier, que en calor convectivo con agua, a medida que la temperatura del lado caliente aumenta de 67°C a 185°C, la relación entre la resistencia a la carga y la resistencia interna aumenta de 1.2 a 1.307 la potencia de salida máxima [6].

El generador termoeléctrico (TEG) puede utilizar energía térmica para generar electricidad directamente siempre y cuando haya una diferencia de temperatura [7]. Por lo tanto, se considera como una tecnología verde y renovable y se ha demostrado que tiene grandes perspectivas de aplicación en el área de la



generación de energía solar térmica [8-9], la utilización de la energía geotérmica [10,11] y la recuperación de calor residual [12,13]. Los TEG tiene muchas ventajas tales como: que no generan ruido, no tienen piezas móviles, no actúan con reacciones químicas, mantenimiento conveniente, larga vida útil y demás beneficios [14,15]. Sin embargo, los altos costos de fabricación y la baja eficiencia en la conversión limitan seriamente el desarrollo más amplio de los TEG [16,17].

Esta propuesta de aplicación puede ser aprovechada para la carga de pequeños dispositivos electrónicos de uso cotidiano, como: reproductores de sonido, altavoces bluetooth, cámaras pequeñas, celulares, radiofonía, drones semiprofesionales, entre otros, estos termogeneradores son susceptibles a sufrir deterioros por condiciones ambientales en las zonas donde son instaladas, además de tomar en cuenta de su intermitencia.

Este diseño surge para su adaptación en una estufa de fabricación interna que funciona con biomasa, utilizando una celda termogeneradora optimizada para la generación eléctrica, la originalidad de este trabajo, sin embargo, consiste en la aplicación de una celda optimizada para la generación eléctrica (TEG) a partir de la fuente térmica, en la configuración de elementos electrónicos del dispositivo para almacenar y entregar la energía eléctrica, en el uso de un intercambiador de calor de aluminio con una circulación del fluido refrigerante por el efecto termosifón para lograr el delta en las temperaturas entre las 2 caras de la celda y en el diseño del recolector de calor de la fuente térmica al foco caliente (fc).

La ventaja de ésta configuración propuesta es, que se puede elegir el fluido de enfriamiento, además, se puede ampliar el poder de generación, aumentando numéricamente y geométricamente el dispositivo, considerando el calor residual de la fuente. Se han realizado trabajos para optimizar la estructura geométrica de los termoelementos y maximizar la potencia de salida con el menor número posible de materiales termoeléctricos [18,19]

En los análisis cuantitativos del rendimiento de los sistemas de refrigeración para disipar el calor generado por los componentes de las celdas termogeneradoras, con el fin de limitar su temperatura máxima de funcionamiento, se mide la temperatura y eficiencia eléctrica, los componentes activos enfriados con una placa fría líquida y pasivos enfriados con un flujo de aire [20].



METODOLOGÍA

Modelo teórico

Para validar el diseño del dispositivo, se construyó una cara lateral de una estufa, instalando una entrada de USB para entregar la energía eléctrica (fig. 1); entre la pared de la cámara de combustión y la pared externa se encuentra la parte aislante de la fuente térmica (estufa), para la instalación del dispositivo, facilitado la manipulación de los elementos del TEG y reproducir su actividad de generación a diferentes temperaturas, además, para determinar su eficiencia y validar el sitio de instalación más seguro y aprovechable (fig. 2).

El microgenerador se compone de una celda optimizada SP1848-27145-SA; la parte de admisión de calor se construye de una placa de lámina de cédula 0.8 mm y un tubo de acero de 3/4 plg y de 20 cm de largo, como colector de calor, el cual, transfiere el calor por radiación, desde la cámara de combustión, con un ángulo descendente de 30° para proteger de sobrecalentamiento al dispositivo; del otro lado de la celda el bloque de aluminio (intercambiador) con refrigerante líquido, compuesto de un tubo flexible conectado por coples de cobre, por donde fluirá por el efecto termosifón dentro del sistema; la celda termogeneradora está conectada al circuito electrónico representado en el diagrama TEG (fig. 1).

Teóricamente la celda termogeneradora necesita una diferencia de 80°C para poder producir el suficiente caída térmica hacia el circuito eléctrico de control del sistema, para la generación de una carga estimada de 3.6V y 558 mA, la cual, dependerá del suministro de calor y de la capacidad del dispositivo en producir un gradiente térmico para generar esta potencia eléctrica, es decir, esto dependerá del calor suministrado y de capacidad de la celda y del sistema, de ocasionar esta diferencia de temperaturas (tabla 1).

