

MATERIALES TERMOELÉCTRICAS QUE PERMITEN TRANSFORMAR CALOR RESIDUAL DE AUTOMÓVILES EN ENERGÍA ELÉCTRICA

Mario Enrique Echeverría Yánez ⁽¹⁾, Edwin Marcelo Cevallos Romero⁽¹⁾

⁽¹⁾Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción
Universidad de las Fuerzas Armadas. ESPE
Av. Gral. Rumiñahui, Sangolquí - Ecuador
meecheverria@espe.edu.ec

RESUMEN

Sin lugar a dudas en un mundo donde el combustible fósil representa la mayor amenaza de contaminación y donde uno de sus principales usos está en el campo automotriz, cualquier tecnología que reduzca dicho uso permitirá una optimización de recursos en favor del medio ambiente. El presente artículo tiene como finalidad dar a conocer justamente una de ellas, que consiste en usar las propiedades de materiales conocidos como termoeléctricos en la generación de electricidad a base de la reutilización de calor residual proveniente de forma particular de los escapes de los automóviles. Se usa un estudio básico para comprender la importancia de los materiales termoeléctricos en la construcción de generadores como base para la creación de energía eléctrica a usarse en diferentes aplicaciones automotrices como aire acondicionado y equipos electrónicos.

Palabras clave: material termoeléctrico, generador termoeléctrico, efecto Seebeck, efecto Peltier, Efecto Thomson.

ABSTRACT

Undoubtedly in a world where fossil fuel poses the greatest threat of contamination and where one of its main uses is in the automotive field, any technology that reduces such use will optimize resources for the environment. This article aims to present just one that is to use the properties of thermoelectric materials known as the generation of electricity from the reuse of waste heat from the particular form of car exhausts. A basic study is used to understand the importance of thermoelectric materials in the construction of generators as the basis for the creation of electricity used in various automotive applications such as air conditioning and electronic equipment.

Keywords: Thermoelectric material, thermoelectric generator, Seebeck effect, Peltier effect, Thomson effect.

1. INTRODUCCIÓN

La conciencia cada vez mayor del uso de la energía y la conservación del medio ambiente ha reavivado las perspectivas para aplicaciones en campos automotrices y en centrales termoeléctricas. El número de vehículos de motor en las carreteras de Ecuador y el número de kilómetros recorridos por dichos vehículos continuará creciendo, lo que resulta directamente en aumento de la contaminación del aire, el aumento del consumo de petróleo y el aumento de la dependencia de fuentes externas de petróleo que, a pesar de las mejoras en el control de emisiones de los vehículos y la eficiencia de combustible que se ha dado en la última década ha ido en aumento. Para contrarrestar estas tendencias, las nuevas tecnologías de los vehículos deben ser introducidas para que puedan alcanzar una mejor economía de combustible sin aumentar las emisiones nocivas.

Para una gasolina típica, alimentando un motor interno de combustión (ICE) de vehículos, sólo alrededor del 25% de la energía combustionada se utiliza para la movilidad y sus accesorios; el resto se pierde en forma de calor residual en el escape y refrigerante, así como en fricción y pérdidas parásitas. Además, con el fin de satisfacer las crecientes requisitos de seguridad, mejorar el rendimiento del motor y reducir las emisiones de escape, fabricantes de equipos originales de automoción, están incorporando el aumento del contenido electrónico, como pueden ser: la estabilidad controles, la telemática, sistemas de prevención de colisiones, sistemas de comunicaciones, sistemas de navegación, frenado electrónico, los controladores del sistema de propulsión - cuerpo adicionales, y sensores que pueden optimizar automáticamente el rendimiento, mejorar la economía de combustible, y mejorar la seguridad del vehículo.

Todos estos dispositivos electrónicos adicionales requieren más energía del motor, o utilizar los esquemas de gestión de energías mejoradas. Por desgracia, los diseños de motores actuales no pueden satisfacer todas nuestras necesidades futuras. Con el fin de satisfacer la creciente requerimientos de energía eléctrica de los fabricantes de equipos originales están considerando varias alternativas como: sistemas de 42 voltios, vehículos híbridos, combustibles alternos para vehículos, y así sucesivamente. Una de estas alternativas es el uso de tecnología termoeléctrica (TE).

2. MATERIALES TERMOELÉCTRICOS

Hay tres efectos principales conocidos que participan en el fenómeno termoeléctrico: efecto Seebeck, Peltier y efecto Thomson. En 1821, Thomas Johann Seebeck descubrió que un conductor genera un voltaje cuando es sometido a un gradiente de temperatura. Este fenómeno es llamado efecto Seebeck, y se puede expresar como:

$$V = \alpha \Delta T \quad (1)$$

Dónde: V es el voltaje termoeléctrico, ΔT es la temperatura gradiente, y α es el llamado coeficiente Seebeck. El efecto Peltier consiste en lo siguiente: Cuando se hace pasar una corriente por un circuito compuesto de materiales diferentes cuyas uniones están a la misma temperatura, se produce el efecto inverso al efecto Seebeck. En este caso, se absorbe calor en una unión y se desprende en la otra. La parte que se enfría suele estar cerca de los 25 °C, mientras que la parte

que absorbe calor puede alcanzar r1pidamente los 80  C. El efecto Thomson se relaciona al gradiente térmico reversible y al campo el6ctrico de un conductor homogéneo. La figura 1 permite comprender el flujo de energ1a cuando se usa un m6dulo termoelectrico para generaci6n de calor en electricidad y viceversa.

