



Universidad Internacional del Ecuador

Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz

**Artículo de Investigación para la obtención del Título de Ingeniería en
Mecánica Automotriz**

**Generación de energía eléctrica a partir de celdas Peltier, aprovechando la energía térmica
disipada por el escape de un motor de combustión interna, para uso secundario en un
vehículo automotriz.**

Jorge Alberto Argüello Carrera

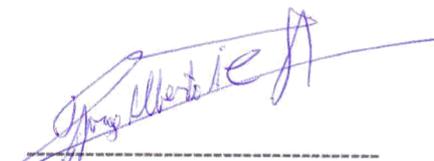
Byron Enrique Albán Dillon

Director: Ing. Juan Carlos Rubio Terán

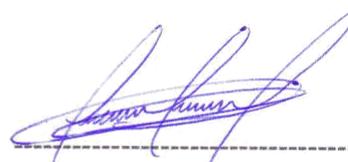
Quito, Febrero 2021

CERTIFICACIÓN

Por medio del presente certificado damos a conocer que el artículo presentado es de la autoría de Jorge Alberto Argüello Carrera y Byron Enrique Albán Dillon, nosotros declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra propiedad intelectual; este documento no ha sido presentado anteriormente en ningún grado o certificado profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.



Jorge Alberto Argüello Carrera



Byron Enrique Albán Dillon

Yo, JUAN CARLOS RUBIO TERAN, certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.



JUAN CARLOS RUBIO TERAN

DEDICATORIAS

Jorge Argüello

A mi padre, que me enseñó a amar los autos y estuvo conmigo siempre en este sueño, desde que veíamos carreras en la cuna, hasta la última noche de clases, dándole a la distancia fortaleza a mi alma para ser el estudiante y persona que soy; a mis abuelos que desde los orígenes más humildes siempre lucharon por lo mejor para sus hijos, y para que todo sea mucho mejor para sus nietos; y a mamá, cuyo amor incondicional me da vida y motiva a luchar por los sueños más grandes; los amo y gracias a ustedes aquí culmina la primera etapa del mayor sueño de mi vida, y sólo puedo decirles que siempre llevaré sus enseñanzas y su amor conmigo, hasta la cima del mundo!

Enrique Albán

Dedico este trabajo a las mujeres de mi vida, a mi novia, mi apoyo más grande y mi pilar, quien jamás me permitió desistir y con mucho amor me apoyo en las situaciones más difíciles de mi vida; y a mi madre, quien me ha llenado de fortaleza y amor para poder culminar todo este proceso y dar cada día lo mejor de mí mismo.

AGRADECIMIENTOS

Jorge Argüello

Agradezco a mi madre, que dedicó su vida a darme amor y formarme en una persona de bien, y no dudó en hacer cualquier sacrificio para que yo llegué hasta aquí; a mi familia, que siempre me hace sentir que aunque todo puede pasar, lo importante es tenerlos a ellos; a mi tía Mirian, que más que tía es mi otra madre, mi vida ha sido muy brillante gracias a ti, y nunca podré pagártelo, solo deseo hacerte muy orgullosa, y llegar a ser al menos la mitad de la profesional que eres, me enseñaste cuán importante es elegir hacer lo que uno ama en la vida y esa una de las lecciones más valiosas en la mía; a aquellos maestros que dejaron todo en cada clase, que solo tenían ganas de hacernos mejores profesionales y de paso sacarnos una sonrisa; y a mis amigos, quienes siempre son un pilar de apoyo y un alivio, todo es mejor con ustedes y por ustedes, gracias a todos, de corazón.

Enrique Albán

Agradezco a mi abuelo y a mi padre, quienes a pesar de ya no estar conmigo, nunca dejaron de confiar en mí, nunca dejaron de alentarme y siempre me apoyaron en mis estudios; agradezco también a la Universidad Internacional del Ecuador y a su facultad de Ingeniería Automotriz, donde hice grandes amigos, atravesé inolvidables experiencias y fundamente las bases de un sólido conocimiento.

Índice

CERTIFICACIÓN	iii
DEDICATORIAS	iv
AGRADECIMIENTOS	v
TEMA DE INVESTIGACIÓN	i
Resumen.....	ii
Abstract.....	iii
1) Introducción:.....	1
2) Efecto Termoeléctrico	1
3) Efecto Peltier & Efecto Thomson	2
4) Efecto Seebeck	2
5) Semiconductores.....	3
6) Dopado de semiconductores	3
7) Celdas Peltier.....	4
8) Fase de pruebas controladas	5
9) Fase de pruebas en condiciones de trabajo.....	10
10) Construcción del circuito para almacenar energía:.....	18
10) Conclusiones:	20
11) Recomendaciones:	21
12) Anexos:.....	23
13) Bibliografía.....	29

TEMA DE INVESTIGACIÓN

Aplicación de celdas Peltier como fuente alternativa de energía a partir de generación termoeléctrica, aprovechando la energía térmica disipada por el escape de un motor de combustión interna, para uso alternativo en un vehículo automotriz.

Ing. Juan Carlos Rubio Terán

UIDE, Quito, Ecuador

Email: jrubio@uide.edu.ec

Argüello Carrera Jorge Alberto

Estudiante egresado de la Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz

UIDE, Quito, Ecuador

Email: joarguelloca@uide.edu.ec

Albán Dillon Byron Enrique

Estudiante egresado de la Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz

UIDE, Quito, Ecuador

Email: byalbandi@uide.edu.ec

Resumen

En la actualidad la industria automotriz ha centrado esfuerzos en desarrollar tecnologías más eficientes y amigables con el medio ambiente, progresivamente desviando su independencia de los combustibles fósiles. Dicha industria ha tratado de implementar diferentes fuentes de generación de energía en los vehículos, pero pocos han sido los intentos por recuperar energía desperdiciada por un automotor, como lo han intentado compañías automotrices y aeroespaciales alemanas. Es por esto que el artículo presentado tuvo como finalidad implementar un sistema de conversión y recuperación de energía mediante la aplicación de elementos alternativos en un automotor, conocidos como celdas Peltier, las cuales son dispositivos electrónicos que debido a su estructura compuesta de semiconductores aprovechan sus propiedades para generar electricidad mediante el efecto termoeléctrico “Seebeck”; al colocar las celdas en el sistema de escape de un vehículo se genera transmisión de calor del sistema de escape hacia las celdas, permitiendo que en las caras de esta se genere un diferencial de temperatura, que a su vez va a inducir voltaje en los polos de las celdas. El propósito de la investigación fue generar en el vehículo una fuente de energía limpia que sea independiente de la carga eléctrica generada por el alternador del vehículo, para esto durante el proceso de aplicación se obtuvieron datos mediante pruebas empíricas con las celdas colocadas sobre el punto más caliente del sistema de escape, seleccionado con ayuda de un termómetro láser marca Fluke; las primeras pruebas se realizaron con una sola celda para conocer el comportamiento de las mismas en las condiciones normales de funcionamiento del motor; y posteriormente se probó con varias celdas y conexiones en serie y paralelo, lo cual permitió determinar que si es factible recuperar un valor de energía limpia lo suficientemente grande como para alimentar un consumidor de 5V que se utilice dentro del vehículo; logrando así que el usuario tenga una mayor cantidad de energía eléctrica a su disposición, generada a partir de la misma cantidad de combustible consumido por el motor.

Palabras Clave: Efecto termoeléctrico, efecto Seebeck, celda Peltier, semiconductores, temperatura, energía eléctrica, sistema de gases de escape.

Abstract

Currently the automotive industry has focused efforts on developing more efficient and environmentally friendly technologies, progressively deviating its independence from fossil fuels. This industry has tried to implement different sources of power generation in vehicles, but few have been the attempts to recover energy wasted by an automobile, as German automotive and aerospace companies have tried. This is why the last article sought to experiment with a means of energy conversion and recovery through the application of alternative elements in an automobile, known as Peltier cells, which are electronic devices that due to their structure composed of semiconductors take advantage of their properties to generate electricity through the thermoelectric effect "Seebeck"; Placing the cells in the exhaust system of a vehicle generates heat transmission from the exhaust system to the cells, allowing a temperature differential to be generated on the cell faces, which in turn will induce voltage across the poles. cells. The purpose of the research was to generate a clean energy source in the vehicle that is independent of the electrical load generated by the vehicle's alternator, for this, during the application process, data was obtained through empirical tests with the cells placed on the highest temperature point of the exhaust system, selected using a Fluke brand laser thermometer; The first tests were carried out with a single cell to find out their behavior under normal engine operating conditions; and later it was tested with several cells and connections in series and parallel, which allowed determining that if it is feasible to recover a clean energy value large enough to power a 5V consumer that is used inside the vehicle; thus achieving that the user has a greater amount of electrical energy at his disposal, generated from the same amount of fuel consumed by the engine.

Key Words: Thermoelectric Effect, Seebeck Effect, Peltier Cell, Semiconductors, Temperature, Electric Energy, Exhaust system

1) Introducción:

Desde los años 70 la industria automotriz ha centrado esfuerzos en desarrollar nuevas tecnologías para elevar la eficiencia y el rendimiento de los vehículos al reducir su consumo, así desarrolló sistemas más eficientes y modernos como por ejemplo inyección electrónica, sistemas de sobrealimentación, los frenos regenerativos, sistema start-stop, sistemas híbridos, eléctricos, entre otros. Esta corriente de desarrollo nos ha permitido elevar considerablemente la eficiencia de los motores y sus combustibles; aunque no se han implementado tecnologías de recuperación de energía termoeléctrica con celdas Peltier en vehículos de producción, BMW y el centro Aeroespacial Alemán desarrollaron en conjunto un prototipo de recuperación de energía térmica para transformarla en energía eléctrica; dicho prototipo fue probado exitosamente por más de 12.000 km, sin embargo las empresas involucradas no continuaron el proceso de desarrollo y este nunca se implementó en vehículos de producción.

Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente, en esta investigación se aprovechó la energía térmica disipada por el sistema de gases de escape de un motor de combustión interna, y se la transformó en energía eléctrica limpia; de forma inicial, con la ayuda de un pirómetro Fluke calibrado se identificó el punto con mayor temperatura del sistema de escape, siendo este el múltiple de escape, lugar donde se van a colocar dispositivos electrónicos, conocidos como celdas Peltier, que están constituidos por semiconductores, y recubiertos por cerámica. De esta manera, al exponer las celdas a una variación de temperatura entre sus caras se obtendrá energía eléctrica aprovechando el efecto termoeléctrico generado en las celdas, conocido como efecto "Seebeck"; todo esto sin ejercer ninguna carga adicional al motor, y sin alterar el consumo de combustible de este, generando a su vez una fuente de voltaje limpio de al menos 5V, siendo estos suficientes para alimentar distintos dispositivos con entrada USB.

2) Efecto Termoeléctrico

El punto de partida para comenzar esta investigación es entender los conceptos de energía térmica y energía eléctrica; la energía térmica se considera como la manifestación de energía en forma de calor, y también se puede manifestar como la energía interna de un cuerpo, esta depende de los enlaces y la estabilidad que tienen los átomos de los diferentes elementos, por lo que, a mayor movimiento de los átomos de un material, mayor será su energía térmica o calórica. La energía eléctrica se define como la energía que se produce cuando se mueven cargas eléctricas o electrones dentro de materiales conductores con una diferencia de potencial eléctrico en sus polos.

Debido a que el efecto termoeléctrico comprende tanto fenómenos de energía térmica, como de energía eléctrica, este puede ser considerado una rama de la termodinámica paralela a la electricidad donde se estudian fenómenos donde interviene la temperatura y la electricidad. Generalmente el término "efecto termoeléctrico" abarca tres efectos identificados separadamente, pero que se relacionan al mismo fenómeno, estos son: el efecto Seebeck, el efecto Peltier, y el efecto Thomson.

El fenómeno termoeléctrico que será estudiado en el desarrollo de esta investigación es la generación de electricidad mediante la aplicación de un gradiente de temperatura entre materiales semiconductores de tipo P y tipo N. Este fenómeno fue observado y descrito por el científico y físico alemán Thomas Seebeck, por quien se conoce este fenómeno.

