

# Análisis de obtención de energía eléctrica a través del uso de materiales termoeléctricos

Israel Ibarra Solís, Gómez Domínguez Francisco A, López Ortiz Jonathan

Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería campus Guanajuato, México.

## Resumen

La innovación en la industria automotriz es continua; cada vez se busca tener mejores resultados en todos los ámbitos. Durante mucho tiempo se ha buscado maximizar el funcionamiento de diversas máquinas, los vehículos no son la excepción. El calor forma parte de este desperdicio constante de energía, por lo que se realizó una investigación sobre la forma de aprovecharla. Es por eso que el presente trabajo es encontrar la forma de obtener energía a través del calor no aprovechado en un vehículo, convirtiéndolo en electricidad a través de materiales termoeléctricos y desarrollar el prototipo adecuado que pueda también transformar el calor que recibe del ambiente un vehículo en energía eléctrica y así darle un uso a toda la energía eléctrica aprovechada.

## Abstract

Innovation in the automotive industry is continuous; Every time we seek to have better results in all areas. For a long time, it has been sought to maximize the operation of various machines, vehicles are no exception. Heat is part of this constant waste of energy, so an investigation was carried out on how to take advantage of it. That is why the present work is to find a way to obtain energy through unused heat in a vehicle, converting it into electricity through thermoelectric materials and develop the appropriate prototype that can also transform the heat that a vehicle receives from the environment into electrical energy and thus give use to all the electrical energy used.

**Palabras clave:** Material termoeléctrico, Celda termoeléctrica, Efecto Peltier, termoelectricidad, Efecto Seebeck.

**Keywords:** Thermoelectric material, Thermoelectric cell, Peltier effect, thermoelectricity, Seebeck effect.

## 1. ANTECEDENTES

La propulsión a través de la ayuda de combustibles fósiles es temporal, desde hace algunos años ya se hablaba de empezar a maximizar la energía obtenida e incluso a recurrir a la energía eléctrica. Hoy en día se cuenta ya con cierta variedad de vehículos híbridos y eléctricos, sin embargo, los automóviles a combustión interna siguen siendo parte del día a día, a pesar de contar con una baja eficiencia. Por lo que ha surgido la necesidad inmediata de aprovechar al máximo la energía obtenida a partir de estos motores e incluso del exterior.

## 2. PLANTEAMIENTO

La eficiencia de un motor de combustión interna es baja la cual oscila entre 20%-25% lo demás se convierte en calor, lo cual hace inferir un bajo aprovechamiento del motor. De la misma forma, el exterior forma parte de la incidencia de calor en el automóvil.

Estas situaciones nos llevaron a cuestionarnos el cómo aprovechar el calor de un vehículo. Por lo que a través de materiales termoeléctricos queremos transformar ese calor en energía eléctrica, la cual puede ser usada en casi cualquier cosa en estos tiempos.

### 3. DELIMITACIÓN DE PROYECTO

A través de materiales termoeléctricos ubicados en distintos puntos de un vehículo como las partes más cercanas al sistema de propulsión y/o las zonas donde incide más el calor del ambiente (cofre, toldo), transformaremos la energía calorífica en eléctrica para que ésta sea aprovechada y canalizada.

### 4. DEFINICIÓN EL PROBLEMA

Hoy en día a pesar de la tecnología y el desarrollo que existe podemos encontrar bastantes áreas de oportunidad cuando de un automóvil se trata, por lo que se le podría sacar provecho para así lograr que este sea más sustentable. De manera general, en los vehículos podemos encontrar distintas zonas con concurrencia de energía calorífica, las cuáles pueden ser ventajosas para utilizar un generador termoeléctrico ya que están siendo desperdiciadas. Tenemos como ejemplo el motor de combustión interna, pues su eficiencia ronda entre un 20% y 25%, siendo un 56.5% de eficiencia teórica máxima para un ciclo Otto (ver [8]) por lo que el porcentaje faltante se convierte totalmente en calor. Esto única y específicamente hablando del motor ya que también puede utilizarse el calor que recibe un vehículo, sobre todo en estados del país donde el clima es muy caluroso.

### 5. BENEFICIOS ESPERADOS

Obtención de energía eléctrica a través del calor residido en algunas partes del vehículo, teniendo como fin aprovechar al máximo la energía calorífica y darle un uso. De esta forma en algún futuro, esta energía podría ser suministrada para cualquier sistema sin tener que recurrir al motor, llegando a un ahorro de combustible que se vuelva significativo. Todo reduciéndose a menores costos.

