



Artículo

Diseño en condiciones ideales de un generador termoeléctrico para aprovechamiento de calor residual en tuberías de agua.

Daniel Trejo-Zamudio ^{1*}, Gissela Álvarez-López ², Saul Segovia-Contador ³, y Erick Ulises Sánchez-Anaya ⁴.

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Ingeniería Industrial., México.

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Ingeniería Industrial., México.

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Ingeniería Industrial., México.

⁴ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Ingeniería Industrial., México.

* Correspondencia: dtrejo@iteshu.edu.mx

Resumen: El presente trabajo tuvo como objetivo diseñar un generador termoeléctrico doméstico capaz de aprovechar el calor residual proveniente de tuberías de agua caliente, particularmente de calentadores solares. La propuesta consiste en una alternativa conceptual eficiente y sustentable para producir electricidad a partir de calor residual. Se aplicó un método de diseño teórico apoyado en cálculos de transferencia de calor y modelado tridimensional mediante software CAD. Se consideraron módulos termoeléctricos Peltier conectados en serie y acoplados a depósitos de agua que funcionan como intercambiadores de calor. Los resultados mostraron un diseño compacto con cuatro celdas, dos depósitos de 335 ml y conexiones adaptables a tuberías domésticas. Esta propuesta optimiza la diferencia térmica entre las caras de los módulos, alcanzando 10.22 V y una corriente de 1.11 A, teóricos. Se concluye que la propuesta es viable, de bajo mantenimiento y representa una opción sustentable para mejorar la eficiencia energética en entornos residenciales.

Keywords: recuperación de calor; energía sostenible; calor residual.

Citar este trabajo: Trejo Zamudio, D.; Álvarez López, G.; Segovia Contador, S.; Sánchez Anaya, E.U. *Diseño en condiciones ideales de un generador termoeléctrico para aprovechamiento de calor residual en tuberías de agua. RELITEC'S 2025, 8va, edición*

Recibido: 29/10/2025

Aceptado: 06/11/2025

Publicado: 20/11/2025

1. Introducción

En la actualidad, el ser humano ha diversificado las fuentes de energía que puede aprovechar para realizar sus actividades cotidianas. Estas fuentes incluyen a las de origen no renovable como el petróleo, el carbón, el gas natural, así como fuentes renovables, como la energía solar, eólica y la biomasa. Sin embargo, uno de los principales problemas asociados al uso de cualquier fuente energética son las pérdidas de energía derivadas de diversos factores. Estos últimos incluyen las pérdidas durante la transmisión de energía desde la zona de producción hasta el consumidor. También, el desaprovechamiento de energía en momentos de alta producción, como en el caso de la energía solar. Y, finalmente, las bajas eficiencias en los dispositivos, en los cuales se desperdicia energía disipada en forma de calor. De acuerdo con estudios estadísticos, más del 60 % de la energía producida a nivel mundial se desperdicia, sobre todo en forma de calor residual [1], [2]. Este calor disipado al ambiente presenta un desafío para científicos y tecnólogos por motivos tanto económicos como ambientales [3], [4].

Una manera de aprovechar el calor residual es transformándolo en energía eléctrica para su uso inmediato o almacenándola para su empleo posterior. Lo anterior, se puede lograr mediante el empleo de materiales termoeléctricos. Estos se definen como materiales

electrónicos los cuales permiten la conversión de temperatura en potencial eléctrico y viceversa [5], [6]. Estos materiales aprovechan el efecto termoeléctrico para la generación de electricidad, medir temperatura, enfriar o calentar objetos [7].

Actualmente, los dispositivos termoeléctricos se emplean en la recuperación de calor en motores de combustión y procesos industriales, en la generación de electricidad en sondas espaciales y en sistemas de refrigeración [7], [8]. Estos sistemas son amigables al medio ambiente ya que no emiten CO₂ en sitio, ni otros residuos tóxicos. Además, son compactos, silenciosos, operan en un amplio intervalo de temperatura, son confiables, requieren poco mantenimiento y tienen una vida útil prolongada [2], [9]–[11].