El efecto termoeléctrico es la conversión directa de la diferencia de temperatura a corriente eléctrica y viceversa; es por esto por lo que un dispositivo termoeléctrico genera voltaje cuando la unión de dos metales semiconductores, llamada termopar, se somete a una diferencia de temperatura en

sus extremos, este es el antes mencionado efecto termoeléctrico Seebeck; en cambio, cuando circula corriente eléctrica a través de un termopar, se genera una transferencia de calor de un material al otro, es decir, uno se enfría mientras el otro se calienta, lo que se conoce como efecto termoeléctrico Peltier.

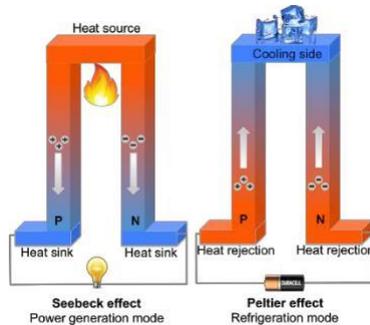


Figura 1:

Gráficos comparativos de efectos termoeléctricos

Fuente: <http://howthingswork.org/physics-thermoelectric-effect-physics-and-applications/2/>

El efecto termoeléctrico se aprovecha para aplicaciones de generación de electricidad, medición de temperatura, refrigeración o calefacción según la industria en que se implemente.

“La dirección de transferencia de calor es controlada por la polaridad de la corriente; invertir la polaridad cambiara la dirección de transferencia y así el signo del calor absorbido/producido” (Penalva, 2018).

Adicionalmente y como menciona Penalva, las celdas Peltier pueden cambiar la dirección en la que fluye la temperatura, es decir, que dependiendo de la conexión que se les dé a los polos de la celda, ambos lados de la celda pueden calentarse o enfriarse según la dirección del flujo de corriente.

3) Efecto Peltier & Efecto Thomson

“El efecto Peltier hace referencia al cambio en la temperatura producido por una unión entre dos metales semiconductores distintos cuando una corriente eléctrica atraviesa la unión.” (Penalva, 2018)

Es así como el efecto termoeléctrico conocido como “Efecto Peltier”, se define como el fenómeno de conducir corriente eléctrica a través de dos materiales

Semiconductores tipo P y tipo N, lo que ocasionara una transferencia de temperatura, haciendo que un material se enfríe y el otro se caliente, o viceversa al revertir la polaridad de alimentación.

“El efecto Thompson relaciona la f.e.m generada en un conductor homogéneo simple y la diferencia de temperatura entre sus extremos. Esta f.e.m crece con la diferencia de temperatura y depende del metal en cuestión. También se manifiesta en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula por un metal homogéneo en el que hay un gradiente de temperatura entre sus extremos.” (Penalva, 2018)

Tomando en cuenta lo mencionado por Penalva; al tener un conductor homogéneo, en el cual podamos generar una diferencia de temperatura, y podamos controlar el sentido de paso de corriente a través de este, el mismo podrá comportarse de dos maneras: absorberá calor, cuando la corriente eléctrica fluya del lado frío al más caliente; y liberara calor cuando la corriente eléctrica fluya del lado caliente al más frío. En otras palabras, si el calor y la corriente fluyen en sentidos distintos, se absorbe calor; pero si fluyen en el mismo sentido, se libera calor.

4) Efecto Seebeck

“Dicho efecto termoeléctrico es lo opuesto el efecto Peltier, donde se debe aplicar un voltaje para tener una diferencia de temperatura en las caras de la celda. El efecto Seebeck se centra en convertir la energía térmica desaprovechada, en energía eléctrica limpia...” (Herranz Pindado, 2008)

El efecto Seebeck se da cuando tenemos un termopar, es decir, dos materiales semiconductores tipo P y tipo N unidos, y los exponemos a una diferencia de temperaturas en sus extremos, entonces la celda producirá voltaje en sus polos, ya que la temperatura obliga a que aumente la excitación de los electrones del material tipo N, logrando que ocupen huecos en los orbitales del material tipo P, generando circulación de corriente eléctrica, inducida

por la diferencia de temperatura entre materiales.

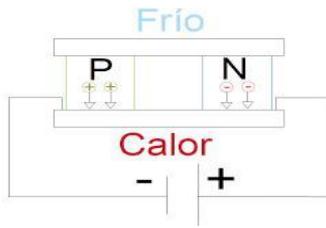


Figura 2: Condiciones necesarias para que se dé el efecto Seebeck

Fuente: Penalva 2018 (p. 17)

5) Semiconductores

En cuanto al efecto termoeléctrico la teoría señala que se trata directamente de la conversión de energía térmica en energía eléctrica o viceversa, esto gracias a una unión bimetalica de conductores o semiconductores con diferente número de electrones de valencia, lo que permite que al aplicar un estímulo se genere un flujo de corriente gracias a la estructura de electrones o huecos en exceso que tienen los semiconductores extrínsecos o que no se encuentran en estado puro.

El efecto termoeléctrico se da gracias a la combinación de los semiconductores, estos materiales de acuerdo a su composición atómica se pueden comportar tanto como conductores o como aislantes. Este comportamiento se da cuando se añaden impurezas negativas o positivas a los semiconductores puros, es decir átomos que tienen electrones o huecos libres en su estructura atómica; este proceso se conoce como dopaje de semiconductores, el cual permite generar una corriente eléctrica o temperatura entre los extremos de la unión de los semiconductores cuando reciben estímulos como corriente, temperatura, presión, radiación, entre otros.

Los semiconductores en estado puro se conocen como semiconductores intrínsecos, estos tienden a tener casi o totalmente lleno el último orbital de átomos o capa de valencia, lo que significa que tienden a generar enlaces covalentes y por ende carecen de electrones libres o huecos que permitan el flujo de corriente, por lo que se comportan como aislantes; en cambio los

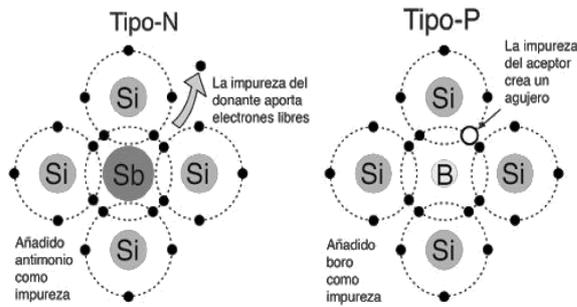
semiconductores extrínsecos son materiales a los que se les añadió impurezas positivas o negativas, lo que permite que al excitarse sus electrones, se generen electrones libres, o huecos libres que permiten el flujo de corriente o temperatura entre los polos del material.

6) Dopado de semiconductores

Los diferentes materiales en su forma pura tienen una composición atómica determinada, que define las características de estos, es por esto que los metales tienden a ser materiales conductores y los plásticos materiales aislantes, estas propiedades son muy útiles en diferentes aplicaciones industriales, pero se crea un inconveniente cuando se necesita que un material tenga la capacidad de conducir y aislar corriente.

Los semiconductores intrínsecos son materiales en estado puro, por lo que tienen su última capa de electrones de valencia completa con 8 electrones, completando lo que se conoce como el octeto estable, es decir todos los átomos de valencia de su último orbital se enlazan con otros átomos, permitiendo así una estructura cristalina que no facilita el paso de corriente; para esto se crean los semiconductores extrínsecos, los cuales son semiconductores que se impurifican con otros materiales para modificar su estructura atómica y así evitar que se complete el octeto estable y por ende, modificar las características de los materiales.

El proceso de añadir impurezas a los semiconductores se llama dopaje de semiconductores y nos permite obtener semiconductores tipo P o positivos, que tienen una carga adicional de huecos libres en su estructura; y también conductores tipo N o negativos, los cuales llevan una carga adicional de electrones libres en su estructura. Cuando se agregan impurezas trivalentes significa que los átomos de la capa de valencia de un material llevan sólo 3 electrones en su último orbital, lo que genera un hueco al combinarse con un conductor intrínseco de 4 electrones de valencia, por lo que se da un exceso de huecos o ausencia de electrones al intentar completar el octeto estable, obteniendo un semiconductor tipo P;



en cambio cuando al mismo material de valencia 4 se añaden impurezas de semiconductores pentavalentes significa que se añade un material cuyos átomos tienen 5 electrones en su capa de valencia, lo que dará paso a que sobren electrones cuando se quiera completar el octeto estable, es decir será un semiconductor tipo N.

El Teluro de Bismuto es actualmente el material semiconductor más utilizado en la industria debido a su abundancia y a que tiene un alto coeficiente Seebeck, mientras tiene una de las más bajas conductividades térmicas de todos los materiales, lo que permite que sea un material sumamente apto para aplicaciones termoeléctricas; durante el proceso de dopaje, el porcentaje de impurificación de que se agregue definirá si este será un material tipo P o tipo N.

7) Celdas Peltier

La celda de Peltier es un dispositivo termoeléctrico que, dependiendo de su aplicación, puede ser usado para generar corriente eléctrica a partir de una diferencia de temperatura o viceversa; este fenómeno se debe a que estas celdas aprovechan las características estructurales de los semiconductores que las conforman para generar el efecto termoeléctrico necesario.

La celda está compuesta externamente por placas cerámicas que están dispuestas en ambas caras grandes de la celda, y por dentro llevan pistas de cobre que permiten unir los semiconductores para obtener termopares con un material tipo P y otro tipo N y así cerrar el circuito internamente. En caso de alimentar la celda con una corriente eléctrica, la polarización de la celda dictará si esta gana o pierde temperatura, mientras que si se genera una diferencia de

Figura 3:

Dopaje de semiconductores tipo N y tipo P **Fuente:** <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbases/Solids/dope.html>

temperatura entre las caras de la celda obtendremos flujo de corriente.

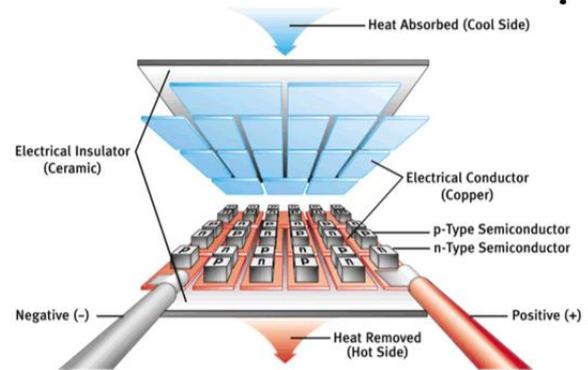


Figura 4:

Gráfico referencial de la constitución interna de una celda Peltier

Fuente: Pérez 2018 (p. 21)

“Las células que se comercializan en el mercado esencialmente están compuestas por dos tipos de elementos semiconductores: telurio de bismuto y seleniuro de antimonio” (Sandoval, Espinosa & Barahona, 2010)

“Una célula o celda Peltier mueve energía calorífica desde la placa fría a la placa caliente a través del control de la energía eléctrica proporcionada por una fuente de alimentación” (García, 2011, pág. 12)

Dichas celdas poseen varias ventajas gracias a los materiales que las componen; según García, estas celdas pueden variar su temperatura si se aplica un flujo de corriente eléctrica, pero también pueden generar un flujo de corriente eléctrica si creamos una diferencia de temperatura entre las placas de la celda. Todo esto lo podemos obtener gracias a la reacción de sus materiales con la temperatura y el sentido de flujo de la corriente.

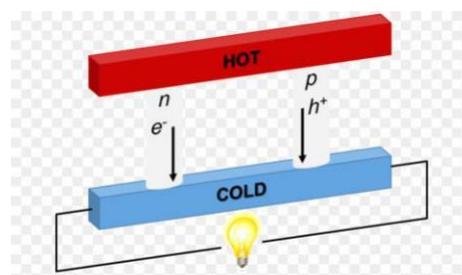


Figura 5:

Comportamiento de termopares ante estímulos de calor.