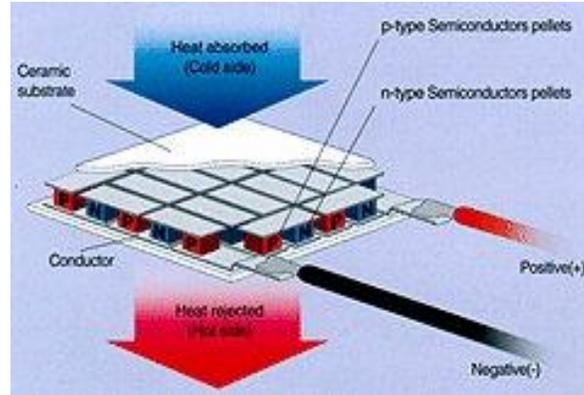


Figura 1 M6dulo termoelectrico que muestra la direcci6n del flujo de carga tanto en refrigeraci6n y generaci6n de energ1a

La eficiencia de conversi6n y la energ1a de un dispositivo de TE est1n determinados por la ecuaci6n de los materiales:

$$ZT = S^2T/kp \quad (2)$$

D6nde: S es la capacidad termoelectrica, T la absoluta temperatura, k la conductividad térmica total y p la resistencia el6ctrica. Durante casi medio siglo entre el 1940 y principios de 1990, los valores m1s altos de todos los materiales ZT permanecieron por debajo de 1. La sustancial financiaci6n federal en EE.UU desde principios de 1990, as1 como la empresa privada, han dado lugar a un aumento significativo en la investigaci6n en los últimos a1os, para revitalizar el interés en la tecnolog1a de TE en particular, la tasa de aumento ZT ha crecido por un factor de 20 de acuerdo con los últimos datos. No s6lo tienen los mayores valores ZT, se incrementaron sustancialmente, una gran variedad de nuevos materiales de eficiencia que cubren un amplio rango de temperaturas entre 200 K (-73  C) y 900 K (627  C). Para algunos de ellos se muestra que ZT alrededor de 3 dar1a lugar a la eficiencia de un generador de TE acerc1ndose al 50 % de la eficiencia de Carnot (un límite termodin1mico) y COP en refrigeradores TE que superan los valores de las unidades de aire acondicionado mec1nicas , reciente avances en la investigaci6n de materiales que proporcionan $ZT > 1$, como se indica en la figura 4, la cual nos proporciona el rendimiento de materiales ZT conforme se incrementa su valor , y algunos de hasta 3.6, motivan un interés significativo para las aplicaciones en autom6viles con la tecnolog1a TE [4].

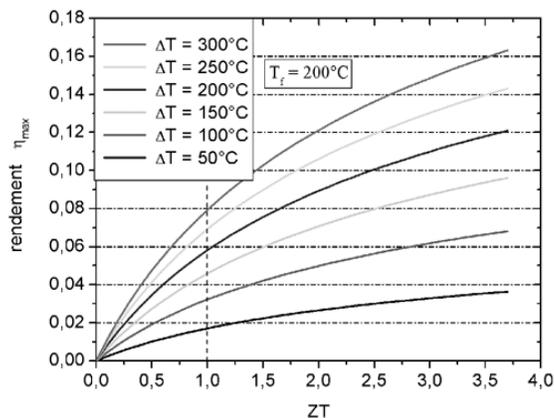


Figura 2 Rendimiento de los materiales ZT [9]

Un material con una gran ZT necesita tener un gran valor del coeficiente Seebeck (que se encuentra en los semiconductores de baja concentración portadores o aisladores) y una gran conductividad eléctrica (Que se encuentra en los metales con alta concentración de portadores). Como consecuencia del equilibrio entre el coeficiente Seebeck y la conductividad eléctrica, la mayoría de materiales termoeléctricos están fuertemente dopados. Estos materiales típicamente poseen concentraciones de portadores de 10^{19} - 10^{21} carriers/cm³. La optimización termoeléctrica es adicionalmente complicada por el transporte térmico, que se produce por ambos: electrones y fonones. Para asegurarse de que el coeficiente de Seebeck neto es grande, un portador de carga debe dominar el transporte. Mezclas de tipo n y de tipo p de conducción reducen la tensión general de un gradiente de temperatura entre electrones y los huecos que se mueven al extremo frío.

La mayoría de los buenos materiales termoeléctricos, por lo tanto deben tener el nivel de Fermi cerca del borde de un hueco de banda. Los materiales con lagunas en la banda generalmente se pueden entender como compuestos de valencia utilizando la regla de valencia. En un compuesto iónico, la suma estequiométrica de las valencias iónicas formales se debe equilibrar exactamente, lo que lleva a configuraciones electrónicas de gas noble. La brecha de la banda se produce entre los estados aniónicos, llenos (banda de valencia) y vacío, estados catiónicos (banda de conducción). En la unión covalente surgen semiconductores cuando se forma una brecha de banda entre unión llena y desocupada.

Las valencias formales en semiconductores covalentes se equilibran cuando el número de enlaces covalentes y electrones de valencia contribuidos se tienen en cuenta. El método de valencia en general funciona mediante la comparación del número de estados electrónicos en la banda de valencia con electrones disponible en lugar de suponer completa la transferencia de carga.

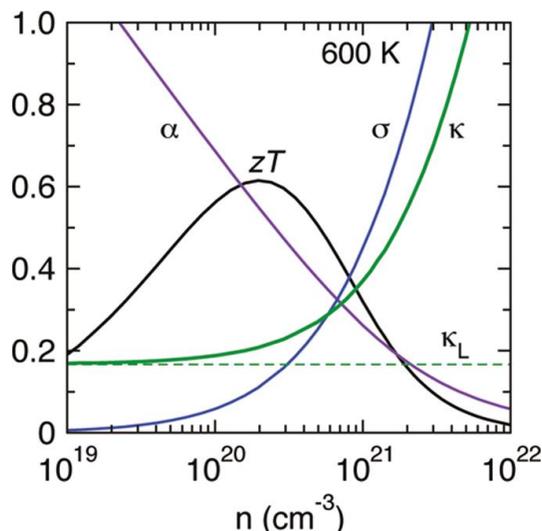


Figura 3 La dependencia de las propiedades termoeléctricas de concentración de portadores (N) que se espera para curvas de semiconductores se basan en resultados de una muestra Ba₈Ga_{16-x}Ge_{30+x} con $n = 8 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ a 600 K generados con un solo modelo de banda parabólica.