Para poder emplear el potencial eléctrico generado por un material termoeléctrico, este se debe unir a otro material y cerrar el circuito para mantener el flujo de corriente. Además, un extremo de ambos materiales debe estar en contacto con la fuente de calor, mientras que el otro debe mantenerse a una menor temperatura. Lo anterior debe asegurar una diferencia de temperatura entre extremos opuestos. Este arreglo es conocido como termopar cuando se emplean metales. Sin embargo, la longitud que deben de tener para mantener la diferencia de potencial entre extremos antes de que se igualen las temperaturas es su desventaja. Es por esta razón que se emplean o investigan otros tipos de materiales que puedan ser más compactos y se puedan emplear en módulos [12]. Un módulo o celda termoeléctrica es un dispositivo que está compuesto por una serie de arreglos de contactos tipo-*p* y tipo-*n* [10], [13]. Los pares de arreglos son llamados pares termoeléctricos o *couples* en inglés y, junto con sus conexiones se encuentran encerrados dentro un aislante eléctrico típicamente cerámica [13].

Un generador termoeléctrico es un sistema conformado por estos módulos. Es decir, un grupo de pares conforma un módulo termoeléctrico y un generador es un sistema más extenso que un módulo. En un generador termoeléctrico, los módulos se conectan térmicamente en paralelo con intercambiadores de calor. Lo anterior, facilita la transferencia de calor desde la fuente de calor hasta el lado caliente del módulo y lejos del lado frío [13]. Los módulos se conectan eléctricamente en serie para aprovechar el voltaje generado por cada uno de ellos [13]. Estos sistemas permiten transformar el calor en electricidad utilizable o para almacenarla en baterías, e incluso abastecer dispositivos portátiles o equipos espaciales [3], [7], [14]. En general, los generadores termoeléctricos suelen ser rígidos. Sin embargo, existen también los módulos flexibles, los cuales se producen a partir de materiales poliméricos, nanocomuestos y materiales inorgánicos flexibles en películas delgadas [15].

El presente trabajo propone el diseño conceptual, bajo condiciones ideales, de un generador termoeléctrico. Este tiene como objetivo aprovechar el calor residual de las tomas de agua caliente que entran a un hogar. Y, aprovechar la toma de agua fría para asegurar el gradiente de temperatura entre los extremos de los módulos. A continuación, se muestra la metodología empleada, que incluye los cálculos; los resultados, análisis y conclusiones obtenidas en el trabajo.

2. Materiales y Métodos

Para el diseño del generador termoeléctrico se estableció el equipo o aparato doméstico que emitiría calor residual aprovechable. Se determinó que la mejor opción era un calentador solar de agua, ya que el calor en el líquido se disipa al medio ambiente a través de las tuberías. Lo anterior, especialmente cuando no hay uso continuo del flujo de agua. Por ello, se contempló un diseño adaptable a las tuberías de agua caliente y fría para aprovechar la diferencia de temperatura. De esta manera, se asegura un mayor gradiente de temperatura entre los extremos de los módulos para generar una mayor cantidad de energía. La decisión anterior se fundamentó en que, de acuerdo con la literatura, un calentador solar de tubos puede alcanzar temperaturas cercanas a 90 °C. Además, un buen termotanque no debe perder más de 5° C en 12 horas [16].

Una vez establecido el equipo, se determinó la forma y componentes básicos del generador termoeléctrico. Para ello se consideró como base las tuberías que entran a un hogar de agua caliente y fría. Se decidió emplear cuatro módulos o celdas unidas en serie eléctricamente para no exceder mucho en dimensiones. Además, se incorporaron dos depósitos rectangulares de agua que cumplen la función de intercambiadores de calor entre ambas caras de las celdas.