### 6. ESTADO DE LA TÉCNICA

Actualmente no existe un producto similar en funcionamiento o algún tipo de adaptación que se pueda comprar en el mercado, sin embargo, BMW ha empezado ya desde hace algunos años a tratar de implementar este principio en sus vehículos al diseñar un generador termoeléctrico que pueda alimentar las funciones secundarias del vehículo, haciendo que el consumo de combustible se reduzca por lo menos un 5%. Se hicieron pruebas en vehículos obteniendo un máximo de 200W en el año 2008. Posteriormente se lanzó que hasta ahora es la última generación de generadores termoeléctricos que traducía 600W.

En el año 2009 se instaló el generador en el radiador del sistema de recirculación de gas del escape. En esta configuración, las pruebas con los clientes han demostrado que se pueden generar 250 watts mientras que las emisiones de CO<sub>2</sub> y el consumo de combustible se reducen en 2 por ciento al mismo tiempo.

La problemática aparente es el poco voltaje entregado por estos materiales y el costo que se requiere para implementarlos.

También existe una alternativa de producto que es la oferta de vehículos eléctricos que se cargan con la luz solar a través de paneles solares (SONO MOTORS) (ver fig.1) pero este automóvil solo es ofrecido en Europa con un precio de €25,500.00.



Figura 1. Auto Eléctrico SONO

### A. Efecto termoeléctrico

La termoelectricidad (TE) es un fenómeno físico en el cual un gradiente de temperatura se transforma en energía eléctrica y viceversa. Los orígenes de la termoelectricidad se remontan a principios del siglo XIX, cuando en 1822, Thomas Johann Seebeck, físico-médico estonio de origen alemán descubrió uno de los fenómenos termoeléctricos más importantes y que lleva en su honor su apellido. Seebeck observó la desviación en la aguja de una brújula al mantener dos uniones de diferentes metales a diferentes temperaturas [4, 17, 26]. Esto se debía a que los niveles de energía de los electrones para cada metal cambiaban de forma diferente y provocando una diferencia de voltaje entre las uniones lo que se traducía en una corriente eléctrica y en últimas en el campo magnético alrededor de los cables, lo que afectaba la brújula. En ese momento, Seebeck no reconoció que había una corriente eléctrica involucrada, por lo que llamó al fenómeno efecto termomagnético [4, 17, 26]. El responsable de utilizar por primera vez el término termoelectricidad fue el físico danés Hans Christian Ørsted en 1827 [4, 18].

Este efecto fue conocido posteriormente como coeficiente Seebeck (Figura 2) y es en cierta manera, una medida de la entropía transportada por partícula cargada en el material. Cuantos más estados disponibles haya para los portadores de carga, mayor será el coeficiente Seebeck ( $S$ ). Es decir,  $S$  aumenta a medida que disminuye la concentración de portadores de carga. Para los metales,  $S$  es del orden de unos pocos microvoltios por Kelvin, para los semiconductores es del orden de decenas a cientos de microvoltios por Kelvin y para los aislantes es del orden de cientos a miles de microvoltios por Kelvin [24]. En lo que respecta a su signo, el coeficiente Seebeck es positivo para materiales semiconductores tipo p (aquellos con huecos como portadores mayoritarios) y negativo para semiconductores de tipo n (aquellos con electrones como portadores mayoritarios). Poco después, en 1834 el físico francés Jean Charles Athanase Peltier descubrió el efecto inverso, el cual se define a partir de un gradiente de temperatura originado a partir de una diferencia de voltaje que atraviesa la unión de dos metales. El efecto Peltier consiste básicamente en que los portadores de carga también pueden transportar calor o energía térmica cuando éstos fluyen [6]. Si el material está en equilibrio, y se impone un flujo de electrones como consecuencia de la aplicación de un voltaje externo, no sólo habrá un flujo de corriente eléctrica, sino también un flujo de calor. Este flujo de corriente se traduce en la separación de una fuente de calor y frío en la unión de ambos materiales dependiendo de su dirección.

Un par de décadas más tarde, en 1851 William Thomson [7] (conocido más tarde como Lord Kelvin) logró, mediante el uso de argumentos termodinámicos, unificar el efecto Seebeck y Peltier en una única expresión completa y compacta [7, 12, 28]. Este tercer efecto lleva su nombre y describe la absorción o generación de calor a lo largo de un conductor que transporta corriente bajo un gradiente térmico. En definitiva, si consideramos tanto para el efecto Seebeck como para el efecto Peltier (Figura 3) un circuito formado a partir

de dos conductores de materiales distintos que están conectados eléctricamente en serie, pero térmicamente en paralelo como se muestra en la Figura 2 podemos definir el voltaje inducido como el producto del coeficiente Seebeck ( $S$ ) por la diferencia de temperatura.