Tabla 1

ΔT	<i>Voltaje</i>	<i>microAmp.</i>
20°C	0.97 V	225 mA
40°C	1.8 V	368 mA
60°C	2.4 V	469 mA
80°C	3.6 V	558 mA
100°C	4.8 V	669 mA

Si la temperatura de ambos lados de TEG se mantiene constante, la eficiencia de salida de TEG se puede obtener con las siguientes ecuaciones [21].

$$U_o = I \times R_L = \frac{U_{oc}}{R_{TEG} - R_L} \times R_L \quad (1)$$

$$P_{OUT} = \left(\frac{U_{oc}}{R_{TEG} - R_L} \right)^2 \times R_L \quad (2)$$

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{P_{out}}{Q_1} \quad (3)$$

Donde U_o , P_{out} y η representan el voltaje de salida, la potencia de salida y la eficiencia de conversión; R_{TEG} y R_L representan la resistencia interna de TEG y la resistencia a la carga, respectivamente. El R_{TEG} se puede obtener con el voltaje de circuito abierto y la corriente de cortocircuito:

$$R_{TEG} = \frac{U_{oc}}{I_{sc}} \quad (4)$$

Además, el R_{TEG} se ve afectado por la temperatura del TEG debido a las propiedades del material dependiente de la temperatura de los termoelementos. La temperatura de funcionamiento de TEG se puede expresar como:

$$\bar{T} = \frac{T_h + T_c}{2} \quad (5)$$

Siendo \bar{T} una temperatura ciclica promedio. Además, se muestra en la literatura [22], que se establece un nuevo parámetro (M) que representa la relación de R_L a R_{TEG} . Cuando R_L es igual a R_{TEG} ($M = 1$), la potencia máxima de salida puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$P_{max} = \frac{U_{oc}^2}{4R_{TEG}} \quad (6)$$

La potencia máxima de salida es a partir del rendimiento de salida de la batería y solo es adecuada cuando la temperatura de funcionamiento es constante. Además, en el proceso de operación del TEG, la corriente afecta el flujo de calor a través del TEG, lo que varia la temperatura de funcionamiento y con ello el rendimiento de salida del TEG, la condición de transferencia de calor del lado frío de TEG es igual a la transferencia de calor convectivo y el balance térmico puede ser con la ecuación (15).

$$Q_2 = hA(T_c - T_w) \quad (7)$$

Donde: h y T_w es el coeficiente de transferencia de calor convectivo y la temperatura del agua del sistema de refrigeración y A es el área de transferencia de calor. En un estudio preliminar se encontró que el punto de salida óptimo del TEG no se obtuvo cuando las condiciones se fijan el límite de transferencia

de calor [23]. Estudios demostraron que el punto de salida óptimo se obtuvo bajo el límite de transferencia de calor fijo $M > 1$ [24,25].

Configuración experimental

La parte electrónica está establecida por un módulo de carga TP4056, de una sola celda, con los siguientes datos de construcción: presión de carga 1.5%, Voltaje de entrada de 5V, Voltaje de carga full 4.2V, temperatura de trabajo -10° a 85°C , sin polaridad inversa y dimensiones de 25x19x10 mm, para carga de una batería de litio tipo lipo de 3.5V - 1000mAh (3.7Wh), con una capacidad nominal de 1000 mAh, Voltaje de carga de 5 V, temperatura de carga 0°C a $+45^{\circ}\text{C}$, de descarga -20° a $+65^{\circ}\text{C}$ y de almacenamiento de -20°C a $+45^{\circ}\text{C}$, circuito integrado con protección de corto circuito, sobrecarga, descarga, vibraciones y altas temperaturas, que ofrece 1 amp de corriente de carga y corte de corriente cuando la carga esta completa.

En la parte del circuito se utiliza un Boost de USB de 1 amp de salida máxima, con voltaje de entrada de 2.5 a 6 V, y un voltaje de salida de 4 a 12 V. El gradiente de temperatura (∇T) impacta significativamente en la generación eléctrica, por ello se utiliza un intercambiador de calor tipo carcasa de aluminio con dimensiones: 40x40x12 mm, como aislamiento entre la parte caliente (f_c) y la parte fría (f_f) (fig. 1).