Fuente: <https://www.klipartz.com/es/sticker-png-gbjek>

Los materiales que constituyen los diferentes tipos de celdas Peltier, influyen gradualmente en el precio y desempeño de estas, y dependen estrictamente del campo de aplicación que se le dará a un dispositivo termoeléctrico.

Los semiconductores dopados más utilizados para la elaboración de dispositivos termoeléctricos son:

*“antimonio-zinc
silicio-germanio
bismuto-telurio
plomo-estaño-telurio”
(Bollati, 2007)*

Las celdas Peltier que se van a implementar se denominan TEC1-12706, ya que son las más económicas y con mayor disponibilidad en el mercado, están compuestas de Teluro de Bismuto de tipo P y tipo N en su interior y recubiertas en el exterior por capas cerámicas.

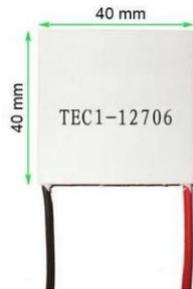


figura 6:

Dimensiones de una celda Peltier TEC1- 12706

Fuente: <https://www.alldatasheet.com>

Las celdas Peltier se usan en la actualidad en una gran cantidad de artefactos electrónicos debido a su amplio rango de aplicación, sobre todo en aplicaciones de control de temperatura, sus aplicaciones más conocidas son:

- Aumentan o disminuyen su temperatura, dependiendo del sentido de la circulación de corriente eléctrica por la celda; esto quiere decir que podemos desarrollar aplicaciones de calefacción o de refrigeración según

la polarización de la celda; algunos ejemplos de estas aplicaciones pueden ser refrigeradoras portátiles, enfriadores de alimentos o medicinas, calefactores portátiles, o como sensores térmicos que detectan la fluctuación de temperatura.

- También pueden ser usadas para que, al momento de inducir una diferencia de temperatura entre sus caras, puedan entregar corriente eléctrica por sus polos, al convertirse en un generador, como menciona Ramírez: *“Las compañías de automóviles alemanas Volkswagen y BMW han desarrollado generadores termoeléctricos que recuperan el gasto de calor de una máquina de combustión.... BMW y el Centro Aeroespacial Alemán han desarrollado también un generador termoeléctrico, impulsado por el tubo de escape y se ha utilizado exitosamente por más 12000 km de uso en carretera” (Ramírez, 2017)*

8) Fase de pruebas controladas

Para iniciar con la fase de pruebas de las celdas es necesario tener una idea de qué condiciones de funcionamiento demandan las celdas Peltier para entregar determinados valores de voltaje, es por esto que la primera prueba se llevó a cabo en un ambiente controlado, donde la temperatura caliente y frías son constantes mientras recopilamos los datos de voltaje entregado por una celda:

Es importante recalcar que todos los procedimientos y diagramas establecidos durante la investigación fueron realizados de manera empírica y tres veces como mínimo para reducir los márgenes de error en la toma de datos; se decidió realizar estos procedimientos de manera empírica ya que tras una minuciosa búsqueda, no se logró recopilar ningún tipo de procedimiento estandarizado ni esquema que sirva como guía para realizar los diferentes tipos de pruebas con las celdas Peltier, sin embargo, se siguieron las recomendaciones de uso del fabricante del pirómetro Fluke 561, el cual

fue calibrado bajo la norma TH-002 para calibración de termómetros de radiación infrarrojos del CEM (Centro Español de Metrología). El equipo de trabajo se vio en la necesidad de realizar distintos tipos de pruebas que puedan ajustarse a la aplicación específica realizada con las celdas; una vez que se tuvo certeza de la fiabilidad del equipo de medición, se recolectó los datos pertinentes. El certificado de calibración del equipo utilizado se adjunta en los anexos 19 y 20



Prueba controlada con una sola celda

- 1) Para realizar la primera prueba los materiales necesarios son una la celda Peltier, papel aluminio, un tazón con hielo, caudín, multímetro y pirómetro.
- 2) Se debe cubrir el caudín con el papel aluminio para lograr una superficie más grande que pueda transferir mayor temperatura y de manera uniforme sobre la cara caliente de la celda Peltier

- 3) Colocamos el recipiente con hielos de forma que garantice una superficie uniforme con temperatura fría constante sobre la que se coloca la cara fría de la celda Peltier, a la vez que se aplica un estímulo de calor sobre la cara caliente de la celda con la ayuda del caudín y una cobertura uniforme de papel aluminio.
- 4) Para conocer los valores de voltaje se colocan las puntas del multímetro respetando la polaridad de la celda



Figura 7:

Pruebas con estímulos de caudín y hielo con una celda
Fuente: Argüello J., Albán E.

Para obtener los valores mostrados a continuación se siguió el siguiente proceso de medición, tomando en cuenta los símbolos de la norma DIN para elaborar diagramas de flujo:

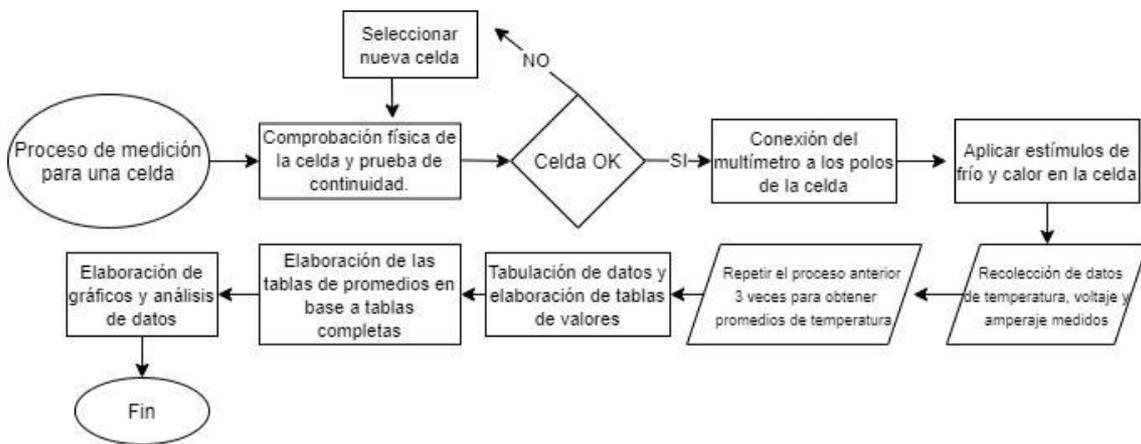


Diagrama 1:

Proceso seguido para realizar la prueba con celda única

Fuente: Argüello J., Albán E.

Las siguientes aclaraciones se aplican para todos los diagramas incluidos en el documento:

- El proceso de comprobación física, consiste en verificar que no existan

- ningún tipo de daño aparente en las caras externas de las celdas
- La prueba de continuidad se lleva a cabo para determinar que el circuito interno de las celdas no esté abierto, ya que una mínima fisura o daño en la celda,

compromete su correcto funcionamiento.

Los valores de temperatura superaron los 200 grados Celsius debido a que el cautín usado en la prueba fue recubierto con varias

capas de aluminio, lo cual concentró mucha temperatura.

PRUEBA CON CELDA ÚNICA						
Valores en:			ESCALA 1		ESCALA 2	
°C	V	mA	T caliente	Δ Temperatura	T fría	Voltaje
1 min	160	159,9	0,1	1	0,07	
2 min	235	234,4	0,6	1,8	0,16	
3 min	300	298,8	1,2	1,9	0,32	
4 min	380	378,5	1,5	2,4	0,42	
5 min	418,26	416,66	1,6	2,5	0,48	
6 min	422	420,5	1,7	2,7	0,58	
7 min	423	421	2	2,8	0,64	

Tabla 1: Promedios de valores medidos en la primera prueba controlada
Fuente: Argüello J., Albán E.



Gráfico 1: Representación gráfica del comportamiento de una celda bajo condiciones controladas.
Fuente: Argüello J., Albán E.

Análisis de resultados de la prueba con celda única:

- De los valores obtenidos en cuanto al voltaje, se puede observar que el comportamiento de las celdas es progresivo y dependiente de la diferencia de temperatura entre las caras de las celdas, por lo que los valores de voltaje aumentan

hasta casi 3V al tener una diferencia de temperatura de alrededor de 421° C, cabe recalcar que los equipos de medición utilizados fueron calibrados previamente, sin embargo debido a las condiciones de aplicación de las celdas, no se puede realizar una medición directa, y por ende obtener valores de temperatura 100% reales.

- Al ver la curva del amperaje se puede observar que, pese a que las celdas producen valores aceptables de voltaje al someterse a altas diferencias de temperatura, los valores de intensidad de corriente son prácticamente despreciables al apenas sobrepasar los 0.5 mA bajo la mayor diferencia de temperatura de la prueba.
- Según las curvas de temperatura, podemos apreciar que los valores máximos (TC) y mínimos (TF) son sumamente elevados debidos a las condiciones controladas de la prueba, por lo que se espera una pérdida de rendimiento de las celdas al aplicarse en condiciones reales de trabajo.
- Los valores mostrados en la tabla son promedios obtenidos a partir de los valores observados al repetir 3 veces cada

medición realizada para minimizar el error de medición, debido a los inconvenientes mencionados en el primer punto de este análisis; la tabla completa que fue la base para elaborar la tabla presentada en este análisis es el anexo # 8

➤ *Prueba de conexiones en serie y paralelo*

Una vez que ya contamos con los datos iniciales de una sola celda, los que demuestran que una sola celda no es capaz de proporcionar el voltaje requerido se debe probar diferentes conexiones con varias celdas para conocer cual facilita el funcionamiento de las celdas para recuperar 5V, y así determinar cuántas celdas son necesarias para la aplicación deseada.

Para obtener los valores mostrados a continuación se siguió el proceso mostrado en el anexo # 14

PRUEBA DE CONEXIÓN EN SERIE						
Valores en:			ESCALA 1		ESCALA 2	
°C	V	mA	T caliente	Δ Temperatura	T fría	Voltaje
1 min	197	196,9	0,1	0,78	0,07	
2 min	228	227,7	0,3	1	0,13	
3 min	261	260,4	0,6	1,8	0,27	
4 min	273	272	1	2	0,3	
5 min	280	278,6	1,4	2,7	0,35	

Tabla 2: Promedios de los valores medidos en la segunda prueba controlada.
Fuente: Argüello J., Albán E

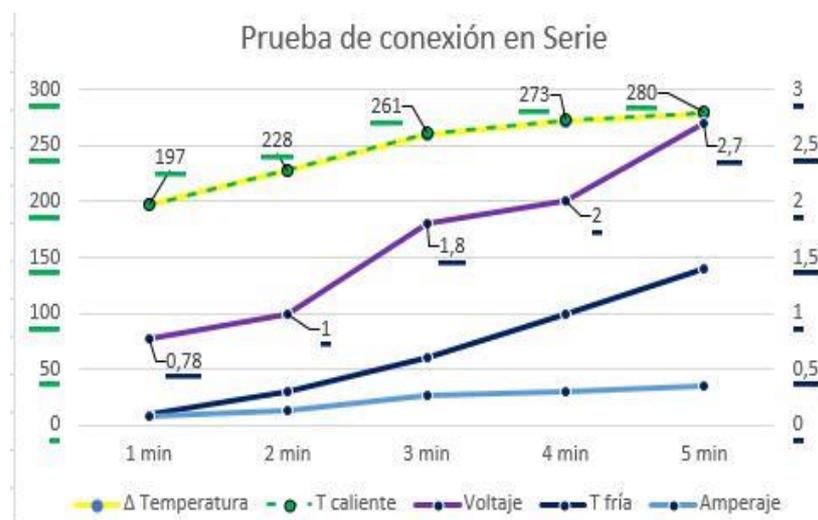


Gráfico 2: Representación gráfica del comportamiento de dos celdas en serie y bajo condiciones controladas
Fuente: Argüello J., Albán E

Análisis de resultados de la prueba con dos celdas en serie:

- Al medir voltaje en la prueba con dos celdas en serie puede observar que el comportamiento de las celdas se mantiene progresivo y dependiente de la diferencia de temperatura que existe entre las caras de las celdas, por lo que los valores máximos de voltaje se mantienen cercanos a los 3V al tener una diferencia de temperatura de alrededor de 280° C, cabe recalcar que los valores de temperatura caliente medidos se redujeron debido a que se duplicó la zona de contacto de las celdas, mientras se mantuvo el mismo foco de calor proporcionado anteriormente; sin embargo los valores de voltaje se mantienen similares a la primera prueba aunque se haya reducido el diferencial de temperatura, debido a que se aumentó una celda Peltier conectada en serie, para aumentar el voltaje de salida del arreglo de celdas.
- Al ver la curva del amperaje nuevamente se puede observar que, aunque se generen valores considerables de voltaje, debido a las características de las

celdas y la conexión que favorece la obtención de voltaje, los valores de intensidad de corriente son prácticamente despreciables al caer por debajo de los 0.5 A bajo la mayor diferencia de temperatura de la prueba.