A principios del siglo XX, los avances en el campo de la termoelectricidad estuvieron más centrados en el desarrollo de una teoría que explicara los fenómenos observados en el siglo anterior [31, 32]. Desarrollos teóricos como los llevados a cabo por Edmund Altenkirch [26, 31] continuaron los trabajos previos realizados por Lord Rayleigh [21] sobre la eficiencia de una termopila [26, 32]. Para ese momento las ideas de Sadi Carnot recogidas en su libro "Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego y sobre las máquinas propias a desarrollar esta potencia" [25] (Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance) [10], publicado en 1824, ya eran ampliamente conocidas y se consideraba a la termopila como un "motor termodinámico bastante imperfecto". Es en este momento cuando Altenkirch propuso la primera descripción sobre la característica fundamental que debería cumplir un buen material termoeléctrico (TE). Su conclusión fue que estos materiales deben exhibir un alto coeficiente de Seebeck ( $S$ ), acompañado de una alta conductividad eléctrica  $\sigma$ , es decir, una baja resistencia eléctrica con el fin de minimizar el calentamiento por efecto Joule [3, 20]. Adicionalmente, deben de tener una baja conductividad térmica  $\kappa$ , con el fin de poder retener el calor en las uniones y mantener así un gradiente de temperatura definida que promueva un coeficiente Seebeck continuo [9, 21]. Desde el punto de vista experimental, algunos trabajos pioneros en metales y aleaciones metálicas fueron descartados debido a sus bajos valores de coeficiente de Seebeck. No fue hasta finales de la década de 1950, con el desarrollo de materiales semiconductores y la aplicación de los nuevos enfoques de la física del estado sólido, que los materiales termoeléctricos lograron su resurgimiento [5, 10, 11, 14, 15, 29, 30]. Estas nuevas ideas inspiraron al físico ruso Abram Ioffe [11] (antiguo estudiante de Wilhelm Röntgen [6]) a introducir la figura de mérito ( $zT$ ) como una relación que contiene los diferentes coeficientes de transporte, realizando la primera clasificación eficiente de los diferentes materiales TE.

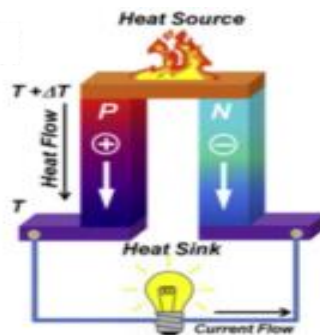


Figura 2. Esquema del efecto Seebeck para la generación de energía a partir de una diferencia de temperatura aplicada, con la representación del flujo de los portadores de carga.

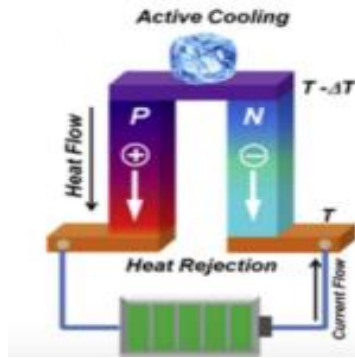


Figura 3. Efecto Peltier

Estas contribuciones propiciaron un período muy activo de investigaciones teóricas y experimentales alrededor de los materiales TE, pero a mediados de los años sesenta, el interés la termoelectricidad se derrumbó bajo el peso de esperanzas exageradas y pocos avances significativos en aumentar la eficiencia de los materiales. Durante al menos 30 años, la termoelectricidad experimentó un marcado desaceleramiento en la investigación básica con algunos avances entre los que se resaltan los trabajos publicados en las referencias [2, 19, 22, 27]. No fue hasta la última década del siglo XX que se renovó el interés en la termoelectricidad. La búsqueda de energías más amigables con el medio ambiente y el interés de reducir el consumo de combustibles fósiles llevaron a retomar la investigación de la TE.

### B. Efecto Seebeck

El resultado de generar tensión entre 2 uniones metálicas mantenidas a temperaturas diferentes se conoce como “Efecto de Seebeck” (Figura 4). La cantidad de electricidad producida dependerá de los dos metales elegidos y también de la diferencia de temperatura entre la unión de ambos y los extremos libres. Incluso en el mejor de los casos, la cantidad de electricidad será bastante modesta, sin embargo, estos termopares pueden ser verdaderamente pequeños, por lo que, en poco espacio se pueden disponer muchas de ellas en serie (sumamos tensiones), o en paralelo (sumamos intensidad), o mezcla de ambos (serie y paralelo). De este modo, la cantidad de electricidad generada puede ser significativa.