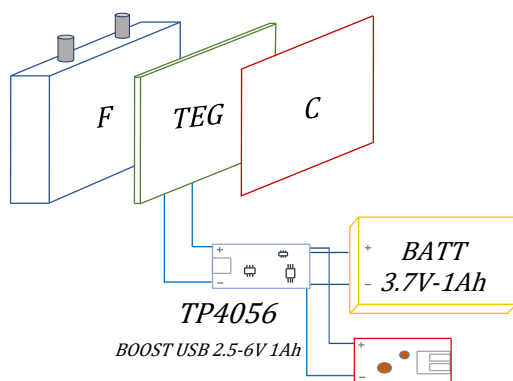


Fig.1. Esquema cualitativo del dispositivo TEG.

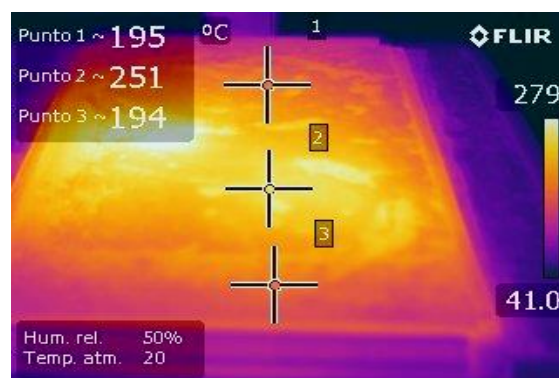


Fig. 2. Temperaturas en la cámara de combustión

En la configuración experimental, se induce la temperatura de trabajo del sistema y se localizó el sitio óptimo de instalación del TEG, donde el perfil de calor es más estable, no obstante, resulta complejo

mantener una temperatura constante a través del TEG en aplicaciones prácticas [24]. En el caso de una estufa de leña, donde las temperaturas varían, las mediciones se realizaron y monitorearon con un termómetro FLIR E-60. (fig. 2).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La configuración del prototipo, inicialmente pensada para su instalación en una estufa de leña, se analizó con las condiciones de frontera, donde se validó el modelo de microgeneración eléctrica, funcionó a temperatura baja con capacidad de generación; para este análisis se indujo la temperatura en el foco caliente (f_c) a una temperatura en el rango de los 60-200°C; la eficiencia térmica del dispositivo se determina con la relación entre la energía eléctrica generada y la cantidad de calor recibida [26], la cámara térmica inevitablemente crea una distribución desigual del flujo de calor, que afecta significativamente el rendimiento del TEG [27].

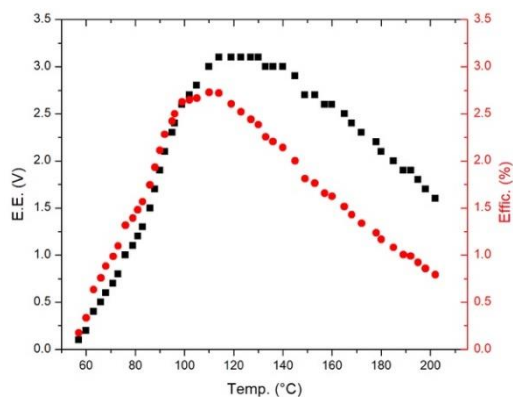


Fig. 3. Valores de salida enfriado con Refrigerante

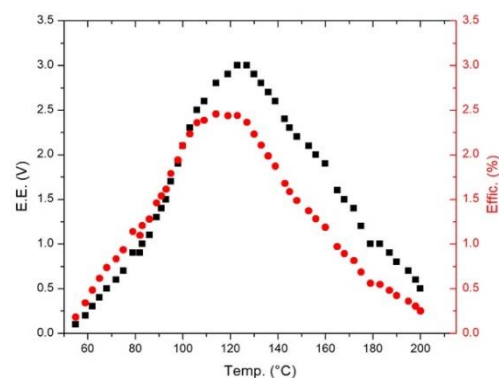


Fig. 4. Valores de salida enfriado con Agua

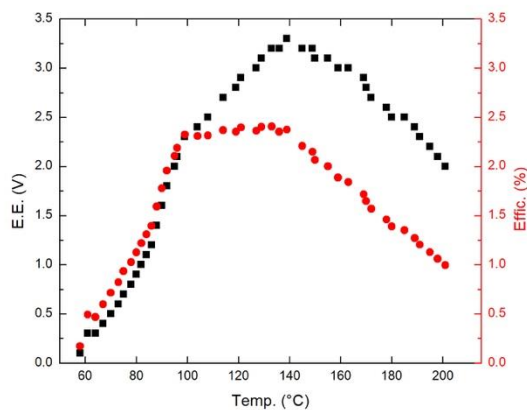


Fig. 5. Valores de salida enfriado con Refrigerante-aire

En el experimento, el foco frío (f_r) se enfría a través de una transferencia de calor convectiva con 3 propuestas: refrigerante, agua y refrigerante-aire; la diferencia de temperaturas entre las dos caras, comparando valores teóricos y reales. El voltaje del circuito muestra un aumento hasta un cierto punto máximo, lo que concluye que el flujo en el intercambiador de calor con los diferentes fluidos beneficia al sistema, el efecto termosifón en fluidos líquidos y la inducción de aire mejora la transferencia convectiva del calor, y con ello, generar mayor energía eléctrica.