- Según las curvas de temperatura, podemos apreciar que los valores máximos (TC) y mínimos (TF) son sumamente elevados debidos a las condiciones controladas de la prueba, por lo que se espera una pérdida de rendimiento de las celdas al aplicarse en condiciones reales de trabajo
- Los valores mostrados en la tabla son solo promedio para ambas celdas, obtenido a partir de los valores observados al repetir 3 veces cada medición realizada en el arreglo de 2 celdas para minimizar el error de medición, debido a los inconvenientes mencionados previamente; la tabla completa que fue la base para elaborar la tabla presentada en este análisis es el anexo # 9

Para obtener los valores mostrados a continuación se siguió el proceso mostrado en el anexo # 15

PRUEBA DE CONEXIÓN EN PARALELO						
Valores en:			ESCALA 1		ESCALA 2	
°C	V	mA	T caliente	Δ Temperatura	T fría	Voltaje
1 min			180	179,9	0,1	0,8
2 min			196	195,8	0,2	1
3 min			213	212,6	0,4	1,3
4 min			240	239,5	0,5	1,9
5 min			247	246,7	0,3	2,2

Tabla 3: Promedios de los valores medidos durante la tercera prueba controlada

Fuente: Argüello J., Albán E

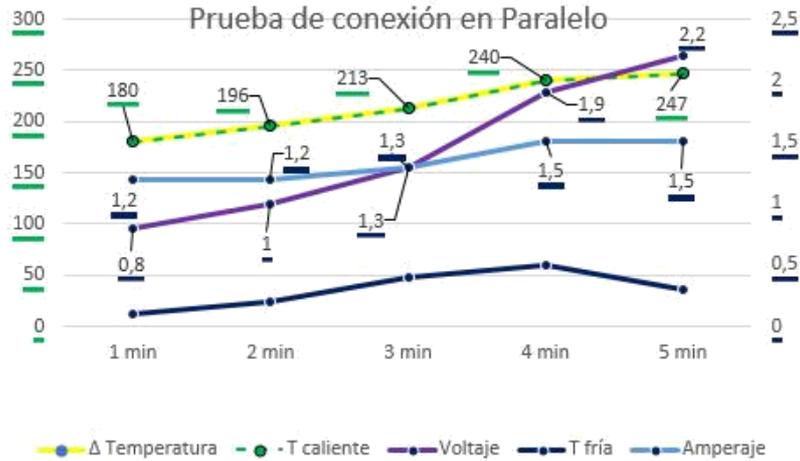


Gráfico 3: Representación gráfica del comportamiento de dos celdas en paralelo y bajo condiciones controladas
Fuente: Argüello J., Albán E

Análisis de resultados de la prueba con dos celdas en paralelo:

- Al realizar la medición de voltaje en una prueba con dos celdas con conexión en paralelo se puede observar que el comportamiento de las celdas se mantiene progresivamente dependiente de la diferencia de temperatura existente entre las caras de las celdas, aunque al cambiar a una conexión que favorece la intensidad de corriente, se puede notar una disminución en los valores de voltaje obtenidos anteriormente, por lo que los valores de voltaje se mantuvieron cercanos a los 2V durante la mayoría de la prueba, llegando a un pico de 2.2 V al tener una diferencia de temperatura de alrededor de 247° C; sin embargo, cabe recalcar que los valores más significativos obtenidos de esta prueba son los correspondientes al amperaje.
- Al ver la curva del amperaje, a diferencia de las pruebas anteriores, se puede observar que, pese a que se redujeron los valores de voltaje, debido al cambio de conexión, esto también propició que se multipliquen los valores de amperaje vistos en las pruebas anteriores, llegando así a un pico máximo de amperaje medido de 1.5 mA y después de haberse mantenido siempre por sobre 1 mA durante toda la prueba.
- Nuevamente se pudo notar un descenso en los valores de temperatura medidos debido al uso prolongado del caudín y la

base fría de hielos, lo que genera que se haya reducido el diferencial de temperatura, en las caras de la celda, sin embargo, esta diferencia de temperatura permitió que se obtengan valores aceptables de voltaje de un arreglo de dos celdas en paralelo, aunque también quedó claro que sin importar la conexión con la que se conecten las celdas, los valores de intensidad de corriente que se recuperan con las mismas son casi despreciables, aunque prácticamente se hayan triplicado en la última prueba, por lo que es necesario compensar el amperaje que no se recupera con las celdas.

- Los valores mostrados en la tabla son un solo promedio para ambas celdas, que se obtuvo a partir de los valores observados al repetir 3 veces cada medición realizada en el arreglo de 2 celdas; todo esto con el fin de minimizar el error de medición, debido a los inconvenientes mencionados previamente; la tabla completa que fue la base para elaborar la tabla presentada en este análisis es el anexo # 10

9) Fase de pruebas en condiciones de trabajo

Una vez realizadas las pruebas del comportamiento de las celdas y sus conexiones bajo condiciones controladas, es momento de realizar una aplicación inicial en la zona en la que se va a instalar el arreglo de celdas para realizar pruebas y obtener valores del comportamiento de las celdas bajo condiciones

reales de funcionamiento; ya que hay una menor diferencia de temperatura que se genera en la zona de aplicación; por lo que para esta prueba se procede a montar 3 celdas Pel-tier, con la intención de registrar los datos de funcionamiento de las celdas bajo la diferencia de temperatura que se genera en el punto de aplicación y con una conexión en serie que permite que se sumen todos los valores de voltaje de las celdas.

A) Esta parte del procedimiento de pruebas ya se realiza sobre el vehículo en el que se busca aplicar las celdas, el primer paso es identificar el punto que acumula mayor temperatura en el sistema de escape y que permita generar la mayor diferencia de temperatura en las caras de la celda; en este caso para el modelo utilizado, un Suzuki Forsa 2 1995, la zona ideal de aplicación se seleccionó después de realizar mediciones de temperatura con un pirómetro láser calibrado de marca Fluke, así se seleccionó como zona de aplicación el múltiple de escape, ya que es el punto de mayor temperatura del sistema de gases de escape y a su vez enfrenta directamente al flujo de aire frontal que fluye para refrigerar el motor, por lo que es el punto del sistema de escape que facilita obtener la mayor diferencia de temperatura.

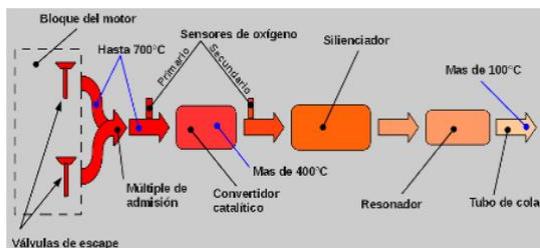


Figura 8: Referencia de temperaturas del sistema de escape

Fuente: <https://talleractual.com/tecnica/partes-de-motor/2352-motores-el-sistema-de-escape>

B) Una vez determinada el área de aplicación, se les hacen pequeñas adecuaciones a las celdas; en la cara fría de cada celda se colocó un dissipador de calor para disipar el exceso de calor generado en el múltiple de escape, y en cada cara caliente se colocó una capa de papel aluminio para mejorar la transmisión de temperatura del múltiple de escape hacia las celdas, estas mejoras se aplicaron con el fin de generar la mayor diferencia

de temperatura entre las caras de las celdas, para obtener el mayor valor de voltaje posible.

C) Al tener las celdas listas para su instalación, se retira el dissipador de calor del múltiple de escape, ya que debido a su forma y posición es idóneo para utilizarlo como soporte para las celdas, para esto procedemos a adaptar sobre este un arnés metálico en el que se van a montar las celdas; una vez que las celdas están sujetas apropiadamente al arnés, se conectan en serie y se verifican todas las conexiones.



Figura 9: Dissipador de escape donde se montan las celdas

Fuente: Argüello J., Albán E.



Figura 10:

Arnés metálico de sujeción de las celdas al dissipador de calor del múltiple de escape.

Fuente: Argüello J., Albán E.

D) Se vuelve a instalar todo el prototipo nuevamente en el múltiple de escape mediante los pernos del dissipador de calor, una vez co-locado el arnés se debe encender el vehículo para que llegue a su temperatura de funcionamiento mientras se registran los datos de la celda por medio de un multímetro, siempre respetando la polaridad del arreglo de celdas.



Figura 11:

Arreglo inicial de 3 celdas, con una capa de aluminio y disipadores para mejorar su rendimiento **Fuente:** Argüello J., Albán E.



Figura 12:

Arreglo inicial de celdas y dispositivo de medición utilizado.

Fuente: Argüello J., Albán E.

Para obtener los valores mostrados a continuación se siguió el proceso mostrado en el anexo # 16

PRUEBA CON 3 CELDAS MONTADAS						
Valores presentados		ESCALA 1		ESCALA 2		
°C	V	T caliente	Δ Temperatura	T fría	Voltaje	
		P1	50,60	15,73	34,87	0,143
		P2	62,83	21,30	41,53	0,304
		P3	74,60	30,30	44,3	1,04
		P4	84,60	31,67	52,93	1,44
		P5	100,77	44,77	56	2,03
		P6	109,17	46,27	62,9	2,13

Tabla 4: Promedios de los valores medidos en la primera prueba en condiciones de trabajo

Fuente: Argüello J., Albán E.

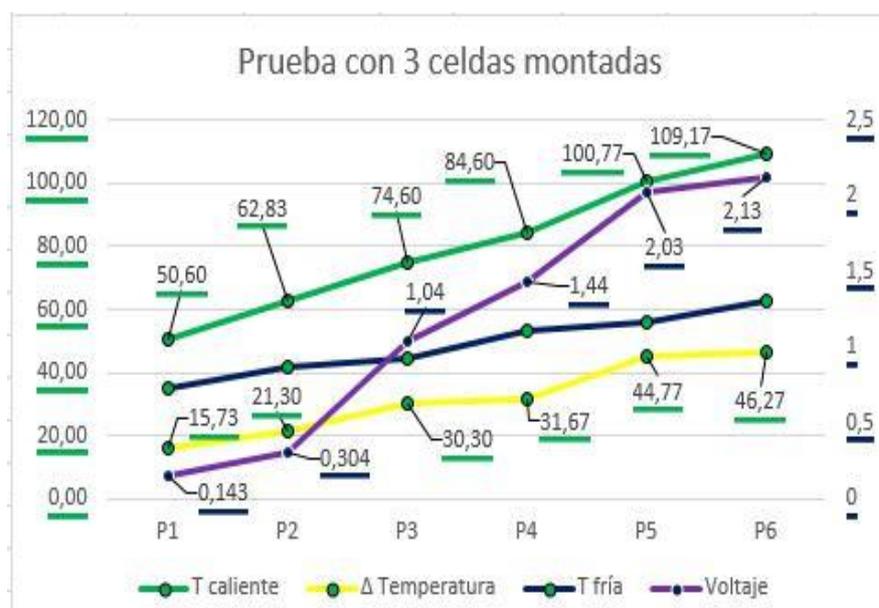


Gráfico 4: Representación gráfica del comportamiento de 3 celdas en serie montadas en el punto de aplicación

Fuente: Argüello J., Albán E.