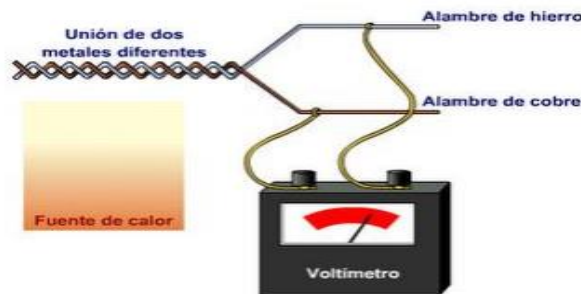


Figura 4. Ejemplo de aplicación del efecto Seebeck.

### C. Efecto Peltier

Consiste en el calentamiento o enfriamiento de una unión entre dos metales distintos (interface isotérmico) al pasar corriente por ella. Al invertir la corriente, se invierte también el sentido del flujo del calor. Este efecto es

reversible e independiente de las dimensiones del conductor. Depende solo del tipo de metal y de la temperatura de la unión. Sería en pocas palabras el efecto inverso al efecto Seebeck.

#### D. Celda Peltier

Una celda Peltier (Figura 5) es una matriz con muchos termopares (celdas) dispuestas en un espacio muy reducido. Los termopares que la conforman no están hechos de simples metales sino con semiconductores. Por lo general dichas celdas están fabricadas con Bismuto para la cara del semiconductor tipo P y Telurio para la cara tipo N. Dichas celdas están dispuestas eléctricamente en serie mediante conductores de cobre. Para aislar los conductores de cobre del disipador se agrega entre ellos una placa de cerámica que funciona como aislante.



Figura 5. Partes de una celda Peltier.

#### E. Materiales termoeléctricos

Se han de buscar materiales que posean un elevado coeficiente Seebeck, una alta conductividad eléctrica, y, por último, una baja conductividad térmica. Para ilustrar estas necesidades, usualmente se suele recurrir a la expresión phonon glass, electron crystal que recoge las cualidades necesarias para un buen material termoeléctrico. La obtención de un material que cumpla estos requisitos, en realidad no es tan trivial ya que los tres parámetros están interrelacionados entre sí. Lo primero que se ha de decidir es que tipo de material es el más idóneo. Si se analiza en base a la conductividad eléctrica, es obvio que los metales son una opción interesante, mientras que los aislantes quedan descartados por la alta resistencia que oponen a la conductividad eléctrica. La realidad es que los tres parámetros que aparecen en la figura de mérito dependen de la concentración de portadores. La conductividad eléctrica, como ya se ha apuntado, aumenta a medida que la densidad de portadores aumenta. Pero al mismo tiempo, como es mayor la movilidad de los portadores, resulta más difícil establecer una diferencia de potencial en el material; o lo que es lo mismo, resulta más complicado obtener un alto coeficiente Seebeck.

De la misma manera, la conductividad térmica también está relacionada con la densidad de portadores. En un sólido la conductividad térmica es la suma de dos componentes independientes: por un lado, el aporte de la red de iones a la conductividad (que no varía con la variación de concentración de portadores), y por otro lado la componente debido a los electrones (que aumenta a medida que aumentes los portadores). Por tanto, cuanto mayor sea la resistividad de un material, la tendencia de la conductividad térmica será disminuir de valor.

Por ello, si teniendo en cuenta la dependencia de cada una de las magnitudes que definen la figura de mérito, es posible encontrar la concentración de portadores en la cual se obtendrá una mayor eficiencia, resultando los semiconductores como materiales idóneos para las tecnologías termoeléctricas. Sin embargo, hay que

tener en cuenta que estas magnitudes varían con la temperatura. Por un lado, resistividad eléctrica y el coeficiente Seebeck aumentan a medida que la temperatura aumenta, mientras que la conductividad térmica decrece. Esto da una variación de la figura de mérito en función de la temperatura, obteniendo un máximo en una temperatura definida para cada material.