Sin embargo, el aumento del flujo de refrigeración alcanza un límite en el enfriamiento del sistema, esto debido a que la temperatura de enfriamiento aumenta en medida que aumenta la temperatura del dispositivo del lado caliente, tratando de mantener el equilibrio energético, por ello, la temperatura del líquido de refrigeración y el coeficiente de transferencia de calor convectivo se estiman invariables. Para garantizar un mejor efecto de enfriamiento con mínimo consumo de energía, donde la conductividad eléctrica de los termoelementos de tipo P y N se ve afectada por la temperatura, el caudal del fluido de enfriamiento en el dispositivo se podría aumentar, para una investigación futura.

La variación de la conductividad eléctrica provoca una resistencia dentro del termogenerador, lo que afecta directamente la salida del Voltaje, la temperatura del lado frío aumenta ligeramente cuando aumenta la temperatura del lado caliente, por el contrario, la temperatura de funcionamiento es casi proporcional a la temperatura del lado caliente. Se puede explicar que la reducción de la diferencia de temperatura causada por el efecto Peltier disminuye el voltaje, entonces, la potencia de salida real disminuye recíprocamente con esta diferencia de temperaturas, también, la eficiencia de conversión aumenta inicialmente y luego disminuye lentamente con el aumento de la temperatura, cuando ésta es de 114°C en el foco caliente, con una refrigeración con refrigerante líquido, su eficiencia de conversión real alcanza su máximo (2.72%) con un voltaje de salida de 3.1V (fig. 3).

Cuando el dispositivo es enfriado con agua, a 123°C , su eficiencia de conversión real alcanza un máximo (2.44%) con un voltaje de salida de 3V (fig. 4), y aplicando un enfriamiento con refrigerante, junto a una ventilación inducida con un pequeño ventilador de 1W, el dispositivo a una temperatura de 139°C alcanza una eficiencia real máxima de conversión (2.37%) con un voltaje real de salida de 3.3V (fig. 5). Este experimento demuestra que la mayor generación de energía eléctrica (E.E), se produce con un enfriamiento del dispositivo con refrigerante-aire, generando un Voltaje de 3.3V, en cambio, la mayor

eficiencia de conversión real máxima (2.71%) se ocasiona cuando el dispositivo es refrigerado solo con refrigerante líquido, generando un Voltaje de 3.1V.

Se muestra la potencia de salida real con diferentes refrigerantes (fig. 6) y las eficiencias de conversión real máxima (fig. 7), el análisis del trabajo tiene un interés importante en el efecto del flujo de calor del lado frío, aumenta con la reducción del flujo de calor. El calor adicional provocará un aumento de la temperatura en el sistema, así mismo, por el coeficiente de transferencia de calor convectivo, la temperatura de refrigeración y el área de transferencia de calor se mantienen constante, cuando la temperatura del lado frío aumenta, reduciendo la diferencia de temperaturas, lo cual, afecta al voltaje.