Análisis de resultados de la prueba con 3 celdas montadas:

- Al tomar las mediciones de la prueba con las 3 celdas aplicadas directamente sobre el foco de calor seleccionado en el vehículo se pudo observar que el voltaje tuvo con comportamiento similar a la prueba realizada con las dos celdas en serie bajo condiciones controladas, ya que se obtuvieron valores cercanos a los 2 V durante el período de prueba de una hora.
- Cabe recalcar que como se esperaba, se mostró un descenso claro en los valores de temperatura medidos, debido a la zona de aplicación de las celdas, sin embargo, pudimos apreciar cómo se pudo igualar, y superar los valores obtenidos en las pruebas controladas al añadir una celda al arreglo, por lo que podemos determinar que con una o dos celdas más se podrá llegar al voltaje necesario para alimentar el consumidor deseado.
- Los valores medidos también muestran los resultados esperados de una temperatura fría más elevada, debido a que es imposible aproximarse a los valores de 0° C con los que se realizaron las pruebas controladas; aun así, con temperaturas frías promedio de entre 35 y 63° C se pudieron generar diferencias de temperatura de entre 16 y 43 ° C, lo que permitió producir aproximadamente 0.71 V por cada celda del arreglo.
- Durante este nuevo proceso de medición se pudo notar claramente la alta sensibilidad de las celdas a las variaciones de temperatura, ya que mostraban notables fluctuaciones de

voltaje según las condiciones de movimiento del vehículo, por lo que se debe mejorar el proceso de sellado en la próxima prueba.

- En este proceso de medición se realizó una medición por cada celda del arreglo, por lo que los valores mostrados en la tabla son promedios de temperatura de todo el arreglo de celdas obtenidos a partir de la tabla completa de valores que se muestra en el anexo # 11

Al analizar los datos obtenidos en las pruebas anteriores con el arreglo de 3 celdas, este notó que este requería añadirle al menos una celda para alcanzar los voltajes deseados, sin embargo también requería la aplicación de más y mejores capas de aislante para sellar las caras de las celdas y así evitar que estas sean en extremo sensible a los cambios de movimiento del vehículo; por lo que sobre la capa anterior de aluminio se colocó una capa de cartón, que evita el contacto directo, y por ende la transferencia de calor entre capas de aluminio, y otra capa exterior de aluminio con la finalidad de evitar fugas de aire hacia el lado caliente del arreglo de celdas.



Figura 13: Arreglo de 4 celdas con más capas de aislante

Fuente: Argüello J., Albán E.

Para obtener los valores mostrados a continuación se siguió el proceso mostrado en el anexo # 17

PRUEBA CON 4 CELDAS MONTADAS					
Valores presentados		ESCALA 1		ESCALA 2	
°C	V	mA	T caliente Δ Temperatura	T fría	Voltaje Amperaje
P1	53,03	5,05	47,98	0,162	18,3
P2	59,58	8,83	50,75	0,245	26
P3	72,38	19,23	53,15	0,765	32,2
P4	82,35	22,75	59,60	1,24	42,4
P5	100,65	31,58	69,08	2,29	52
P6	109,30	46,70	62,60	3,35	74

Tabla 5: Promedios de los valores medidos en la segunda prueba en condiciones de trabajo
Fuente: Argüello J., Albán E.

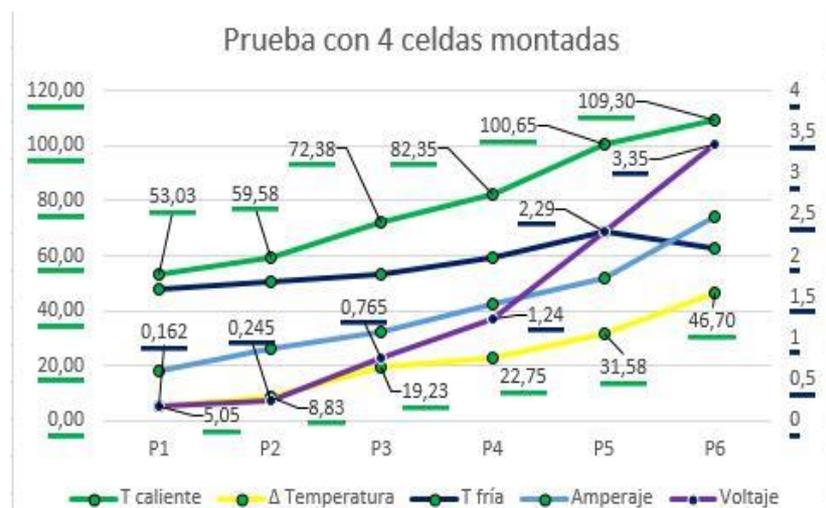


Gráfico 5: Representación gráfica del comportamiento de 4 celdas en serie y montadas con doble capa de aluminio
Fuente: Argüello J., Albán E.

Análisis de resultados de la prueba con 4 celdas montadas:

- Al obtener las mediciones de la prueba con las 4 celdas aplicadas directamente sobre el foco de calor seleccionado en el vehículo se observó nuevamente que el voltaje del arreglo de celdas tiende a subir cuando se somete a una mayor diferencia de temperatura y si se aumenta el número de celdas, de esta manera se logró superar la barrera de los 3V, pese a que nuevamente se pudo evidenciar excesiva sensibilidad de las celdas a los cambios de temperatura generados por el vehículo.
- Es importante mencionar que con los cambios en el proceso de sellado realizado se esperaba que las celdas sean menos sensibles al cambio de temperatura, sin embargo se midieron

valores de temperatura similares a los medidos en la prueba anterior, resultados que junto con la inestabilidad de la medición demuestran que es necesario realizar un mejor sellado del prototipo para mantener de mejor manera el calor en la cara caliente de las celdas, y así maximizar la diferencia de temperatura generada, aunque con el aumento de la celda y el sellado mejorado realizado se lograron valores máximos de 3,35 V, superando así los valores medidos anteriormente al producir aproximadamente 0,838V por celda, por lo que se pudo concluir que aumentando una celda más y perfeccionando el proceso de sellado se puede alcanzar un valor cercano a 5V, el cuál es requerido para que sea una fuente de voltaje útil para el usuario dentro del habitáculo del vehículo.

- Como parte de esta prueba también se realizó una medición de amperaje con la intención de reafirmar la conclusión obtenida en las pruebas controladas de que la intensidad de corriente recuperada por las celdas es prácticamente despreciable; la prueba efectivamente demostró que las celdas al utilizar una conexión en serie, que es la conexión que favorece la obtención de voltaje con estas, producen valores de amperaje menores a los 100 mA, por lo que se puede concluir que aunque se aumenten más celdas o incluso se utilice otra conexión, no es factible recuperar valores considerables de amperaje, por lo que estos deben compensarse por medios ajenos al arreglo de celdas.

- En este proceso de medición se realizó una medición por cada celda del arreglo, por lo que los valores mostrados en la tabla son promedios de temperatura de todo el arreglo de celdas obtenidos a partir de la tabla completa de valores que se muestra en el anexo # 12

➤ *Prueba del prototipo Final*

Gracias a las pruebas anteriores, se pudo determinar que el voltaje que se desea obtener es alcanzable, pero para ello es necesario mejorar el arnés elaborado previamente, para que permita generar una mayor y más estable diferencia de temperatura, logrando así que los valores medidos no sean tan susceptibles al movimiento del vehículo; también es necesario colocar una quinta celda en serie para elevar los valores de voltaje que se obtienen con el arreglo de celdas.

Debido al aprendizaje de las pruebas anteriores, se añadió una quinta celda al arreglo, pero sobre todo se realizó un meticuloso trabajo de sellado de las caras de las celdas, procurando que este sea lo más compacto y hermético posible para que en la cara caliente del arreglo se concentre lo mejor posible el calor y sobre todo no pasen corrientes frías del exterior; al igual que en la cara fría garantizar la mayor superficie posible de intercambio de calor para maximizar la diferencia de temperatura, y por ende el voltaje

obtenido con el arreglo de celdas; para el nuevo proceso de sellado que se menciona se elaboró nuevamente desde 0 el prototipo con capas de aluminio, cartón y aluminio, todas en ese orden y con una capa de pasta térmica para mejorar la transferencia de calor entre las diferentes capas de sellado.

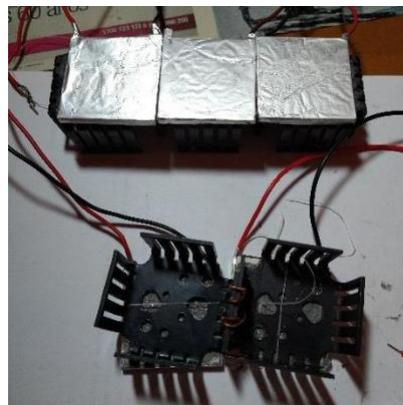


Figura 14:
Arreglo final de celdas con la capa inicial de sellado con pasta térmica y papel aluminio. **Fuente:** Argüello J., Albán E.



Figura 15:
Sellado de la cara caliente del arreglo de celdas. **Fuente:** Argüello J., Albán E.

- Con el prototipo desmontado del múltiple de escape, se adjunta una nueva celda con su respectivo disipador de calor, se realiza la conexión en serie, para así sumar los voltajes de cada celda y obtener el voltaje necesario de una manera más rápida y estable. También se vuelve a recubrir toda la estructura del arnés y del disipador de escape con papel aluminio, con la finalidad de retener la mayor cantidad de calor posible en las caras calientes de las celdas, lo cual nos ayuda a estabilizar el voltaje.

B. Después de la primera capa de aluminio que cubre las celdas, se colocó una capa de una sola pieza de cartón con la finalidad de evitar el paso directo de corrientes de refrigeración hacia la cara caliente de las celdas; y finalmente en el borde del dissipador de escape utilizado se colocó una última capa de aluminio con pasta térmica, que se aplica con dos funciones, la de sellar completamente la capa de cartón y por ende la cara caliente de las celdas; y también con la función de mejorar la disipación de calor de los dissipadores de calor colocados sobre las celdas al aumentar la superficie de contacto de estos con la corriente de ventilación del frente del vehículo.



Figura 16:

Arreglo final de celdas montado en el dissipador de escape con su segunda capa de sellado con cartón.

Fuente: Argüello J., Albán E.

C. Después de montar nuevamente el dissipador con el arnés en el múltiple de escape, procedemos a enviar cables desde las celdas hasta el habitáculo del vehículo, lugar donde se conectan los equipos de medición, con los que se miden los valores entregados por las celdas.



Figura 17:

Arreglo final de celdas montado en el múltiple de escape y con su capa final de sellado.

Fuente: Argüello J., Albán E.

Para obtener los valores mostrados a continuación se siguió el proceso mostrado en el anexo #18

PRUEBAS PROTOTIPO FINAL				
MEDICIÓN	TC	TF	ΔT	Voltaje
PROMEDIO 1	95,38	70,58	19,96	0,77
PROMEDIO 2	97,58	76,02	21,56	2,74
PROMEDIO 3	103,02	75,02	24,8	2,88
PROMEDIO 4	92,72	65,06	25,48	2,91
PROMEDIO 5	108	79,94	27,66	3,12
PROMEDIO 6	96,32	76,36	28	3,41
PROMEDIO 7	112,42	86,94	28,06	3,67
PROMEDIO 8	130,38	100,6	29,8	4,21

Tabla 6: Promedios de los valores medidos durante la tercera prueba en condiciones de trabajo

Fuente: Argüello J., Albán E.

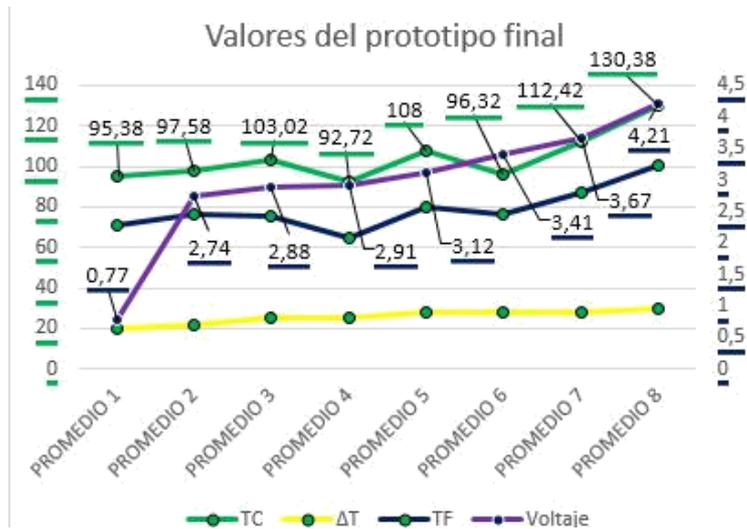


Gráfico 6: Representación gráfica del comportamiento del arreglo final de 5 celdas en condiciones de trabajo
Fuente: Argüello J., Albán E.