Posteriormente, se determinaron las dimensiones del generador. Para ello se consideraron celdas comerciales tipo TEC1-12706, con capacidad de 12V y 6 A. Se midieron las celdas con un vernier y se obtuvieron las dimensiones de largo y alto que fueron 4 cm x 4cm. Además, se consideró 1 cm de separación entre módulos y las orillas de los intercambiadores de calor. Al final, se obtuvieron dimensiones rectangulares de 25 cm x 6 cm para las caras de los intercambiadores. El ancho de los depósitos quedó pendiente.

Para establecer la dimensión restante de los depósitos se consideró una estructura de aluminio, con placas en contacto con las celdas de cobre por su alta conductividad térmica. Se contempló un espesor de 2.71 mm para la estructura, ya que es un espesor común en tuberías de cobre domésticas. Además, se consideró que el agua se podría calentar de 25°C (temperatura ambiente aproximada) a 75 °C. Este último valor se tomó como un dato conservador ya que, si bien se pueden alcanzar hasta 90 °C, algunas fuentes indican que lo común está entre 60-70 °C [17]. Con base a ello y considerando una pérdida de 5 °C, fue por lo que se eligió una temperatura de operación de 75 °C. Así, de acuerdo con ley de la conservación de la energía:

$$\text{Energía calorífica cedida por el agua} = \text{Energía calorífica captada por la placa.}$$

Para determinar el calor cedido por el agua se empleó la ecuación (1) de transferencia de calor, que se muestran a continuación:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (1)$$

Donde:

Q = energía térmica transferida (J).

m = cantidad de materia del objeto o sustancia (kg).

c = calor específico, que indica la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 unidad de masa de esa sustancia en 1 grado (J/kg·°C).

ΔT = diferencia de temperatura entre la temperatura final e inicial del objeto o sustancia (°C o K).

Los datos empleados en la formula se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos para el agua.

Propiedad	Valor
Calor específico (c)	4186 J/kg·°C [18]
Densidad (ρ)	1000 kg/m ³ [18]
Diferencia de temperatura (ΔT)	5°C (de 75°C a 70°C)

Para calcular el volumen de agua necesario para calentar la placa de cobre en contacto con las celdas, se determinó la energía absorbida por la placa. La Tabla 2 muestra los valores empleados en este cálculo.

Tabla 2. Datos para la placa de cobre.

Propiedad	Valor
Calor específico (c)	385 J/kg·°C [18]
Densidad (ρ)	8960 kg/m ³ [19]

Diferencia de temperatura (ΔT)	50°C (de 25°C a 75°C)
Dimensiones	25 cm x 6 cm = 150 cm ² = 0.015 m ²
Espesor	2.71 mm = 0.00271 m

En primer lugar, se calculó la masa de la placa. Para ello, se estimó el volumen de esta y se multiplicó por la densidad del cobre, esto mediante las ecuaciones (2) y (3).

$$V_{placaCu} = \text{área} * \text{espesor} \quad (2)$$

$$V_{placaCu} = \text{área} * \text{espesor} = 0.015 \text{ m}^2 * 0.00271 \text{ m} = 4.065 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$m_{placaCu} = V_{placaCu} * \rho_{Cu} \quad (3)$$

$$m_{placaCu} = V_{placaCu} * \rho_{Cu} = 4.065 \times 10^{-5} \text{ m}^3 * 8960 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0.364 \text{ kg}$$

Para conocer la energía térmica o calor que se requiere para calentar la placa, se aplicó el siguiente cálculo, tomando como base la ecuación (2):

$$Q_{placaCu} = m_{Cu} * c_{Cu} * \Delta T = 0.364 \text{ kg} * 385 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}} * 50 \text{ °C} = 7007 \text{ J}$$

Ahora, como la cantidad de calor que se requiere para calentar la placa es la misma que se necesita extraer del agua, se realizó la igualdad:

$$Q_{placaCu} = Q_{H_2O} \quad (4)$$

$$7007 \text{ J} = m_{H_2O} * c_{H_2O} * \Delta T$$

$$7007 \text{ J} = m_{H_2O} * 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}} * 5 \text{ °C}$$