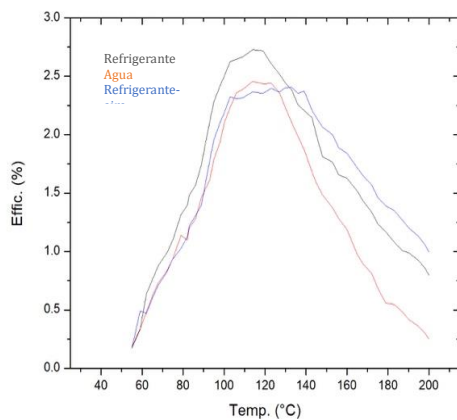


Fig. 7. Eficiencias con los diferentes fluidos de refrigeración

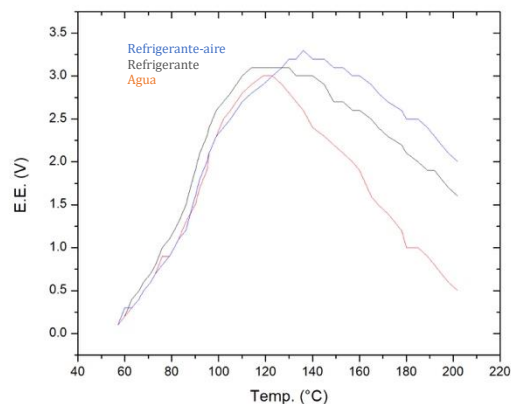


Fig. 6. Voltaje con los diferentes fluidos de refrigeración

Las curvas de voltaje se obtienen mediante la medición a la salida del dispositivo y las eficiencias se calculan con la Eq. (3). El voltaje de salida aumentan con la temperatura del lado caliente hasta un punto crítico, mientras la temperatura del lado caliente aumente, el coeficiente del TEG y la diferencia de temperatura también aumentarán, consecuentemente, el voltaje se verá directamente afectado cuando aumente la temperatura del lado caliente, por esto, el valor real de voltaje medido en el experimento no es igual al valor de teórico.

Se puede explicar que el voltaje de salida disminuyen por el efecto Peltier y el sobrecalentamiento del dispositivo (f_r) (fig. 6), siendo más efectivo el refrigerante-aire, donde la eficiencia disminuye en relación con el experimento enfriado con refrigerante líquido, además, la potencia de salida real es menor que la teórica en todos los casos, lo mismo con las eficiencias, que varían con respecto a los diferentes fluidos.

CONCLUSIONES

Este trabajo propone un prototipo para microgeneración eléctrica, demostrando que prácticamente se puede generar energía eléctrica, a partir de las emisiones de calor residual de una fuente térmica arbitraria, para su aprovechamiento y solución de necesidades básicas de energía eléctrica, aportando opciones para suavizar las estadísticas de pobreza energética en las poblaciones, definiendo el punto adecuado de inserción de ésta tecnología, así mismo, se estableció que la temperatura del lado caliente, aumenta la tasa de flujo de refrigeración e inicia la transferencia de calor del lado frío, aumentando a la vez el voltaje de circuito.

Sin embargo, el flujo de refrigeración servible varía entre los 120 °C y 140 °C. Cuando la condición de transferencia de calor del lado frío no es estable, la temperatura del foco frío aumenta, debido al efecto Peltier, que afecta directamente la diferencia de temperaturas y en consecuencia, la generación de energía eléctrica y la eficiencia de conversión será menor que los valores teóricos, aún utilizando refrigerantes, el dispositivo presenta una incertidumbre en el enfriamiento.

Las posibles mejoras a futuro de este sistema son: que el subsistema de enfriamiento, como la parte más crítica del sistema, se necesita que sea lo suficientemente capaz de enfriar durante el tiempo que el dispositivo se mantiene activo, mejorado su capacidad de lograr un delta de temperatura constante (∇T), con ésto, estimular una mayor producción de energía eléctrica. Construir el prototipo proporcional térmicamente y más amplio geométricamente; los antecedentes demuestran el uso de refrigerantes líquidos para mejorar la eficiencia.

Ésta propuesta de un dispositivo de microgeneración eléctrica, resulta ser significativo para continuar con los estudios y construcción de diferentes termogeneradores, con materiales y tecnologías existentes, finalmente, el dispositivo elegido resulta viable, para su instalación en fuentes térmicas como: estufas de leña, utilizadas en su mayoría en comunidades marginadas del país, se concluye que el registro de caída de temperaturas es afectada por el tamaño del dispositivo y utilizando un sistema alternativo de enfriamiento forzado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- Astrain D, Vián JG, Albizua J. Computational model for refrigerators based on Peltier effect application. *Appl Therm Eng* 2005;25(17–18):3149–62.