Análisis de resultados de la prueba con el arreglo final de 5 celdas:

- Al medir los valores de voltaje con el prototipo definitivo, finalmente se pudo evidenciar un comportamiento relativamente estable del voltaje que entregan las celdas, ya que desde el inicio de la medición se obtuvieron valores permanentemente crecientes y que rápidamente superaron la barrera de los 2.5V con escaso movimiento del vehículo, comportamiento que demostraba una mayor eficiencia de las celdas aplicadas, además que a lo largo de la prueba se obtuvieron valores de hasta 4,7 V, logrando producir aproximadamente 0,94V por celda del arreglo, valores que son satisfactorios y más que aceptables para cumplir el objetivo de recuperar la energía térmica disipada por el múltiple de escape y convertirla en una fuente limpia y útil de voltaje disponible para el usuario.
- Con respecto a la diferencia de temperatura, se obtuvieron los valores más determinantes, ya que durante la prueba se pudo observar los valores de diferencia de temperatura más estables vistos en todas las pruebas, mostrando una variación de 10° C entre sus valores máximos y mínimos, lo que permite concluir que el proceso de sellado cumplió la finalidad tanto de ayudar a mantener el calor en el lado caliente de

las celdas, como de ayudar a concentrar la corriente de refrigeración directamente sobre el lado frío de las celdas; nuevamente en este proceso de medición se realizó una medición por cada celda del arreglo, por lo que los valores mostrados en la tabla del análisis son promedios de temperatura de todo el arreglo de celdas obtenidos a partir de la tabla completa de valores que se muestra en el anexo # 13

- Al obtener mayores valores de voltaje con diferencias de temperatura menores a las obtenidas en mediciones anteriores se pudo concluir que pese a que el voltaje que entregan las celdas depende directamente de la diferencia de temperatura que exista entre las caras de las celdas; es de suma importancia que los estímulos de frío y calor que se aplican sobre las celdas se repartan de la forma más uniforme posible sobre las placas cerámicas de estas, ya que de esta forma se asegura una mayor efectividad de las celdas, logrando así que todos los termopares que constituyen las celdas aprovechen la diferencia de temperatura y generen el máximo voltaje posible por cada celda.
- Según el comportamiento descrito previamente quedó demostrado que el proceso de sellado fue clave para mejorar la eficiencia de las celdas, esto se debe a que este proceso permitió

encapsular el calor en el lado caliente de las celdas, y de la misma forma direccionar la corriente de refrigeración hacia el lado frío de estas; lo que permitió que el arreglo de celdas aproveche de la mejor manera posible los estímulos de temperatura que se le aplicaban, a diferencia de las pruebas anteriores en las que se pudo obtener diferencias de temperatura mayores, sin embargo las celdas no alcanzaron valores aceptables de voltaje debido a que no toda su superficie cerámica se aprovechaba para maximizar la diferencia de temperatura generada.

10) Construcción del circuito para almacenar energía:

Según los resultados de las pruebas realizadas pudimos determinar que se recupera el voltaje deseado, pero con valores de amperaje casi despreciables, a pesar de haber probado conexiones en serie y paralelo, por lo que se llegó a la conclusión de que se debe agregar un elemento que compense la intensidad de corriente que no entregan las celdas.

Pese a la falta de intensidad de corriente, si solamente se aplican las celdas en la zona determinada y se utiliza su voltaje, se puede generar una fuente variable del voltaje en el vehículo, pero solo cuando este se encuentra encendido y proporcionando calor a las celdas; es por esto que se decidió implementar una batería por medio de un circuito para almacenar energía, para así lograr una entrega constante de voltaje y que está siempre disponible para el usuario una vez que las celdas hayan cargado la batería, evitando así que el circuito implementado funcione solamente cuando el vehículo está encendido; para este fin se buscó una batería que pueda almacenar y entregar la energía que se recupera con las celdas, por lo que se eligió una batería LiPo de 3.7V (Litio y polímero), que es recargable, trabaja con los valores de voltaje y amperaje que suministran las celdas, y es del menor tamaño posible.



Figura 18:

Batería por utilizar en el circuito de almacenamiento de energía

Fuente:

http://laboratorios.fi.uba.ar/lse/sase/2010/slides/SASE-2010_-Baterias_-Li-ion--Li-poly_

Una vez seleccionada la batería a implementar, es necesario agregar un elemento electrónico que se alimente con la energía que proporciona el arreglo de celdas y que sea capaz de cargar la batería a utilizar; mediante la investigación en cuanto a circuitos de carga para baterías se determinó que existen módulos electrónicos diseñados específicamente para cargar baterías LiPo, este es el módulo TP4056

Al realizar la investigación bibliográfica requerida, se pudo conocer sobre el módulo electrónico TP4056 el cual fue diseñado específicamente con la finalidad de recibir una entrada de voltaje relativamente pequeña y adecuarla para que en sus terminales de salida se proporcione una corriente fija de, 4,2 V con la que se cargan baterías LiPo de 3.7 V o superiores.

Este módulo tiene dos puertos de entrada que facilitan la conexión de cualquier fuente de energía que se encuentre en un rango de entre 4 y 8 V, que es el rango de operación de este módulo, los pines mencionados son a los que se va a conectar los polos del arreglo de celdas, aunque cabe mencionar que el módulo incluye una entrada micro USB para otras aplicaciones de carga.



Figura 19: Módulo TP4056 y su esquema de conexión

Fuente: <https://www.forosdeelectronica.com/threads/cargar-bateria-de-smartphone-con-modulo-o-cargador-de-celular.164071>

El módulo TP4056 es un cargador linear de corriente e intensidad continuos para baterías LiPo de una sola celda, la corriente de carga preestablecida es de 4,2 V y la intensidad de 40 mA; que debido a su reducido tamaño es ideal para aplicaciones portátiles, además de que incluye un chip de protección DW01 el cual asegura que no existan retornos de corriente hacia la batería para prolongar la vida útil de la misma.

Una vez que ya se ha determinado la batería a utilizar y el método de carga de la misma, es necesario seleccionar el consumidor que va a alimentar el circuito de almacenamiento de energía elaborado, por lo que debido a que su aplicación será dentro de un vehículo y a que se prefiere que la entrega de energía del circuito pueda tener múltiples aplicaciones, se decidió implementar un módulo USB de 5V Step up DC/DC; el cual es un pequeño modulo electrónico capaz de elevar y estabilizar los valores de entrada que se le aplican, para entregar una salida de voltaje y amperaje constantes de 5V y 600mA, y está específicamente diseñado para cargar dispositivos electrónicos como celulares, tabletas, y demás que se alimenten por medio de un cable USB.



Figura 20: Modulo Step-Up DC/DC 5V USB

Fuente:

<https://www.forosdeelectronica.com/threads/cargador-de-smartphone-con-modulo-USB-14907>

Este segundo módulo electrónico implementado puede ser alimentado con corrientes variables entre 0-9 a 5V, pero siempre entregara una señal estable en su salida tanto de voltaje y amperaje de corriente directa. El dispositivo cuenta con un indicador LED que al mantenerse encendido indica que los valores de salida se encuentran estables y que se puede hacer uso de estos.

Este módulo se agregó al circuito previamente elaborado debido a su tamaño tan re-

ducido, a su alta eficiencia para filtrar posibles fluctuaciones de corriente o interferencias que puedan alterar las señales, asegurando que la salida USB que disponemos sea capaz de suministrar la corriente necesaria para cargar un dispositivo móvil.



Figura 21:

Prueba de trabajo de los 2 primeros módulos implementados en el circuito.

Fuente: Argüello J., Albán E.

Existe gran variedad de módulos step up en el mercado para numerosas aplicaciones, pero mayormente podemos encontrarlos en aplicaciones de amplificación de señales de audio, en dispositivos electrónicos, en cargadores universales para autos, o en aplicaciones donde la fuente que se posee no es capaz de suministrar valores de voltaje y amperaje considerables.

Después de los resultados satisfactorios de la última prueba se pudo determinar que el voltaje recuperado con las celdas Peltier se encuentra dentro de los valores necesarios mayores a 3.9 V con los cuales se alimenta en módulo TP4056 para empezar a suministrar carga a la batería LiPo; sin embargo debido a la muy alta sensibilidad del arreglo de celdas ante las variaciones de temperatura, y a la zona en la que se encuentran aplicadas las celdas, estas pueden suministrar entre 3 y 4.7 V según las condiciones de movimiento del vehículo en el que están instaladas, por lo que se decidió implementar un tercer módulo electrónico que permita un funcionamiento constante del cargador elaborado, indiferentemente de las condiciones de movimiento del vehículo.

El tercer módulo a implementar está dentro de la categoría de los módulos Step-Up DC/DC, por lo que es similar al Step-Up de 5V implementado en el circuito previamente; este es un módulo MT3608, el cual es un Step-Up diseñado con la finalidad de recibir una entrada de voltaje determinada y

entregar una salida de voltaje mayor o menor, de acuerdo a la aplicación requerida, en este caso se lo implementa en el circuito debido a las fluctuaciones de temperatura, y por ende de entrega de voltaje que se producen en las celdas debido a sus condiciones de funcionamiento, por lo que al colocar este módulo se evita el tener que buscar un rango ideal de diferencia de temperatura, y por ende de movimiento del vehículo en el que trabajen las celdas para lograr alimentar el módulo TP4056; ya que aunque las celdas varían el voltaje que entregan según el movimiento del vehículo, estos valores fluctúan entre 3 y 4.7 V, lo que es más que suficiente para alimentar de forma constante el módulo Step-Up MT3608, que admite entradas de voltaje de entre 3 y 24 V; para entregar valores de voltaje regulables por medio de un potenciómetro manual que permite una salida de entre 4 y 28 V según la aplicación necesaria; en este caso se ajustó la salida fija de voltaje de este módulo en 4.2 V, para asegurar la alimentación permanente del módulo TP4056, y así lograr el objetivo de mantener una fuente de energía independiente del sistema eléctrico del vehículo, que provenga del calor desperdiciado del motor y que se encuentre a disposición del usuario dentro del vehículo.



Figura 22: Módulo Step-Up MT3608

Fuente:

<https://www.forosdeelectronica.com/threads/módulo-electronico-step-up-elevador-01652>



Figura 23:

Circuito electrónico de almacenamiento de energía elaborado

Fuente: Argüello J., Albán E.



Figura 24:

Presentación final del circuito eléctrico

Fuente: Argüello J., Albán E.



Figura 25:

Circuito de almacenamiento de energía montado en el habitáculo del vehículo.

Fuente: Argüello J., Albán E.

10) Conclusiones:

- La primera y más importante conclusión obtenida en esta investigación es que las celdas Peltier si pueden usarse como una fuente de generación de energía considerable en un vehículo, ya que con una aplicación adecuada que priorice la generación de un diferencial de temperatura entre las caras de las celdas, es posible recuperar valores de voltaje cercanos a los 5V, valores que son lo suficientemente considerables para proceder a elaborar un circuito que permita utilizar dicho voltaje dentro del habitáculo del vehículo, como se realizó en esta investigación; en la que se determinó que 5 celdas eran suficientes para recuperar valores de voltaje cercanos a los 5V.