Existen diversos tipos de materiales que han sido investigados para determinar su comportamiento termoeléctrico [19]:

- **Calcogenuros:** Este tipo de compuesto han sido los más estudiados, y se ha demostrado que poseen una buena eficiencia en términos termoeléctricos. Dentro de este grupo de materiales largamente investigados se encuentran los calcogenuros de bismuto ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  y  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ) que son buenos termoeléctricos a temperatura ambiente, o el  $\text{PbTe}$ , telururo de plomo, que muestra buen rendimiento a temperaturas medias.
- **Compuestos de magnesio:** Su fórmula química es  $\text{Mg}_2\text{X}$ , donde X es un elemento del grupo IV (Si, Ge, Sn). Se suelen producir por co-fusión o por aleado mecánico, y presentan una buena figura de mérito. Son compuesto que no han sido muy estudiados.
- **Clatratos:** Con una fórmula general  $\text{A}_x\text{B}_y\text{C}_{16-y}$  o  $\text{A}_x\text{B}_y\text{C}_{136-y}$ , donde A es un metal alcalino o alcalinotérreo y B y C átomos de los grupos III y IV, son estructuras que han exhibido comportamiento termoeléctrico. Los átomos de tipo B y C crean una estructura, en cuyas cavidades se incluyen los átomos A.
- **Skutterudites:** Son sólido de estructura BCC y grupo espacial  $\text{Im}\bar{3}$ , de fórmula  $\text{MX}_3$  ( $\text{M} = \text{Co}, \text{Ni}, \text{Fe}; \text{X} = \text{P}, \text{SB}, \text{As}$ ). Para la mejora de su figura de mérito (disminuyendo la conductividad térmica) se incluyen iones de bajo número de coordinación en los huecos de la estructura, normalmente tierras raras, dando como resultado un compuesto de fórmula  $\text{LM}_4\text{X}_{12}$ .
- **Óxidos termoeléctricos:** Partiendo de su baja toxicidad, estabilidad térmica o su resistencia a la oxidación, se contemplan como una opción prometedora; sobre todo para altas temperaturas. En este grupo se incluyen óxidos como  $\text{Na}_x\text{CoO}_2$ ,  $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$  o  $(\text{SrO})(\text{SrTiO})_m$ .
- **Siliciuros de metales de transición:** Compuestos de muy alto punto de fusión y química y mecánicamente fuertes, son candidatos firmes ya que se pueden usar en entornos hostiles sin la necesidad de protección. Sin embargo, no todos los siliciuros muestran un buen comportamiento termoeléctrico.
- **Aleaciones Half-Heusler:** Aleaciones de tres elementos de diferentes grupos (o incluso pueden ser de elementos del mismo grupo) que tienen potencial para actuar como materiales termoeléctricos en altas temperaturas, especialmente las de tipo n. Dos de los elementos suelen pertenecer a los metales de transición mientras que el tercero es un metal o metaloide.

**Aleaciones silicio-germanio:** Actualmente unos de los mejores materiales para su uso como termoeléctrico en procesos a altas temperatura, y por ello son usados en la industria aeroespacial.

#### F. Binomio eficiencia-coste

Se han analizado los costes que supondría la fabricación de ciertos materiales termoeléctricos y teniendo en cuenta la figura de mérito que la bibliografía menciona para ese material, se ha intentado optimizar la relación eficiencia-precio. La comparación se ha hecho partiendo de la base de que para todos los materiales se fabricaba un mismo módulo termoeléctrico, es decir en base a una unidad de volumen, no de masa. Por tanto,

el factor a maximizar sería  $ZT/C_v$  (donde  $C_v$  es el coste por unidad del volumen del material) siendo los económicamente más viables aquellos en los que esta relación fuera más alta.

### 7. DETERMINACIÓN DE LOS CRITERIOS DE DISEÑO CON METODOLOGÍAS PROSPRECTIVAS

Árbol de funciones. El árbol de funciones o diagrama FAST (Function Analysis System Technique) es un método para definir y categorizar las funciones de un sistema. Nosotros hemos optado por esta metodología debido a que es la que más se adapta a nuestro producto final, el cual no tiene competidores directos (punto importante en metodología QFD (Despliegue de Funciones de Calidad), el cual se verá en la Figura 5.



Figura 5. Despliegue de Funciones de Calidad.

El análisis de esta investigación pretende alcanzar la instalación de un prototipo, el cual a base de materiales termoelectricos y el efecto Seebeck, aprovecha la energía calorífica que está siendo emitida por el motor de combustión interna y la transformará en electricidad. Las celdas utilizadas tendrán un disipador de calor (instalado en una parte de la celda) lo que resultará como un mayor gradiente de temperatura y un mayor voltaje obtenido. La utilización de varias celdas estará sujeta al máximo voltaje que se pueda obtener de una sola celda.

*Diseño conceptual propuesto en 3d*

Con el actual diseño elegido (Figura 6) a partir de los distintos tamaños que hay de estas celdas, buscamos las más apropiadas para lo que buscamos con el proyecto. Por lo tanto, las dimensiones de cada celda tienen que ser lo más pequeñas posibles por cuestión de funcionalidad y espacio.