- 2- Zhu L, Tan H, Yu J. Analysis on optimal heat exchanger size of thermoelectric cooler for electronic cooling applications. *Energy Convers Manage* 2013;76:685–90.
- 3- Lin X, Mo S, Jia L, et al. Experimental study and Taguchi analysis on LED cooling by thermoelectric cooler integrated with microchannel heat sink. *Appl Energy* 2019;242:232–8.
- 4- Angelica Buzinaro Avaci, Samuel Nelson, Melegari de Souza, Ivan Werncke; Financial economic scenario for the microgeneration of electric energy from swine culture-originated biogas; Volume 25, September 2013.
- 5- Alias Sonnet T. Eldho, Jacob Thampi Paul, Kurian John, Joseph Jose Brijesh Paul; Design and analysis of a smart-attachment to jacket and helmet used by two-wheeler riders using Peltier-module; <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.718>
- 6- Jun Wang, Peiguo Cao, Xingjun, Xiangxiang Song, Chuang Zhao, Lei Zhu; Experimental study on the influence of Peltier effect on the output performance of thermoelectric generator and deviation of maximum power point; Volume 200, 15 November 2019, 112074.
- 7- Liao M, He Z, Jiang C, et al. A three-dimensional model for thermoelectric generator and the influence of Peltier effect on the performance and heat transfer. *Appl Therm Eng* 2018;133:493–500.
- 8- Li G, Zhang G, He W, et al. Performance analysis on a solar concentrating thermoelectric generator using the micro-channel heat pipe array. *Energy Convers*
- 9- Kraemer D, Poudel B, Feng HP, et al. High-performance flat-panel solar thermo- electric generators with high thermal concentration. *Nat Mater* 2011;10(7):532.
- 10- Ahiska R, Mamur H. Design and implementation of a new portable thermoelectric generator for low geothermal temperatures. *IET Renew Power Generator* 2013;7(6):700–6.
- 11- Dell R, Wei CS, Petralia MT, et al. Thermoelectric Powered Security Systems in Iceland Using a Geothermal Steam Pipe as a Heat Source. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings*. 2018;2(8):440.
- 12- Zhao Y, Wang S, Ge M, et al. Performance analysis of automobile exhaust thermo- electric generator system with media fluid. *Energy Convers Manage* 2018;171:427–37.



- 13- Nithyanandam K, Mahajan RL. Evaluation of metal foam based thermoelectric generators for automobile waste heat recovery. *Int J Heat Mass Transf* 2018;122:877–83.
- 14- Fisac M, Villasevil FX, López AM. High-efficiency photovoltaic technology including thermoelectric generation. *J Power Sources* 2014;252:264–9.
- 15- Bell LE. Cooling, heating, generating power, and recovering waste heat with thermoelectric systems. *Science* 2008;321(5895):1457–61.
- 16- Hazama H, Masuoka Y, Suzumura A, et al. Cylindrical thermoelectric generator with water heating system for high solar energy conversion efficiency. *Appl Energy* 2018;226:381–8.
- 17- Kinsella CE, O’Shaughnessy SM, Deasy MJ, et al. Battery charging considerations in small scale electricity generation from a thermoelectric module. *Appl Energy* 2014;114:80–90.
- 18- Wang J, Li Y, Zhao C, et al. An optimization study of structural size of parameterized thermoelectric generator module on performance. *Energy Convers Manage* 2018;160:176–81.
- 19- Wang X, Wang H, Su W, et al. Geometric structural design for lead tellurium thermoelectric power generation application. *Renewable Energy* 2019;141:88–95.
- 20- G.Casano, S.Piva; Experimental investigation of a Peltier cells cooling system for a Switch-Mode Power Supply; *Microelectronics Reliability* Volume 79, December 2017, Pages 426-432.
- 21- He W, Zhang G, Li G, et al. Analysis and discussion on the impact of non-uniform input heat flux on thermoelectric generator array. *Energy Convers Manage* 2015;98:268–74.
- 22- Jun Wang, Peiguo Cao, Xingjun Li, Xiangxiang Song, Chuang Zhao, Lei Zhu, Experimental study on the influence of Peltier effect on the output performance of thermoelectric generator and deviation of maximum power point, *Energy Conversion and Management*, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112074>
- 23- Goldsmid HJ. *Thermoelectric Properties of Metals and Semiconductors*. Berlin Heidelberg: Springer; 2010.
- 24- Torrecilla MC, Montecucco A, Siviter J, et al. Transient response of a thermoelectric generator to load steps under constant heat flux. *Appl Energy* 2018;212:293–303.



- 25- Liao M, He Z, Jiang C, et al. A three-dimensional model for thermoelectric generator and the influence of Peltier effect on the performance and heat transfer. *Appl Therm Eng* 2018;133:493–500.
- 26- StephenLucasSaifulBari, Cooling by Peltier Effect and Active Control Systems to Thermally Manage Operating Temperatures of Electrical Machines (Motors and Generators), <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.100990>
- 27- He W, Zhang G, Li G, et al. Analysis and discussion on the impact of non-uniform input heat flux on thermoelectric generator array. *Energy Convers Manage* 2015;98:268–74.