➤ Durante las fases de pruebas realizadas se pudo verificar que las celdas si tienen un comportamiento dependiente de la temperatura a la que se encuentran sus caras, sin embargo, la conclusión más importante referente al diferencial de temperatura es que, pese al comportamiento de las celdas, la prioridad no es alcanzar valores extremos de temperatura en las caras de las celdas, sino que cualquiera que sea el estímulo de temperatura que se aplique en las caras de las celdas, estos deben aplicarse de la forma más directa y uniforme posible, para que las celdas aprovechen cada grado de diferencia de temperatura generado y así sean más eficientes, por ende produciendo más voltaje.

➤ En el aspecto referente a la aplicación de las celdas, como ya se mencionó previamente es muy importante priorizar la generación del diferencial de temperatura con el que trabajan las celdas, por lo que se llegó a la conclusión de que es de suma importancia realizar la aplicación de las celdas en una zona en la que se concentre mucho calor de forma uniforme, y que a su vez reciba una importante corriente de ventilación; de esta manera y junto con un sellado meticuloso al montar las celdas se asegura que ambas caras de las celdas aprovechen al máximo los estímulos que reciben, lo que a su vez permite maximizar la obtención de voltaje con las celdas.

➤ Con respecto al circuito de almacenamiento de energía, es importante mencionar que, debido al avance de la electrónica y la enorme gama de circuitos y módulos disponibles, es posible encontrar dispositivos electrónicos diseñados específicamente para la aplicación deseada, lo que permite enfocarse mucho más en maximizar el trabajo de las celdas, en lugar de la elaboración de un circuito electrónico.

11) Recomendaciones:

➤ En el proceso de pruebas de las celdas, se pudo evidenciar que las celdas Peltier son sumamente frágiles, ya que, con pequeños golpes, excesos de fuerza, o hasta aplicaciones de temperatura extremas estas tienden a abrir diminutas grietas en sus caras cerámicas, lo que deja inservible a la celda al perder continuidad; por lo que se recomienda extrema precaución al manipular e instalar las celdas.

➤ Al realizar mediciones con los arreglos de 3, 4 y 5 celdas se pudo evidenciar comportamientos extraños de las celdas al no medir continuidad, sin embargo, se pudo determinar que simplemente es un comportamiento de las celdas al estar conectadas varias de forma simultánea, por lo que se recomienda utilizar 2 multímetros y también invertir la polaridad de los polos del multímetro al comprobar la continuidad de las celdas para descartar averías en estas.

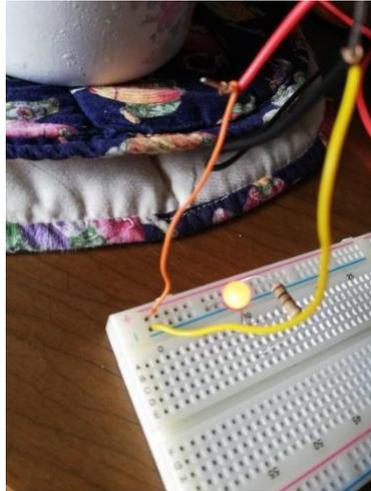
➤ Al avanzar la investigación se hizo cada vez más evidente la necesidad de aplicar procesos de sellado o aislamiento de las celdas con la finalidad de maximizar la transferencia de calor hacia el lado caliente del arreglo, al igual que para maximizar la disipación de calor en el lado frío de estas; por lo que se recomienda el uso de papel aluminio, debido a su muy alta conductividad térmica y resistencia a la temperatura, también su maleabilidad y costo económico.

➤ También debido a la naturaleza de la aplicación de las celdas,

tanto en pruebas controladas, como en pruebas bajo condiciones de trabajo, es de suma importancia tener precaución con las superficies calientes y de preferencia

utilizar guantes resistentes al calor al manipular fuentes de calor, o trabajar cerca de zonas de calor con temperatura extrema en el habitáculo del motor del vehículo.

12) Anexos:



Anexo 1:

Pruebas controladas con un LED para verificar la generación de voltaje.

Fuente: Argüello J., Albán E.



Anexo 2:

Mediciones iniciales para elaborar el arnés que va a llevar las celdas

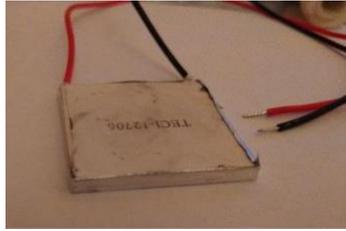
Fuente: Argüello J., Albán E.



Anexo 3:

Arnés metálico utilizado para colocar las celdas en el disipador de escape.

Fuente: Argüello J., Albán E.



Anexo 4:

Sellado individual con aluminio y pasta térmica aplicado a cada celda.
Fuente: Argüello J., Albán E.



Anexo 5:

Mediciones realizadas con multímetro.
Fuente: Argüello J., Albán E.



Anexo 6:

Pruebas de voltaje realizadas.
Fuente: Argüello J., Albán E.



Anexo 7:

Pruebas de voltaje de funcionamiento de los módulos electrónicos utilizados.
Fuente: Argüello J., Albán E.

PROMEDIOS CON CELDA ÚNICA														
Celda Medición	1		2		3		4		5		6		7	
	TF	TC	TF	TC	TF	TC								
M1	0	160,9	0,3	234	0,9	298,8	1	375,1	1,3	416,23	1,5	421,8	1,6	420,42
M2	0	158,2	0,6	234,2	1,3	298,6	1,6	380,4	1,7	420,20	1,7	419,7	2	423,7
M3	0,1	160,8	0,8	236,7	1,5	302,5	1,9	384,6	1,7	418,34	1,8	424,5	2,3	425
PROMEDIO	0,1	160,0	0,6	235,0	1,2	300,0	1,5	380,0	1,6	418,26	1,7	422,0	2,0	423,04
ΔT	159,87		234,40		298,73		378,53		416,69		420,33			
Voltaje	1		1,8		1,900		2,4		2,5		2,7		2,8	

Anexo 8:

Tabla completa de valores medidos durante la primera prueba en condiciones controladas

Fuente: Argüello J., Albán E.

PRUEBA DE CONEXIÓN EN SERIE											
Celda Medición	1		2		3		4		5		
	TF	TC									
M1	0	195,5	0,2	224,9	0,4	258,9	0,9	270,2	1,2	277,4	
M2	0,1	196,7	0,3	227,4	0,5	260,4	1	272,3	1,4	279,0	
M3	0,1	198,8	0,3	231,7	0,8	263,6	1,2	276,6	1,7	283,5	
PROMEDIO	0,1	197,0	0,3	228,0	0,6	261	1,0	273,0	1,4	280,0	
ΔT	196,93		227,73		260,40		272,00		278,53		
Voltaje	1		1,8		1,900		2,4		2,5		

Anexo 9:

Tabla completa de valores medidos durante la segunda prueba en condiciones controladas

Fuente: Argüello J., Albán E.

PRUEBA DE CONEXIÓN EN PARALELO										
Celda Medición	1		2		3		4		5	
	TF	TC								
M1	0	195,5	0,2	224,9	0,4	258,9	0,9	270,2	1,2	277,4
M2	0,1	196,7	0,3	227,4	0,5	260,4	1	272,3	1,4	279,0
M3	0,1	198,8	0,3	231,7	0,8	263,6	1,2	276,6	1,7	283,5
PROMEDIO	0,1	197,0	0,3	228,0	0,6	261	1,0	273,0	1,4	280,0
ΔT	196,93		227,73		260,40		272,00		278,53	
Voltaje	1		1,8		1,900		2,4		2,5	

Anexo 10:

Tabla completa de los valores medidos durante la tercera prueba en condiciones controladas

Fuente: Argüello J., Albán E.

PRUEBA CON 3 CELDAS MONTADAS												
Celda Medición	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	TF	TC	TF	TC								
C1	32,6	49,5	42,3	64,6	44,7	78,7	58	86	56	93,3	62,6	108
C2	34,6	49,7	42,6	62,4	46	71,1	52,6	82,2	58,1	107,5	64,3	106,2
C3	37,4	52,6	39,7	61,5	42,2	74	48,2	85,6	53,9	101,5	61,8	113,3
PROMEDIO	34,87	50,60	41,53	62,83	44,30	74,60	52,93	84,60	56,00	100,77	62,90	109,17
ΔT	15,73		21,30		30,30		31,67		44,77		46,27	
Voltaje	0,143		0,304		1,040		1,44		2,03		2,13	

Anexo 11:

Tabla completa de los valores medidos durante la primera prueba en condiciones de trabajo

Fuente: Argüello J., Albán E.

PRUEBA CON 4 CELDAS MONTADAS													
Celda Medición	M1		M2		M3		M4		M5		M6		
	TF	TC	TF	TC									
C1	50,5	53,5	52,4	61,9	54,7	72,7	60	82,4	64,4	97	63,1	109,7	
C2	50,2	53,3	51,9	66,4	52,8	70,1	58,8	81,2	68,6	99,9	64,3	103,4	
C3	45,7	52,2	51,5	56,6	54,5	73,6	61,7	80,1	69,7	103,2	59,3	110,8	
C4	45,5	53,1	47,2	53,4	50,6	73,1	57,9	85,7	73,6	102,5	63,7	113,3	
PROMEDIO	47,98	53,03	50,75	59,58	53,15	72,38	59,60	82,35	69,08	100,65	62,60	109,30	
ΔT	5,05		8,83		19,23		22,75		31,58		46,70		
Voltaje	0,162		0,245		0,765		1,24		2,29		3,35		
Amperaje	18,3		26		32,2		42,4		52		74		

Anexo 12:

Tabla completa de los valores medidos durante la segunda prueba en condiciones de trabajo

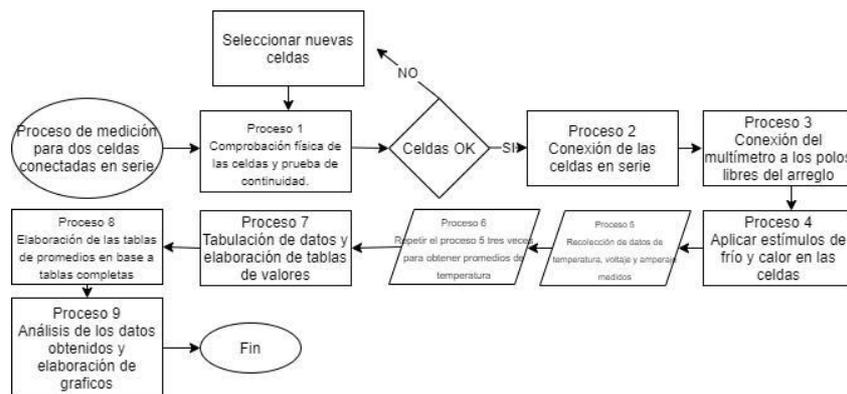
Fuente: Argüello J., Albán E.

PRUEBAS PROTORIPO FINAL																
Celda Medición	M1		M2		M3		M4		M5		M6		M7		M8	
	TC	TF	TC	TF												
C1	110,1	74,9	99,5	73,6	103,3	70,4	137	103,8	86,9	60,8	93,7	70,4	97,6	85,7	146,3	106
C2	88,7	76,7	87,2	76,2	90	74,3	99	82,8	83,3	64,3	110	75,7	94,1	78,2	114,8	104,1
C6	108	81	101,3	78	90,6	72,4	108	84,7	108,2	68,7	106,6	80,1	122,8	79	124,4	96,9
C4	91,3	76,6	91,3	74,5	102,5	65,3	123	85,7	86,4	61,6	112,5	69,5	118,4	82	129,3	98
C5	83,5	72,6	108,6	77,8	90,5	70,5	145,1	77,7	98,8	69,9	92,3	79,4	107,1	74,8	137,1	97,9
Promedio	96,32	76,36	97,58	76,02	95,38	70,58	122,4	86,94	92,72	65,06	103	75,02	108	79,94	130,38	100,6
ΔT	19,96		21,56		24,8		25,48		27,66		28		28,06		29,8	
Voltaje	0,77		2.74		2.88		2.91		3.12		3.41		3.67		4,21	

Anexo 13:

Tabla completa de los valores medidos durante la prueba final del arreglo de 5 celdas en condiciones de trabajo

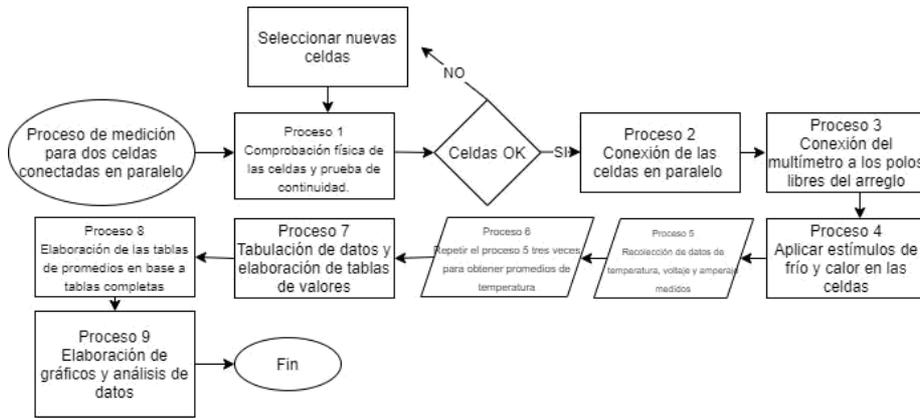
Fuente: Argüello J., Albán E.