Despejando, quedó:

$$m_{H_2O} = \frac{7007 \text{ J}}{4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}} * 5 \text{ °C}} = 0.335 \text{ kg}$$

Al dividir la masa entre la densidad de agua, se obtuvo:

$$V_{H_2O} = \frac{m}{\rho} = \frac{0.335 \text{ kg}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 3.35 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Convirtiendo a cm³, donde 1 cm³ = 1 ml.

$$3.35 \times 10^{-4} \text{ m}^3 = \frac{1 \times 10^6 \text{ cm}^3}{1 \text{ m}^3} = 335 \text{ cm}^3 = 335 \text{ ml}$$

A partir de este dato se calculó la dimensión faltante del depósito:

$$V_{H_2O} = l * h * a$$

$$335 \text{ cm} = 25 \text{ cm} * 6 \text{ cm} * a$$

$$a \approx 2.23 \text{ cm}$$

Por lo tanto, el ancho estimado del recipiente fue de 2.23 cm. Para el recipiente de agua fría se dejaron las mismas dimensiones, considerando una diferencia térmica de 5 °C.

Con la configuración mencionada de cuatro celdas unidas en serie, se estimó el voltaje teórico del generador. Para ello se empleó la fórmula:

$$V_{módulo} = S_{módulo} \cdot \Delta T \quad (5)$$

Donde:

$V_{módulo}$ = Potencial eléctrico en circuito abierto de cada módulo en voltios (V).

$S_{módulo}$ = Coeficiente de Seebeck del módulo en voltios/Kelvin (V/K).

ΔT = Diferencia de temperatura (K).

Se decidió emplear un dato experimental para el coeficiente de Seebeck de 0.0511 V/K, para este tipo de celda [20]. Y, tomando como referencia la diferencia de temperatura teórica entre las dos caras de la celda de 50°C o 50 K, se obtuvo:

$$V_{módulo} = 0.0511 \frac{V}{K} \cdot 50 K = 2.555 V$$

Sumando el potencial de las cuatro celdas en serie, se obtuvo el potencial eléctrico teórico total del generador:

$$V_{generador} = 2.555 V \times 4 = 10.22 V$$

Por otra parte, para calcular la intensidad de corriente, se empleó la formula:

$$I = \frac{V_{generador}}{R_{generador}} \quad (6)$$

Donde $R_{generador}$ (la resistencia del generador total) fue la suma de la resistencia de cada celda, considerada como 2.30 ohmios (Ω). De esta manera:

$$I = \frac{10.22 V}{(4 \times 2.30 \Omega)} = 1.11 A. \quad (6)$$

Finalmente, el diseño en 3D del generador se detalló en el software de diseño asistido por computadora (CAD) SOLIDWORKS® 2023. Este modelo incluyó los cuatro módulos unidos en serie eléctricamente para sumar sus voltajes. Se incluyeron los depósitos como intercambiadores de calor y se incluyeron conexiones de $\frac{1}{2}$ de pulgada para mangueras o tubería. El dispositivo se diseñó para acoplarse a las llegadas de agua de los calentadores solares que tengan cercana la llegada de agua fría. Por lo tanto, sus aplicaciones potenciales son lavabos, tarjas, lavadoras, regaderas o la salida de agua del propio calentador solar.

3. Resultados

La Tabla 3 resume las características finales del generador termoeléctrico empleadas para su diseño en el software SOLIDWORKS® 2023. El prototipo contempla cuatro celdas tipo TEC1-12706 conectadas en serie, aunque pudiera considerarse dos unidades en serie y formar dos pares unidos en paralelo. Con la configuración anterior se estima una generación de 10.22 V y 1.11 A, aunque son valores aproximados. Los valores anteriores indican que se podría cargar algunas baterías de equipos de bajo consumo. Sin embargo, es una estimación aproximada y sin considerar las resistencias de carga de los dispositivos conectados al prototipo. El generador integra dos depósitos de 335 ml, diseñados para intercambiar el calor entre el flujo de agua de las tuberías y las celdas termoeléctricas. Cada intercambiador incorpora conexiones de $\frac{1}{2}$ pulgada para adaptarse a las tuberías domésticas, como se muestra en la Figura 1.