Los materiales termoelectricos son convertidores de energía de estado sólido cuya combinación de térmica, propiedades eléctricas y semiconductoras les permite ser usados para convertir el calor residual en electricidad o energía eléctrica directamente en refrigeración y calefacción. Estos materiales pueden ser competitivos con los sistemas basados en fluidos, tales como compresores de aire acondicionado de dos fases o bombas de calor, o utilizado en aplicaciones a menor escala, tales como en asientos de automoviles, sistemas de visión nocturna, y enfriamiento del armario eléctrico.

Los dispositivos TE, pueden transformar el calor directamente en energía eléctrica y también puede actuar como enfriadores de estado sólido. Los avances en la tecnología de TE puede tener un impacto significativo en la industria del automóvil en términos de ahorro de combustible, mejoras mediante la generación de electricidad a partir del calor residual y de aire acondicionado de alta eficiencia. En primer lugar, la tecnología de TE tiene el capacidad de utilizar las decenas de kilovatios de las pérdidas de calor en los vehículos para generar electricidad sin carga del motor añadido. En segundo lugar, la tecnología TE podría dar lugar a la implementación del estado sólido, para generar un sistema automotriz confiable, con una condición para generar aire acondicionado reversible que no utiliza refrigerantes, con los consiguientes problemas de gases de efecto invernadero y puede ser: más simple, más fácil de empaquetar y más eficiente para operar.

Refrigeradores con tecnología TE probablemente requieran más energía eléctrica que los sistemas mecánicos actuales y esto debe ser considerado. El aumento de la fiabilidad de las baterías y componentes seleccionados es generalmente debido a la capacidad de utilizar dispositivos TE para controlar la temperatura de la batería u otra dispositivo. Generadores de energía TE podrían ayudar a aumentar la capacidad de ICE para convertir el combustible en energía útil. Mediante la conversión del calor residual en electricidad, rendimiento del motor, eficiencia, fiabilidad y flexibilidad de diseño se podría mejorar significativamente. La figura 4, nos permite entender el funcionamiento básico de un módulo termoelectrico aplicado a un circuito eléctrico básico.

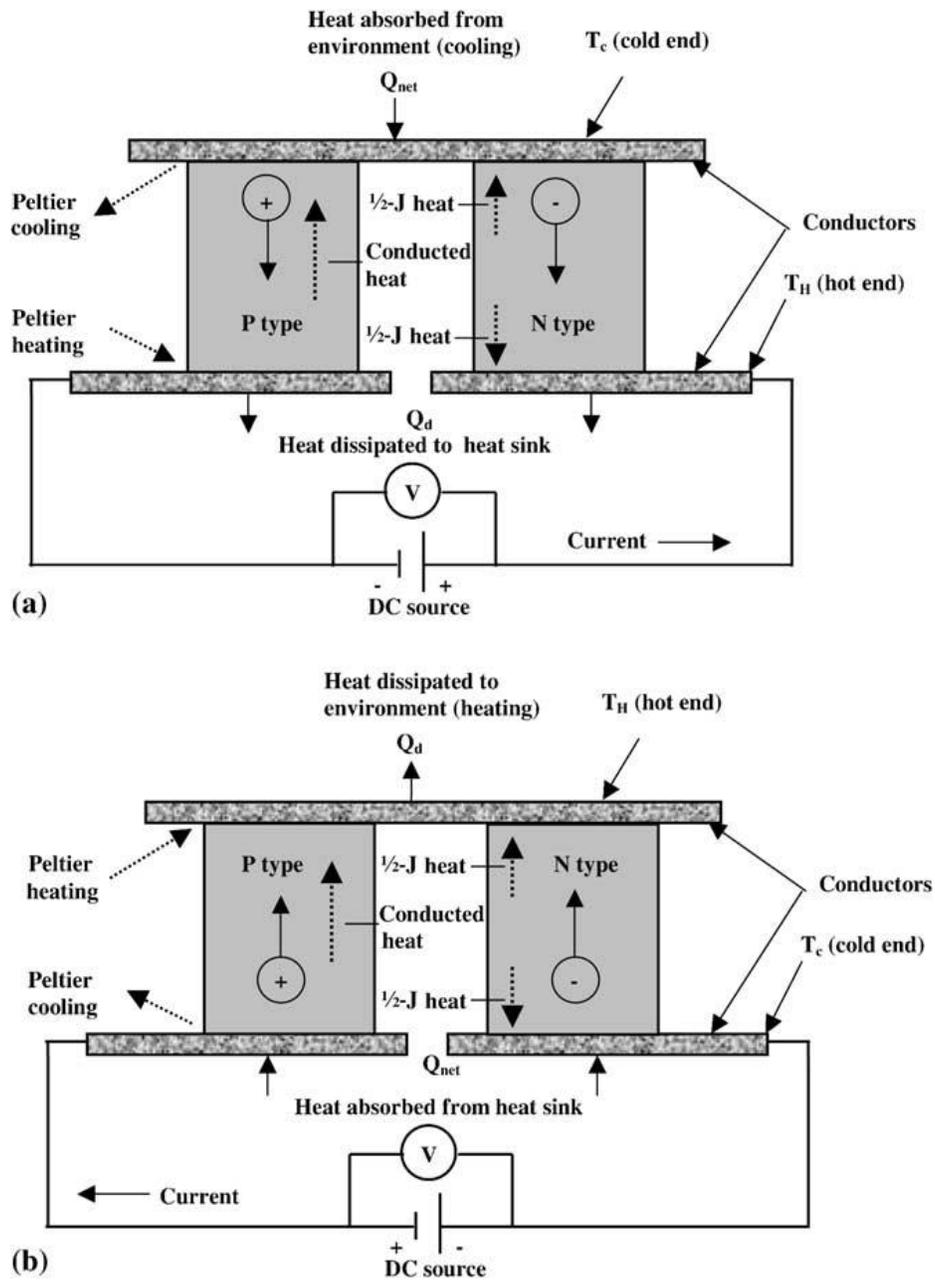


Figura 4 Esquema de funcionamiento del módulo termoeléctrico (a) el modo de refrigeración; (B) el modo de calefacción