**8. ANÁLISIS TÉCNICO DE MATERIALES COMERCIALES Y ESPECIALES**

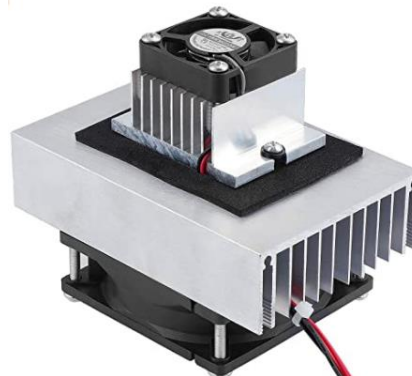
El producto que se utilizara es el que mejor se adapta a las especificaciones requeridas. Las especificaciones son las siguientes (tabla 1):

Módulo Peltier para generador de energía termoeléctrico, módulo TEG Peltier TEG Peltier de alta temperatura, elemento de generación Peltier módulo refrigerador placa de potencia de enfriamiento TEG 150 °C SP1848-27145.

**Tabla 1.** Especificaciones del producto elegido Modelo: SP1848-27145.

Color	Tamaño	Diferencia de temperatura 20°	Diferencia de temperatura 40°	Diferencia de temperatura 60°	Diferencia de temperatura 80°	Diferencia de temperatura 100°	Longitud del cable
Blanco	40 mm x 40 mm x 3,4 mm	Voltaje de circuito abierto 0,97 V, corriente generada: 225 mA	Voltaje de circuito abierto 1,8 V, corriente generada: 368 mA	Voltaje de circuito abierto 2,4 V, corriente generada: 469 mA	Voltaje de circuito abierto 3,6 V, corriente generada: 558 mA	Voltaje de circuito abierto 4,8 V, corriente generada: 669 mA	alrededor de 300 mm

Dentro de las opciones que se tomaron en cuenta, está la siguiente: WiMas 12V DIY Peltier termoeléctrico, refrigeración semiconductora, módulo de conducción más enfriador + radiador + ventilador + TEC1-12706 Kit de sistema de deshumidificación de refrigeración (Figura 8).



**Figura 8.** Ejemplo de propuesta tomada en cuenta.

Es importante visualizar el resultado que se obtendrá, por lo que una simulación servirá para anticiparnos a los resultados, de esta manera se aplicarán los factores necesarios que se vean implicados de manera general. Tras haber realizado la simulación se puede apreciar que el calor que la CELDA alcanzará una temperatura menor a la máxima que toleraría, es decir, soportará menos de 150 °C, apreciándose en la Figura 9 este suceso.

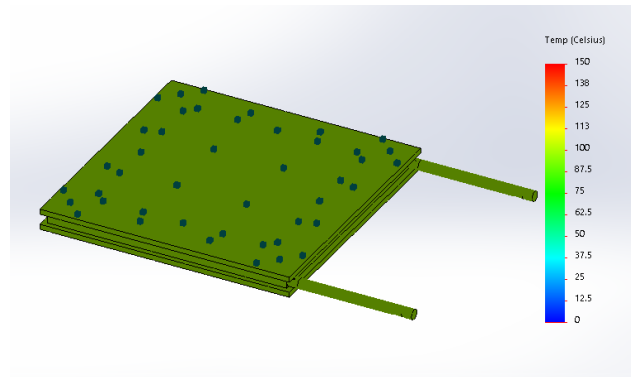


Figura 9. Animación funcional del diseño final.

Durante el desarrollo de la investigación se encuentra una serie de secuencias (Figura 10) por las que se debe de seguir para que éste pueda completarse de la forma esperada.

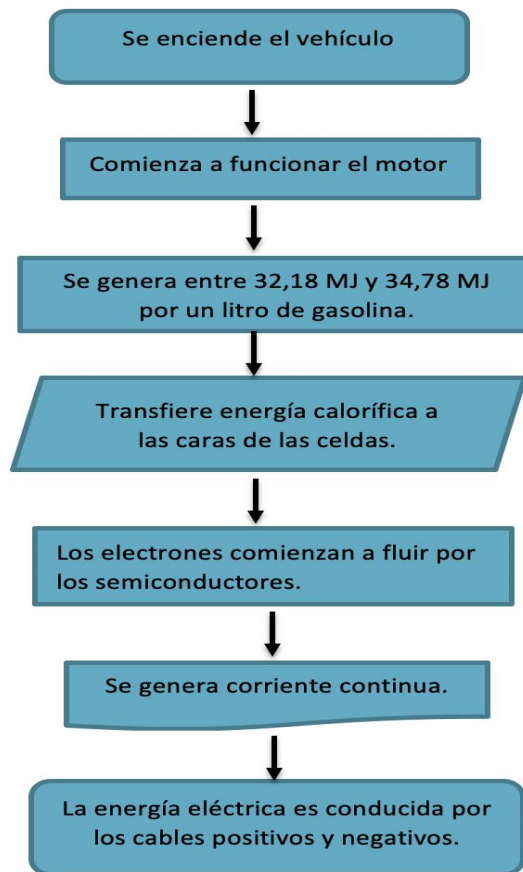


Figura 10. Diagrama de secuencia de operaciones.