Tabla 3. Datos del diseño del generador termoeléctrico.

Propiedad	Valor
Número de celdas por generador	4 celdas tipo TEC1-12706
Número de depósitos	2 (1 agua caliente + 1 agua fría)
Dimensiones de depósitos	25 cm x 6 cm x 2.23 cm \approx 335 ml
Tamaño conexiones	$\frac{1}{2}$ pulgadas
Voltaje teórico	10.22 V
Intensidad de corriente	1.11 A

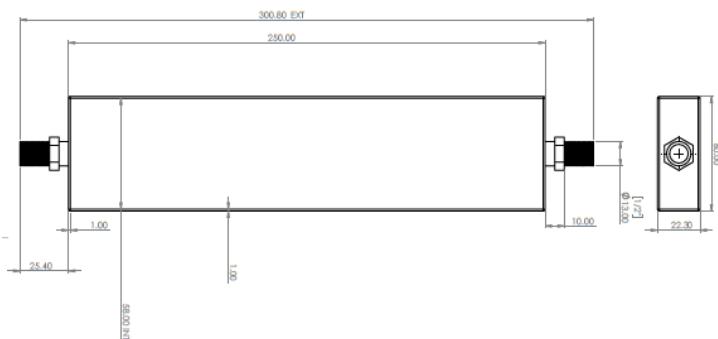


Figura 1. Dimensiones del depósito de agua para intercambiar el calor con las celdas.

La Figura 2 muestra la interconexión de las celdas o módulos en serie para sumar el voltaje generado e incrementar la potencia del generador. Es importante mencionar que una vez construido pudiera hacerse pruebas para realizar conexiones en paralelo para aumentar la corriente generada.

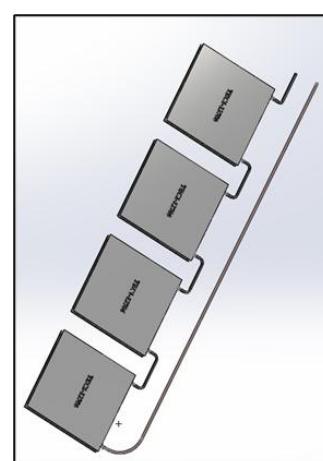


Figura 2. Celdas termoeléctricas conectadas en serie para el generador termoeléctrico.

En la Figura 3 se observa el acoplamiento de las celdas al intercambiador de calor. Lo anterior, con la finalidad de aprovechar el calor de la tubería de agua caliente. Por otro lado, en la cara opuesta se aprovecha la temperatura del agua fría para mantener el mayor gradiente de temperatura posible. Finalmente, la Figura 4 presenta un ejemplo de las tuberías en lavabos, lavadoras, tarjas y regaderas en las cuales se puede integrar el generador termoeléctrico.

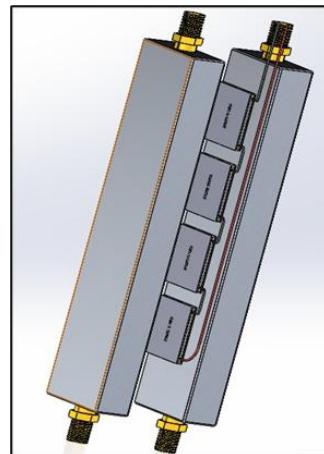


Figura 3. Vista del generador termoeléctrico con intercambiadoras y conexiones.



Figura 4. Ejemplo de suministro de agua caliente y fría para conectar el generador termoeléctrico.

4. Discusión

Los resultados obtenidos permitieron comprobar la viabilidad del diseño de un generador termoeléctrico capaz de aprovechar el calor residual presente en las tuberías de agua de los hogares. La propuesta se fundamenta en la aplicación del efecto Seebeck mediante el uso de módulos termoeléctricos tipo Peltier conectados en serie. Esta configuración permite maximizar el voltaje generado al mantener una diferencia de temperatura estable entre las caras opuestas de los módulos.