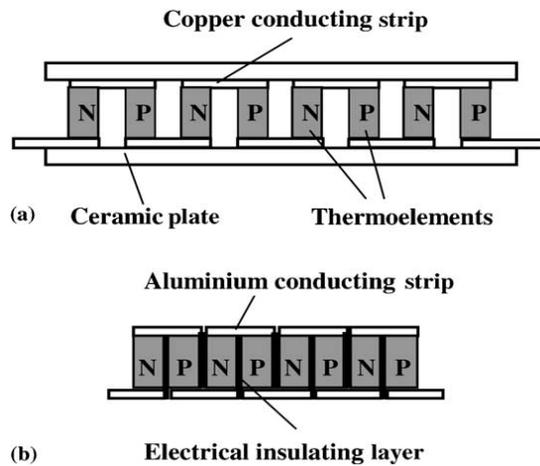


Figura 5 Diagramas esquemáticos de módulos termoeléctricos multielementos. (a) Tipo A de configuración con aislante de cerámica platos y gran separación entre termoelemento; (b) Escriba la configuración B, sin placa aislante de cerámica y con muy pequeña separación entre termoelemento

Para comprender la figura 5 cabe indicar que los módulos TE, tienen composición con elementos electrónico en base a compuestos n y p que básicamente están formados por materiales semiconductores del tipo n o p dopados con materiales distintos de familia III o V de la tabla periódica.

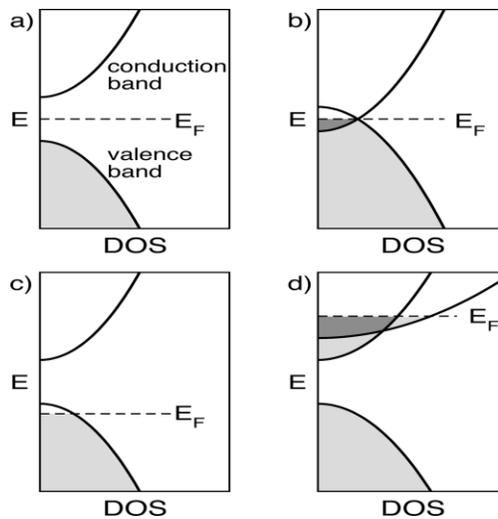


Figura 6 (a) Representación esquemática de la densidad de estados de un Semiconductor equilibrado de valencia. (b) En un semimetal, la superposición de bandas produce un comportamiento metálico a pesar de parecer valencia equilibrado. (c) Nivel Fermi se desplaza desde la banda prohibida por el retiro de electrones debido a un desequilibrio de valencia. (d) Múltiple banda de conducción con diferentes mínimos de energía en la 3 Te 4 conducen una mayor masa efectiva cuando el nivel de Fermi se cruza en ambas bandas

Con cálculos de la estructura electrónica se puede facilitar la selección y la optimización de materiales termoeléctricos. Estos cálculos suelen adoptar un enfoque de banda rígida, donde un solo cálculo de la estructura de bandas es realizado y el nivel de Fermi es posteriormente variado para imitar diversos niveles de dopaje. El coeficiente de Seebeck y la conductividad eléctrica puede calcularse a partir de las correspondientes ecuaciones de transporte de Boltzmann; sin embargo, estos cálculos requieren supuestos sobre la dispersión dominante, el mecanismo de dopaje y la magnitud de la relajación portador tiempo τ . Una común aproximación es que τ es independiente de la energía del portador, contrariamente a la dependencia energética comúnmente observada en la dispersión en materiales termoeléctricos. Sin embargo, en los cálculos del coeficiente Seebeck utilizando la energía independiente la aproximación de la magnitud de τ es más compleja.

Varios candidatos con altos valores de ZT como los antimoniuros han sido identificados a partir de búsquedas automatizadas de rendimientos termoeléctricos, sobre todo LiZnSb con un ZT predicho de aproximadamente 2 cuando tiene un dopado tipo n. Experimentalmente, el tipo p para LiZnSb se encuentra para tener valores de τ . Desafortunadamente, los esfuerzos para formar una composición de tipo n no han tenido éxito. Como los cálculos de estructura electrónica para el comportamiento termoeléctrico siguen mejorando, estos trabajos serán cada vez más valiosos para la investigación de materiales termoeléctricos. Por su parte la conductividad térmica es la suma de electrónica y fonones (vibraciones de la red). El término electrónico es generalmente proporcional a la conductividad eléctrica y puede ser estimada a partir de la Relación de Wiedemann-Franz ($\kappa_e = L\sigma T$) con el número de Lorenz (L) aproximado como el límite metálico o calculado a partir de la teoría de transporte de Boltzmann.

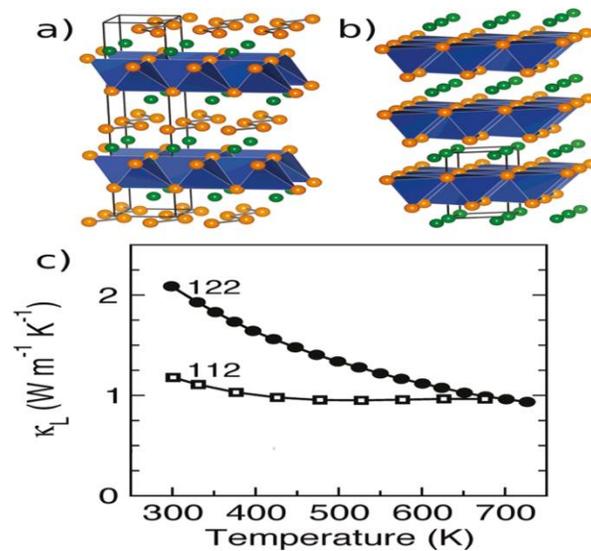


Figura 7 Estructuras y células unitarias primitivas de (a) SrZnSb₂, (b) SrZn₂Sb₂ se compone de dos monocapas de Sr (verde) y losas con enlaces covalentes de Zn-Sb (azul poliedros). En SrZnSb₂, estas capas se alternan con cadenas en zigzag Sb (naranjas). (c) Conductividad térmica del, SrZn₂Sb₂ [9]

3. APLICACIONES AUTOMOTRICES

Dentro del conjunto de aplicaciones automotrices, los materiales termoeléctricos son usados básicamente en la construcción de generadores termoeléctricos (TEG), los cuales son detallados a continuación, analizando su concepción, funcionalidad y aplicación en el sistema de escape de un automóvil, sin embargo, se puede determinar otros tipos de aplicaciones de los materiales termoeléctricos dentro o fuera del campo automotriz y que serán sujetos de estudios complementarios.