Diseño de control

Para llevar a cabo la generación de energía eléctrica a través de la calorífica se requiere de las celdas TEG, ya que ahí se encuentra todo lo necesario para cumplir con lo deseado. Por lo que su estructura, así como su circuito (Figura 11), es necesario para lograr tener un mejor entendimiento de lo que ocurre en este proceso.

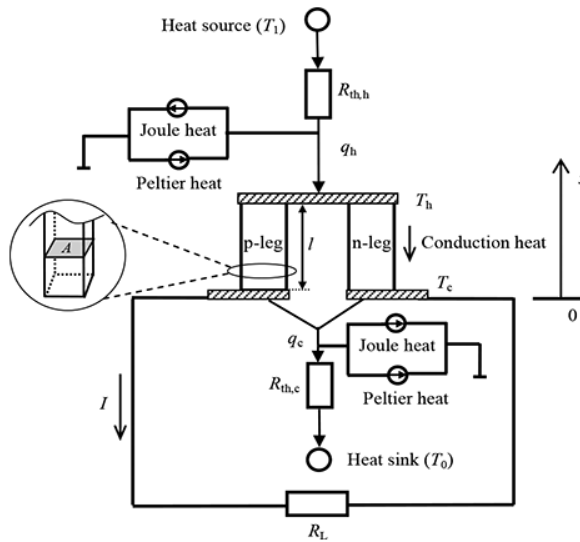


Figura 11. Estructura y circuito de una celda TEG.





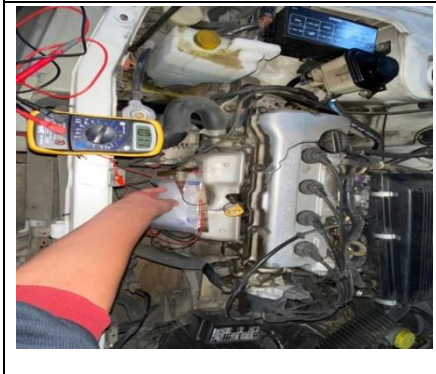
9. RESULTADOS

Se hicieron 6 mediciones en distintos tiempos y diferentes temperaturas en el vehículo con siete celdas (tabla 2). Debido a fallas de conexión, tres celdas resultaron inservibles. (Figuras 12 a 17)

}

Tabla 2. Resultados de inducción térmica

Prueba	Tiempo	Con hielo	Resultado
1	0 min	NO	0 volt
2	5 min	NO	.109 voltios
3	10 min	NO	.171 voltios
4	10 min	SI	.409 Voltios
5	15 min	SI	1.000 voltios
6	15 min	SI	1.101 voltios

	<p>En la figura 12, se tomaron las medidas con el vehículo apagado.</p>
	<p>En la figura 13, se muestran los datos de los primeros 5 minutos</p>
	<p>En la figura 14, se tomaron las medidas en el mismo minuto que la figura 13.</p>
	<p>la figura 15, a los diez minutos. con la diferencia de temperatura mayor inducida (hielos puestos en la cara fría de la celda)</p>
	<p>En la figura 16, se ven los datos a los diez minutos con hielo en la cara fría de la celda.</p>



La figura 17, a los quince minutos con hielo.

## 10. CONCLUSIONES

El objetivo principal de obtención de energía se cumplió, aunque precariamente. Con base en los resultados obtenidos, podemos observar que a medida que la temperatura en el motor de combustión interna aumenta, se obtiene un mayor voltaje. Este prototipo de celda Peltier no es viable para lanzar al mercado, sin embargo, es posible hacer adecuaciones buscando modificar los materiales que abonen a tener una mayor resistencia al calor y que de ahí se pueda obtener mayor rango de voltaje de la temperatura no aprovechada por el motor.