El enfoque de este proyecto coincide con trabajos en lo que se destaca la eficiencia y utilidad de los generadores termoeléctricos cuando se combinan con fuentes de calor disponibles [12], [13]. Además, el uso de módulos termoeléctricos tipo Peltier es respaldado por la literatura por sus propiedades favorables en términos de conversión térmica, bajo mantenimiento y facilidad de integración [7]. Asimismo, durante la consulta en material bibliográfico no se encontró un diseño similar al presentado en este trabajo. Algunos diseños experimentales han alcanzado hasta 4.03 V y 0.61 A, con tres celdas y un gradiente de temperatura de 81 °C. Sin embargo, se requiere de un sistema externo de bombeo de agua para mantener el gradiente de temperatura [21].

Las implicaciones de este diseño son relevantes tanto a nivel técnico como social. Por un lado, permite incrementar la eficiencia energética de sistemas domésticos ya instalados. Y por otro, representa una alternativa accesible para promover el uso de tecnologías limpias en el entorno cotidiano. Además, su carácter compacto y silencioso lo hace viable para entornos urbanos y rurales, favoreciendo la descentralización de la generación energética.

5. Conclusiones

Se diseñó un generador termoeléctrico doméstico capaz de aprovechar el calor residual proveniente de un calentador solar de agua para producir energía eléctrica de manera eficiente y limpia. El dispositivo contempla módulos termoeléctricos conectados en serie y acoplados a depósitos de agua caliente y fría que actúan como intercambiadores de calor. La configuración propuesta optimiza la diferencia de temperatura entre las caras de los módulos para maximizar la generación de electricidad.

Durante el proceso se identificó que las tuberías de agua asociadas a calentadores solares representan un entorno adecuado para aprovechar fuentes de calor residual. Con base a ello, se definieron los componentes del generador, incluyendo materiales y dimensiones. Se desarrolló un modelo en 3D considerando su integración con tuberías domésticas existentes provenientes de calentadores solares.

Los resultados obtenidos demostraron la viabilidad de construir un sistema compacto, sin partes móviles, silencioso y de bajo mantenimiento. Su implementación podría reducir la disipación de calor residual al ambiente y mejorar la eficiencia de sistemas instalados. A su vez se pueden generar beneficios ambientales y sociales al promover tecnologías limpias y sostenibles en el entorno doméstico. Sin embargo, es necesaria la construcción del prototipo para evaluar la eficiencia real y realizar mejoras basadas en pruebas experimentales y simulaciones de dinámica de fluidos.

Finalmente, este proyecto representa una alternativa para incrementar la eficiencia energética en entornos domésticos aprovechando recursos que habitualmente se pierden.

Financiamiento: “Esta investigación no recibió financiamiento externo”.

Conflicto de interés: “Los autores declaran no tener conflicto de intereses”.

Referencias

- [1] Fitriani *et al.*, “A review on nanostructures of high-temperature thermoelectric materials for waste heat recovery”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 64, pp. 635–659, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.06.035.
- [2] X. Zhang y L. Zhao, “Thermoelectric materials: Energy conversion between heat and electricity”, *J. Mater.*, vol. 1, núm. 2, pp. 92–105, jun. 2015, doi: 10.1016/j.jmat.2015.01.001.
- [3] P. S. Cornaglia, “En busca del calor perdido: Efecto Seebeck y materiales termoeléctricos”, *Cienc. Hoy*, vol. 160, 2018, [En línea]. Disponible en: <https://cienciahoy.org.ar/en-busca-del-calor-perdido-efecto-seebeck-y-materiales-termoellectricos/>.
- [4] M. R. Amin Bhuiyan, H. Mamur, Ö. Faruk Dilmaç, y M. Ali Üstüner, “Opportunities for thermoelectric generators in supporting a low carbon economy”, *Nanomater. Energy*, vol. 11, pp. 8–26, 2022, doi: <https://doi.org/10.1680/jnaen.22.00033>.
- [5] G. J. Snyder y E. S. Toberer, “Complex thermoelectric materials”, *Nat. Mater.*, vol. 7, núm. 2, pp. 105–114, feb. 2008, doi: 10.1038/nmat2090.
- [6] K. A. Borup *et al.*, “Measuring thermoelectric transport properties of materials”, *Energy Environ. Sci.*, vol. 8, núm. 2, pp. 423–435, 2015, doi: 10.1039/C4EE01320D.
- [7] I. de J. Soní Castro, A. B. López Oyama, y E. Rodríguez González, “La termoeléctricidad: convirtiendo el calor en electricidad”, *Rev. Digit. Univ.*, vol. 22, núm. 4, pp. 1–9, 2021, doi: 10.22201/cuaied.16076079e.2021.22.4.9.
- [8] R. Singh *et al.*, “Advancements in thermoelectric materials for efficient waste heat recovery and renewable energy