3.1 Generadores Termoeléctricos TEG

Generadores Termoeléctricos, TEG, también podrían utilizarse para eliminar cargas secundarias desde el tren de potencia del motor, lo que reduce par y potencia de pérdidas del motor, esto ayudaría a reducir el peso del motor y dirigir el poder total al árbol de transmisión, lo que a su vez ayuda a mejorar la rendimiento y economía del combustible. Además, la potencia del generador TEG podría ayudar a mejorar la eficiencia del combustible (a través de la recuperación de energía) mediante el apoyo al motor apagado, operación con las necesidades mínimas de la batería, y podría aumentar energía eléctrica para nuevas características. Generadores de energía TEG pueden funcionar por sólo un corto período de tiempo después de que el motor se apaga utilizando gases de escape, o el calor del refrigerante [3]. Un quemador de combustible añadido al subsistema TEG utilizará combustible, pero a una tasa mucho más baja que un motor en pleno funcionamiento ; mejorando así la economía del combustible sin una batería de alto valor. Un estudio reciente sugiere que la economía de combustible del automóvil se podría aumentar por hasta un 20%, simplemente mediante la captura el calor residual y la conversión de alrededor del 10 % de la misma a electricidad, un aumento de la eficiencia comparable a la que se alcanzaría mediante la conversión de los coches en EEUU y la flota de camiones a los motores diesel, pero sin el problema de NOx o las emisiones de partículas.

Históricamente, debido al bajo coeficiente de rendimiento de enfriamiento (COP), alrededor de 1 y la eficiencia de conversión de energía (nichos de mercado alrededor del 5%), la tecnología de TE sólo ha sido ocupado, como generadores de radioisótopos TEG, para naves espaciales de la NASA, donde el bajo COP y la eficiencia se ven compensados por la aplicaciones distintas y específicas. A pesar de nuevos descubrimientos importantes en la última década, el desarrollo de calor residual TE en automóviles a gran escala, con tecnologías de recuperación sigue siendo extremadamente difícil debido a menos esfuerzos se han dirigido a evaluar térmicamente la estabilidad de los nuevos materiales , la evaluación del desempeño TE a una nivel de módulo utilizando los materiales avanzados TE , el diseño de intercambiadores de calor óptimos en automóviles , la integración de subsistemas TE en el manejo de la energía eléctrica del vehículo, o examinar el impacto de economía de combustible a nivel del vehículo.

La gran incertidumbre en los materiales, el módulo, el costo del subsistema y el tamaño del mercado es también un factor importante que impide el desarrollo de la tecnología. Gran cantidad de materiales con $ZT > 1$ no se han evaluado suficientemente para definir un volumen alto de costos de producción. Dispositivos de tipo de circuito integrado (quantum punto, superredes, pozos cuánticos, etc.) sólo han sido demostrados a escala de laboratorio con gran incertidumbre en la eficiencia de la producción y el costo.

Hasta tanto el rendimiento y el costo se entiendan mejor, la posibilidad de seleccionar la mejor tecnología TE en materiales para restos de recuperación de calor residual del automóvil es difícil.

3.2 Elementos de un TEG

Un generador termoeléctrico consiste básicamente en tres componentes:

- La estructura de soporte, donde los módulos termoeléctricos se encuentran. La parte interna de esta estructura normalmente se modifica con el fin de absorber la mayor parte del calor acumulado en los gases de escape.
- Los módulos termoeléctricos, dependiendo de la gama de temperaturas: silicio-germanio, telurio de plomo o se utilizan módulos de telurio de bismuto.
- El sistema de disipación de calor, lo que favorece al calor transmisión a través de módulos termoeléctricos.

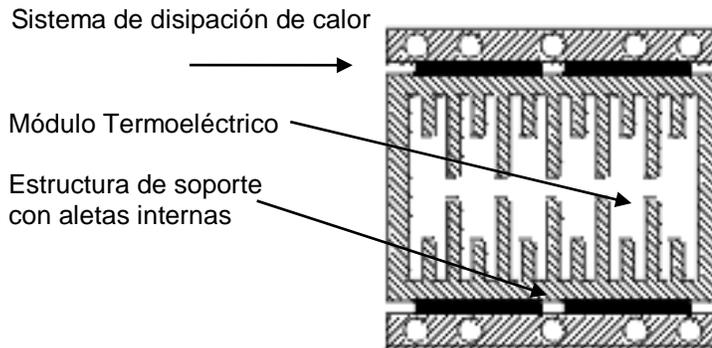


Figura 8 Esquema de un generador termoeléctrico genérico

Esta estructura, como la que se indica en la figura 8, es extremadamente importante en cualquier TEG, orientada para ser utilizado en un automóvil, debido a que el generador tiene los siguientes motivos y limitaciones:

La transmisión de calor de los gases de escape a la estructura debe hacerse normalmente en una longitud corta. En general es necesario introducir los disipadores de calor de aletas internas, u otras estructuras que aumentan el área de contacto entre los gases y la estructura de soporte y aumentar la turbulencia aumentando el coeficiente promedio de convección de calor.

Sin embargo, los disipadores de calor de aletas o paquetes son verdaderos obstáculos en el camino de los gases de escape, generando una presión alta. Esto puede afectar la eficiencia del motor, incluso causando un nuevo diseño del árbol de levas.