## REFERENCIAS

- [1] A. Lorimer et al., (*Patents (Thermoelectric generators for recovering waste heat from engine exhaust, and methods of making and using same)*, 2015).
- [2] A. Majumdar, *Annual review of materials science* 29, 505 (1999).
- [3] B. Gahtori, S. Bathula, K. Tyagi, M. Jayasimhadri, A. Srivastava, S. Singh, R. Budhani, and A. Dhar, *Nano Energy* 13, 36 (2015).
- [4] B. Orr, A. Akbarzadeh, M. Mochizuki, and R. Singh, *Applied Thermal Engineering* 101, 490 (2016).
- [5] C. Lee, Y.-H. Park, and H. Hashimoto, *Journal of applied physics* 101, 4920 (2007).
- [6] C. Xiao, J. Xu, K. Li, J. Feng, J. Yang, and Y. Xie, *Journal of the American Chemical Society* 134, 4287 (2012).
- [7] D. Champier, *Energy Conversion and Management* 140, 167 (2017).
- [8] Departamento de física aplicada III, *Ciclo Otto*, Universidad de Sevilla, 2016
- [9] F. Aliev, M. Jafarov, and V. Eminova, *Semiconductors* 43, 977 (2009).
- [10] G. B. Haxel, J. B. Hedrick, G. J. Orris, P. H. Stauffer, and J. W. Hendley II, *Rare earth elements: critical resources for high technology*, Report No. 2327-6932, 2002.
- [11] H. Billetter and U. Ruschewitz, *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie* 634, 241 (2008).
- [12] H. Liu et al., *Advanced Materials* 25, 6607 (2013).
- [13] H. Liu et al., *Nature Materials* 11, 422 (2012).
- [14] H. Liu, X. Shi, M. Kirkham, H. Wang, Q. Li, C. Uher, W. Zhang, and L. Chen, *Materials Letters* 93, 121 (2013).
- [15] H. Wang, W. Chu, D. Wang, W. Mao, W. Pan, Y. Guo, Y. Xiong, and H. Jin, *Journal of electronic materials* 40, 624 (2011).
- [16] J. A. Perez-Taborda, L. Vera, O. Caballero-Calero, E. Lopez, J. J. Romero, D. G. Stroppa, F. Briones, and M. Martin-Gonzalez, *Advanced Materials Technologies* (2017).
- [17] J. C. P. H. J. D. A. L. J. T. T. L. Westfall, *International Energy Outlook 2016*, Report No. DOE/EIA-0484(2016), 2016.
- [18] J. Twidell and T. Weir, *Renewable energy resources* (Routledge, 2015).
- [19] J. Yu and H. Yun, *Acta Crystallographica Section E: Structure Reports Online* 67, i45 (2011).
- [20] L. Zhao, X. Wang, F. Y. Fei, J. Wang, Z. Cheng, S. Dou, J. Wang, and G. J. Snyder, *Journal of Materials Chemistry A* 3, 9432 (2015).
- [21] M. Ferhat and J. Nagao, *Journal of Applied Physics* 88, 813 (2000).
- [22] M. Oliveria, R. McMullan, and B. Wuensch, *Solid State Ionics* 28, 1332 (1988).
- [23] S. Chakraborty, (*Patents (Industrial thermoelectric generator)*, 2016).
- [24] S. LeBlanc, S. K. Yee, M. L. Scullin, C. Dames, and K. E. Goodson, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 32, 313 (2014).
- [25] S. Teske, C. Lins, M. Hullin, L. Williamson, and A. Fattal, *Renewables Global Futures Report: Great Debates Towards 100% Renewable Energy*, Report No. 978-3-9818107-4-5, 2017.
- [26] T. Day, F. Drymiotis, T. Zhang, D. Rhodes, X. Shi, L. Chen, and G. J. Snyder, *Journal of Materials Chemistry C* 1, 7568 (2013).

- [27] T. Miller, J. Wittenberg, H. Wen, S. Connor, Y. Cui, and A. Lindenberg, *Nature communications* 4, 1369 (2013).
- [28] Thermoelectrics: An old, new tech, (Magazine Berkeley Engineer) <http://engineering.berkeley.edu/magazine/spring-2016/thermoelectrics-old-new-tech>
- [29] W. Mi, P. Qiu, T. Zhang, Y. Lv, X. Shi, and L. Chen, *Applied Physics Letters* 104, 133903 (2014).
- [30] X. Xing-Xing, X. Wen-Jie, T. Xin-Feng, and Z. Qing-Jie, *Chinese Pyysics B* 20, 087201 (2011).
- [31] Y. He, T. Day, T. Zhang, H. Liu, X. Shi, L. Chen, and G. J. Snyder, *Advanced Materials* 26, 3974 (2014).
- [32] Z. H. Ge, X. Liu, D. Feng, J. Lin, and J. He, *Advanced Energy Materials* 6 (2016).

Corresponding author: [iibarra@ipn.mx](mailto:iibarra@ipn.mx)