- generation", *Hybrid Adv.*, vol. 5, núm. January, p. 100176, 2024, doi: 10.1016/j.hybadv.2024.100176.
- [9] M. Hamid Elsheikh *et al.*, "A review on thermoelectric renewable energy: Principle parameters that affect their performance", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 30, pp. 337–355, feb. 2014, doi: 10.1016/j.rser.2013.10.027.
- [10] J. Wang, Y. Yin, C. Che, y M. Cui, "Research Progress of Thermoelectric Materials — A Review", *Energies*, vol. 18, pp. 1–24, 2025.
- [11] M. A. Zoui, S. Bentouba, J. G. Stocholm, y M. Bourouis, "A Review on Thermoelectric Generators: Progress and Applications", *Energies*, 2020.
- [12] D. Trejo-Zamudio, "Desarrollo y estudio de óxidos de zinc y estaño dopados con Bi, y un calcogenuro ternario de Cu-Sb-S para aplicaciones termoeléctricas", Universidad Autónoma de Querétaro, 2023.
- [13] S. LeBlanc, "Thermoelectric generators: Linking material properties and systems engineering for waste heat recovery applications", *Sustain. Mater. Technol.*, vol. 1, pp. 26–35, 2014, doi: 10.1016/j.susmat.2014.11.002.
- [14] D. Trejo-Zamudio y J. Santos-Cruz, "Materiales termoeléctricos: clave para la cogeneración energética", *ciencia*, pp. 70–76, 2021.
- [15] Y. Du, J. Xu, B. Paul, y P. Eklund, "Flexible thermoelectric materials and devices", *Appl. Mater. Today*, vol. 12, pp. 366–388, 2018, doi: 10.1016/j.apmt.2018.07.004.
- [16] Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, "Calentamiento solar de agua -Componentes principales-", *Acciones y programas*, 2014. <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/calentamiento-solar-de-agua-componentes-principales?state=published>.
- [17] S. R. Park, A. K. Pandey, V. V. Tyagi, y S. K. Tyagi, "Energy and exergy analysis of typical renewable energy systems", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 30, pp. 105–123, feb. 2014, doi: 10.1016/j.rser.2013.09.011.
- [18] R. Chang, *QUÍMICA*, Décima Edi., vol. 1, núm. 1. México: McGraw Hill, 2010.
- [19] LENNTECH, "Cobre-Cu", 2025. <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/cu.htm>.
- [20] A. Muchlis, K. Yogo Utomo, Supriyono, y T. Mulyatano, "Performance analysis of the thermoelectric tec 12706-based cooling system in cooler box design", *Int. J. Sci. Technol.*, vol. 2, núm. 1, pp. 65–72, 2023, doi: doi.org/10.56127/ijst.v2i1.859.
- [21] M. T. Rahman Mitul, N. Mondol, M. N. Reza, S. Roy, y M. N. Islam, "Enhance the efficiency of solar modules and produce electricity from waste heat using thermoelectric generators (TEGs): A comprehensive practical work", *Heliyon*, vol. 11, núm. 5, p. e42869, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42869>.