El espacio disponible para montar un generador termoeléctrico en un automóvil normalmente se reduce debido a la tendencia a poner más equipos en menos espacio. Hay principalmente tres posibles ubicaciones para el TEG:

- Justo detrás del colector de escape.
- Entre el colector y el convertidor catalizador.
- Después del catalizador.

El peso de la estructura. Aproximadamente representa al menos 50% del peso total del TEG. Si el sistema es demasiado pesado, la pérdida en el rendimiento del motor puede superar la energía eléctrica producida por el TEG lo que lo convierte en completamente ineficaz.

Variabilidad de la temperatura del gas de escape. Los diferentes puntos de trabajo del motor provocan que la temperatura de los gases de escape en el mismo punto del tubo varíen, esto afecta el coeficiente de rendimiento del TEG, y por lo tanto la energía eléctrica generada. La estructura debe ser diseñada de tal manera que todo el módulos termoelectricos montado este trabajando cerca de su rendimiento óptimo para el funcionamiento más eficiente del motor.

3.3 Aplicaciones en el campo automotriz

Uno de los primeros en implementar un estudio y un TEG han sido los vehículos BMW, que, basándose en el efecto Seebeck, obtiene energía eléctrica del calor que genera el motor. La técnica es similar a la se emplea desde décadas atrás en sondas espaciales para obtener electricidad del calor generado por una fuente radiactiva. En los coches, resulta más realista acoplar el TEG al tubo de escape. De momento se están consiguiendo potencias cercanas a los 200 vatios, aunque siendo todavía un valor pequeño, con la introducción de nuevos materiales, los expertos confían en acercarse a los 1.000 vatios.

Para entender mejor, un BMW, serie 5 actualmente necesita entre 600 y 700 vatios para alimentar todos sus elementos electrónicos desde el lector de CD hasta la iluminación. Con algo más de desarrollo, se podría evitar el gasto de combustible necesario para obtener esa electricidad, con lo cual, se logrará una reducción del consumo en alrededor del 5 por ciento.

El calor también podría servir para calentar el aceite del motor, el de transmisión o la propia calefacción. Parece contradictorio, pero los gases de escape salen calientes casi desde el principio, mientras los sistemas de refrigeración y lubricación tardan unos minutos en alcanzar su nivel óptimo de temperatura. Otra posibilidad sería integrarlo en el catalizador para, mediante el efecto contrario (efecto Peltier) obtener calor de la electricidad y calentarlo durante los primeros instantes de funcionamiento. En cuanto consiga su temperatura de funcionamiento, el proceso se revertiría para obtener electricidad.

Como lo indica la figura 9, se puede observar claramente el posicionamiento del TEG, en la zona de escape del vehículo, para aprovechar de forma eficiente el calor residual del automóvil.

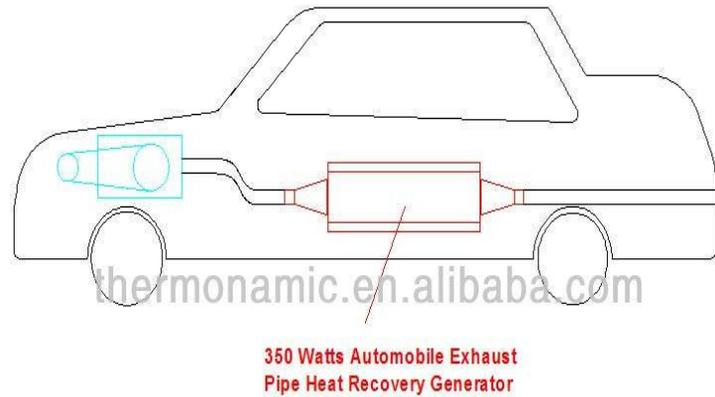


Figura 9 Posicionamiento del TEG en el automóvil [2]

El Centro de Investigación de Nissan ha desarrollado para TEG, diferentes intervalos de temperatura. El prototipo utiliza módulos BiTe (teluro de bismuto) con una longitud de 455 mm. y una sección transversal interna de 160 x 40 mm². Este generador termoelectrico consiste en el modelo 16 comercial HZ-20.

Dentro de la carcasa interior, de intercambio de calor con aletas proporciones de diferentes radios de área (0.92, 1.21, 1.65, 1.99), a lo largo de la longitud del flujo de gas de escape, con el fin de reducir la distribución de la temperatura en el lado caliente de los módulos sin sobrecalentamiento ellos. El prototipo usando módulos de Si-Ge (silicio-germanio), tenía una longitud de 440 mm. y una sección transversal de 120 x 40 mm². En este TEG, 72 módulos de sección cuadrado de 20 mm. se montan.

3.4 Módulos termoelectricos, materiales, forma y tamaño

Los módulos de TE utilizados en un TEG típica se pueden clasificar de acuerdo con el material semiconductor que se utiliza y la forma, tamaño y la configuración de sus pares termoelectricos. El material semiconductor que se utiliza en la fabricación de los gránulos ha sido seleccionado de acuerdo con la posición de la TEG en el tubo de escape: Justo detrás del colector de escape en donde el rango de temperatura de los gases de escape es de entre 1000 °C y 750 °C. Los termoelementos se fabricaron en la base de β -FeSi₂, con Co-doping para el n-tipo y Al-doping para de tipo p, como se indicó anteriormente, el dopado de materiales n y p es común en semiconductores para mejorar de forma ostensible el proceso de conducción.

Entre el colector de escape y el catalizador, donde la temperatura de los gases de escape es de entre 750 °C y 400 °C. El modelo propuesto utiliza termoelementos de teluro de plomo, tipo 2P y tipo 3N/4N, de acuerdo a las capas de materiales semiconductores n y p. El Centro de Investigación Nissan utiliza aleaciones de PbTe (teluro de plomo). Justo detrás del catalizador en el que el rango de temperatura de los gases de escape es de entre 400 °C y 200 °C.

Todos los TEG diseñados para montarse en esta posición se basan en aleaciones de teluro de bismuto, específicamente módulos comerciales Hi-Z.

Una ventaja importante es que minimiza la cantidad de superficie requerida de transferencia de calor, debido a que el flujo térmico requerido a través de los módulos es menor. Esto disminuye la caída de presión en el generador y los resultados en una menor contrapresión en el motor. Hoy en día, los fabricantes de automóviles son reticentes a instalar cualquier equipo antes del convertidor catalítico, ya que su rendimiento puede verse afectado negativamente por una reducción de temperatura anterior a la entrada.

Otra clasificación interesante de los TEG está tomando en cuenta la forma, el tamaño y la configuración de sus pares termoeléctricos. Los TEG analizados pueden clasificarse en dos grupos:

TEG con los módulos tradicionales TE cuadrados. Cada uno de estos módulos se compone de varios pares termoeléctricos en serie. Este tipo de configuración requiere superficies planas con el fin de montar los módulos, y se ha utilizado en muchas aplicaciones.

TEG con módulos TE de forma lineal. En este caso, los pares termoeléctricos forman líneas que pueden ajustar mejor a la forma circular del tubo de escape.

A continuación se describen las características principales de pares termoeléctricos utilizados en los diferentes TEG analizados. Los pares termoeléctricos utilizados en muestran en la figura 10. La principal característica de este par termoeléctrico fue que los contactos eléctricos se incluyeron en el proceso de fabricación de los pellets. La unión fría eléctrica se establece mediante contactos, soldando láminas de plata para los brazos termoeléctricos utilizando una aleación de Pb / AG. Este TEG utiliza 45 pares termoeléctricos situados en lados opuestos del generador.

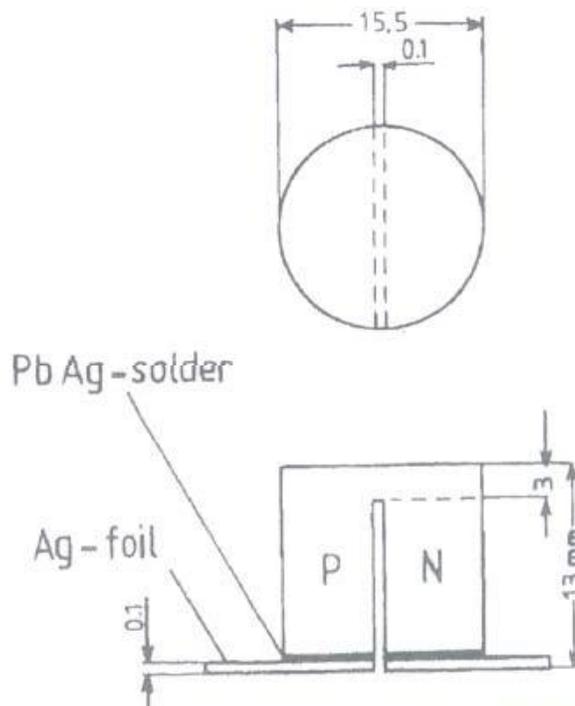


Figura 10 Forma de un elemento FeSi2 incluyendo caliente y fría contactos de unión [8]

3.5 Sistema de disipación de calor en el lado frío

Todos los TEG analizados se basan en el mismo sistema para disipar el calor. El sistema utiliza el aluminio del disipador de calor con chaquetas de refrigerante conectados al sistema de circulación de agua del automóvil. Se trata de mantener una temperatura próxima a 100 °C en la parte fría del módulo TE. Diferentes formas son utilizadas para estas placas frías dependiendo de la particularidad del TEG. Sólo el modelo teórico propone utilizar de calor de aleta que se hunde en el lado frío del TEG.

Esta opción tendría ventaja del movimiento adecuado del automóvil, para crear un flujo turbulento en la parte inferior del tubo de escape. Una estimación se realizó con el fin de obtener el número y la forma de las aletas requerido para disipar la energía de calor que atraviesa los módulos termoeléctricos.

Las aletas serían rectangulares con un espesor de 3 mm. Una altura de 25 mm. y una longitud de 457 mm. Un análisis teórico llegó a la conclusión de que el TEG tener 90 aletas alrededor de todo el perímetro del tubo de escape teniendo en cuenta una velocidad del aire de 9 m/s (32.4 Km/h) para disipar un flujo térmico de 60.300 W/m².

3.6 Métodos de montaje, aislamiento térmico y eléctrico de los TEG

Los detalles de la fijación de los TEG son extremadamente importantes para obtener su correcto comportamiento. Una lista de ellos a continuación:

Método de montaje. Se debe asegurar una buena mecánica en el contacto entre los módulos termoeléctricos, el apoyo de la estructura y el sistema de disipación de calor, pero al mismo tiempo tiene que ser elástica con el fin de compensar los diferentes coeficientes de expansión térmica. Además, este mecanismo no tiene que aumentar la resistencia térmica entre los módulos TE y el calor del sistema de disipación, ni para representar un bypass térmico entre la fuente de calor y el disipador de frío.

Aislamiento eléctrico. Típicamente, la estructura de soporte y el sistema de disipación de calor son metálicos. También los módulos termoeléctricos utilizados en los TEG son tipo esqueleto y por esta razón es necesario aislar eléctricamente los contactos superficiales con el fin de evitar a corto circuitos.

Aislamiento térmico. El aislamiento térmico de TEG es muy importante con el fin de reducir las pérdidas en derivación térmica entre la fuente de calor y el disipador de frío, incluyendo tanto, el espacio libre entre los gránulos del par termoeléctrico y el espacio entre los módulos de TE.

El aislamiento eléctrico entre la fuente de calor y termoelementos pueden ser proporcionados por una lámina de mica (0,1 mm de grosor). En el lado frío, un sistema elástico con buena conductividad térmica debe ser desarrollado, este sistema se muestra en la figura 11. Cada par termoeléctrico se apretaba contra el disipador de calor por la fuerza de un resorte (15 N). Una clavija de aluminio se desempeñó como conductor térmico entre el termoelemento y el agua de circulación y una lámina de acero inoxidable elástica (espesor de 0,05 mm) que separa el agua de los termoelementos que permiten desplazamientos verticales de ± 1 mm.

El aislamiento eléctrico en el lado frío se obtuvo por oxidación de clavijas de aluminio. En esta disposición, la resistencia térmica por termoelemento con respecto a la fuente de calor era de 5 K / W y 3 K / W con respecto al disipador de calor.

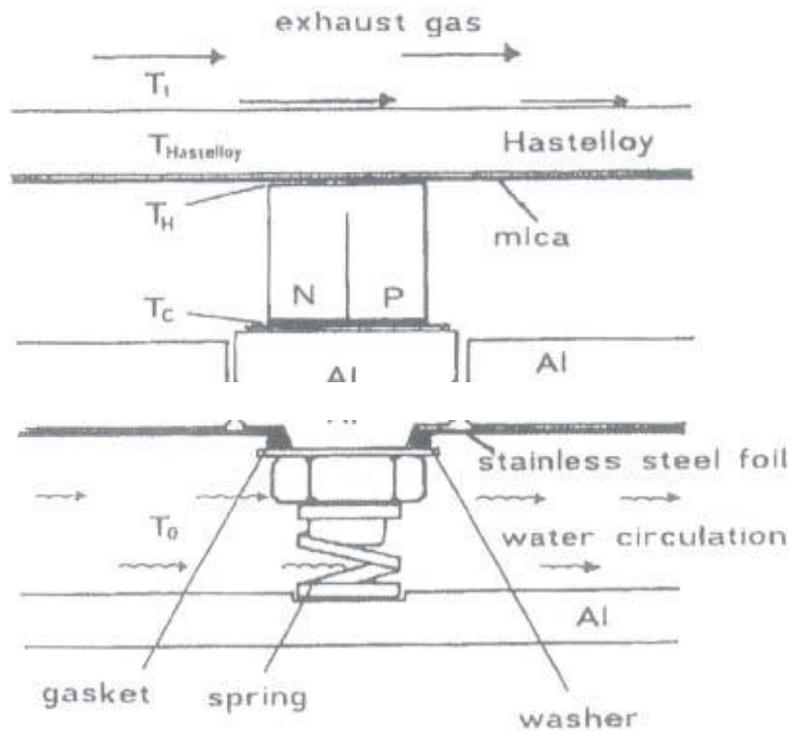


Figura 11 Construcción de alivio de tensión con una lámina de acero inoxidable [8]

Se proporcionó la fuerza necesaria por pilas de resortes Belleville situados en posiciones que coinciden con el centro de cada módulo termoeléctrico. Cada bloque de resorte se ajustó individualmente a la misma carga que está entre el lado posterior del conjunto de disipador de calor y uno de tres anillos flotantes de soporte de aluminio que rodean la TEG, ver esquema de la figura 11.

Con el fin de proporcionar una distribución uniforme de la temperatura en la cara de los módulos de TEG, el aluminio era normalmente elegido como el separador térmico entre las dos etapas del módulo de TE y los sumideros de calor y frío.

Los módulos termoeléctricos del TEG en se montaron para garantizar una presión de compresión de 200 psi (1,38 MPa) como recomienda para modelos Hi-Z. En este prototipo, en lugar de utilizar cerámica para evitar cortocircuito, se utiliza recubrimientos anodizados duros de aluminio en la superficie de los difusores de calor [1].

4. CONCLUSIONES

- Los materiales que generan propiedades termoeléctricas son representados generalmente por elementos del campo de los semiconductores, es decir, materiales tipo n y materiales tipo p, que corresponden a silicio o germanio con una cantidad específica de dopaje.
- Los materiales termoeléctricos sirven fundamentalmente para la creación de los generadores termoeléctricos, cuya función fundamental es la conversión de calor residual en energía eléctrica, que posteriormente será usada en distintas funciones específicas del automotor en la parte electrónica del mismo.
- El montaje del generador termoeléctrico constituye una parte fundamental de la aplicación y es dependiente de varios factores como son: peso, número de elementos y tamaño de los mismos, ya que del estudio se concluye que esto servirá para determinar su uso y puesta en aplicación en los automóviles.

5. RECOMENDACIONES

- Será necesario profundizar un estudio más completo en el campo de la eficiencia energética de los generadores termoeléctricos con el objeto de especificar la reducción de combustible con la implementación de estos dispositivos.
- La mejor comprensión de los materiales termoeléctricos implica una comprensión profunda de los materiales semiconductores, por lo que se requerirá un anexo sobre una investigación de los mismos.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] S.B. Riffat, Xiaoli Ma; Thermoelectrics: a review of present and potential applications; December 2002
- [2] Lon E. Bell; Cooling, Heating, Generating Power and Recovering Waste Heat with Thermoelectric Systems; september 2008
- [3] G. Jeffrey Snyder and Eric S. Toberer; Complex thermoelectric materials; 2008 Nature Publishing Group
- [4] J.-C. Zheng; Recent advances on thermoelectric materials; Front. Phys. China, 2008, 3
- [5] Joseph P. Heremans, Vladimir Jovovic, Eric S. Toberer, Ali Saramat, Ken Kurosaki, Anek Charoenphakdee, Shinsuke Yamanaka, G. Jeffrey Snyder; Enhancement of Thermoelectric Efficiency in PbTe by Distortion of the Electronic Density of States; 25 july 2008
- [6] Akram I. Boukai, Yuri Bunimovich, Jamil Tahir-Kheli, Jen-Kan Yu, William A. Goddard III, and James R. Heath; Silicon Nanowires as Highly Efficient Thermoelectric Materials—Supplementary Information
- [7] Wilfredo Blancarte Lizárraga. ; Efecto Peltier; iteso campus universitario: periférico Sur; 28 de septiembre del 2001

- [8] Jorge Vázquez, Miguel A. Sanz-Bobi, Rafael Palacios, Antonio Arenas; State of the Art of Thermoelectric Generators Based on Heat Recovered from the Exhaust Gases of Automobiles; España; 2000
- [9] Eric S. Toberer, Andrew F. May, G. Jeffrey Snyder; Zintl Chemistry for Designing High Efficiency Thermoelectric Materials; California; July 2, 2009