Anexo 14:

Proceso seguido para realizar la prueba con dos celdas en serie

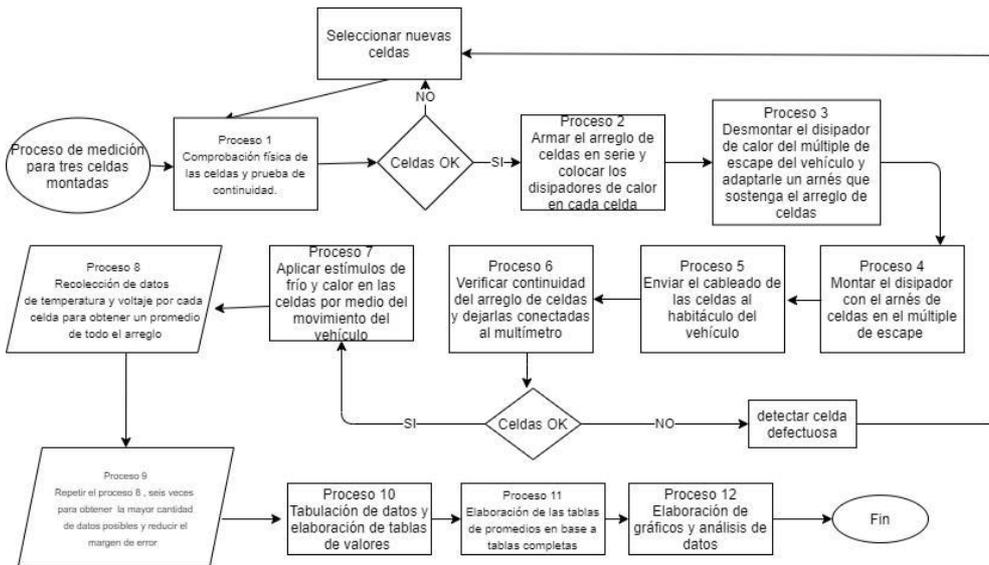
Fuente: Argüello J., Albán E.



Anexo 15:

Proceso seguido para realizar la prueba con dos celdas en paralelo

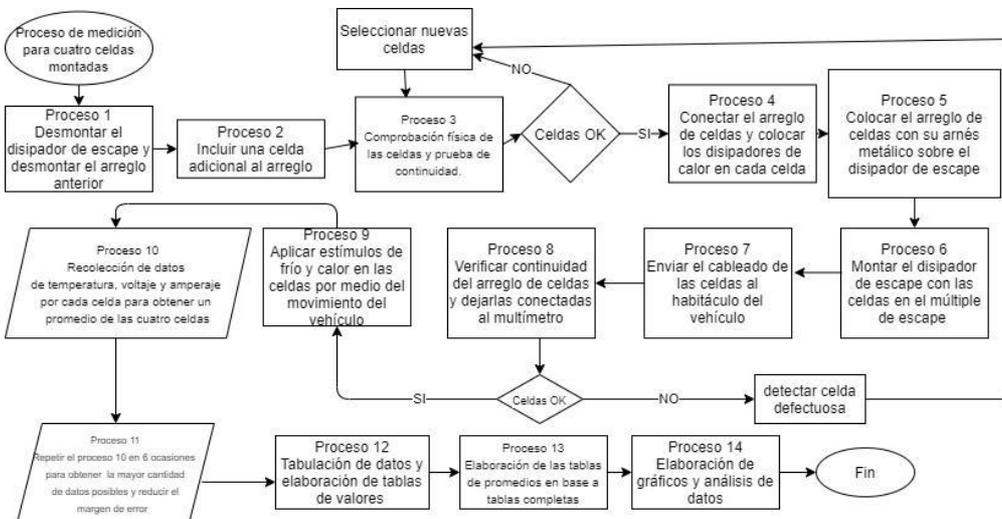
Fuente: Argüello J., Albán E.



Anexo 16:

Proceso seguido para realizar la prueba del arreglo de 3 celdas en condiciones de trabajo

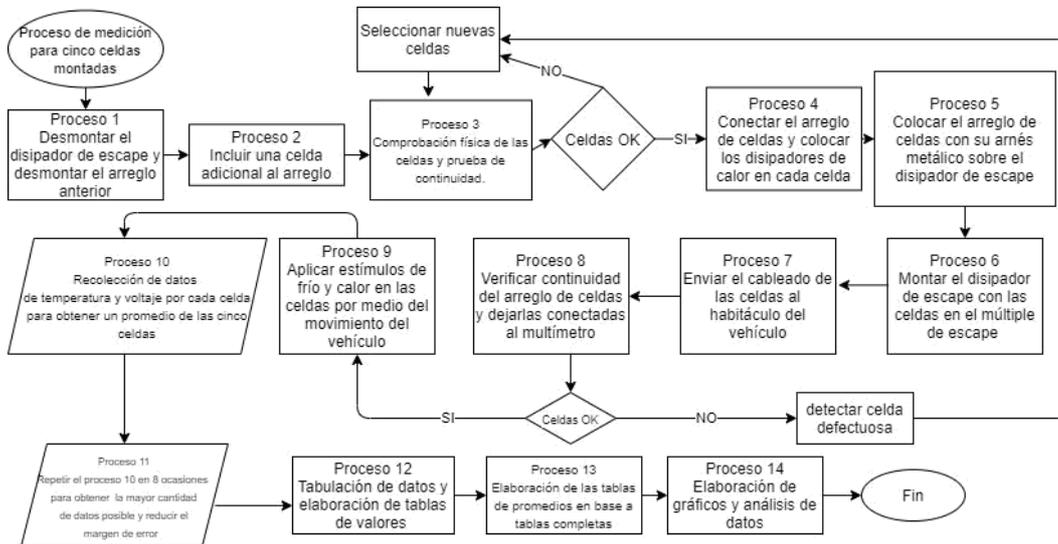
Fuente: Argüello J., Albán E.



Anexo 17:

Proceso seguido para realizar la prueba del arreglo de 4 celdas en condiciones de trabajo

Fuente: Argüello J., Albán E.



Anexo 18:

Proceso seguido para realizar la prueba del arreglo final de 5 celdas en condiciones de trabajo

Fuente: Argüello J., Albán E.



Anexo 19:

Sticker de certificación de calibración colocado en el equipo de medición

Fuente: Argüello J., Albán E

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN		
Certificado No.:	LTEM-20-107-PIR	Orden de Ingreso No. : 1612
DATOS DEL CLIENTE		INSTRUMENTO BAJO PRUEBA
Nombre:	CONSPCCIME CIA. LTDA.	Descripción: TERMÓMETRO INFRARROJO
Dirección:	Quito, Pasaje El Jardín, Av. 6 de Diciembre E10-05	Marca: FLUKE
Representante:	Ing. Eduardo Recalde	Modelo: 561
Teléfono:	02 3 932 240	Serie No.: 21600149
Fecha de Recepción:	2020-06-25	Código: ICPM-014
CONDICIONES AMBIENTALES		Rango: (-40 a 550 °C)
Lugar de Calibración:	LABORATORIO	Resolución: 0,1 °C
Temperatura Ambiente Promedio:	20,9 °C	
Humedad Relativa Promedio:	48,7 %HR	
FECHA DE CALIBRACIÓN		
Inicio de Calibración:	2020-06-29	
Fin de Calibración:	2020-06-29	
Próxima Calibración:	-----	
No. Días de Ejecución:	1	
Fecha de Emisión:	2020-06-29	
MÉTODO UTILIZADO: Por comparación con Sensor de temperatura patrón en cuerpo negro según procedimiento de calibración PR-LTEM-06		
INSTRUMENTOS PATRONES UTILIZADOS		
Descripción	TERMOCUPLA CON CUERPO NEGRO	DATA LOGGER
Marca	ISOTECH	ONSET
Modelo	852-09-05	HOBO UX120-014M
Serie	38050	20481978
Fecha de Calibración	2020-05-15	
Próxima Calibración	2021-05-15	
Trazabilidad	METASDELECUADOR	
No. Certificado	LTEM-20-040-TDG	

Anexo 20:

Certificado de calibración del equipo Fluke 561

Fuente: Argüello J., Albán E

13) Bibliografía

- Alem, L. N. (21 de 04 de 2005). *http://descargas.cetronic.es/Termoelectricidad.pdf*. Obtenido de <http://descargas.cetronic.es/Termoelectricidad.pdf>
- Amaya, J. (12 de febrero de 2020). *Aplicaciones de la Termoelectricidad*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/384399980/Aplicaciones-de-La-Termoelectricidad>
- Ballús, A. R. (16 de junio de 2015). *Estudio y Parametrización de un generador termoelectrico*. Obtenido de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/79156/01_TFG.pdf
- Cornaglia, P. (10 de junio de 2018). *En busca del calor perdido Efecto Seebeck y Semiconductores*. Obtenido de <https://www.mdconsult.internacional.edu.ec:2095/lib/bibliovirtualuidesp/reader.action?docID=5634254&ppg=20&query=SEEBECK>
- Escudero, S. e. (2009). *Motores*. Madrid: Macmillan Iberia, S.A., ProQuest Ebook Central. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliovirtualuidesp/detail.action?docID=3195396>.
- Fahrner, W. R. (2009). *Semiconductor thermoelectric generators*. Suiza: Trans Tech Publications.
- Kasap, S. (06 de Noviembre de 2001). *Efectos termoelectricos en metales: Termopares*. Obtenido de <http://educypedia.karadimov.info/library/Thermoelectric-Seebeck.pdf>
- Mixteca., I. d. (2016). *Celdas Peltier: Una alternativa para sistemas de enfriamiento con base en semiconductor*. En E. E. Sandoval G.. Oaxaca.
- P., L., I., S., &, C. (04 de Mayo de 2017). *Instituto Mexicano Madero*. Obtenido de ALTERNATIVA PELTIER: <https://dspace.umad.edu.mx/bitstream/handle/11670/285/1-cartelalternativa%20Peltier%20cartel1er%20f%20c3%adsicomate.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Penalva, A. A. (04 de junio de 2018). *Efecto Peltier y Desarrollo de Posibles Aplicaciones*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/109025/AZOR%20C3%8DN%20-%20Efecto%20Peltier%20y%20desarrollo%20de%20posibles%20aplicaciones%20t%20C3%A9cnicas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pérez, J. A. (02 de FEBRERO de 2018). *ESTUDIO DE APLICACIÓN DE CÉLULAS PELTIER*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/101498/MOYA-EstudiodeaplicacindeclulasPeltierparalaobtencindeelectricidadenautomCviles.pdf?sequence=1>
- Ramírez, C. R. (21 de Abril de 2017). *Termoelectricidad : Uso de las celdas peltier en le campo de la refrigeracion y sus principales*. Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org/537c/2b9a5b0afa7f896b0442562035eef8578914.pdf>
- Redondo, G. J. (2013). *Electrotecnia*. Barcelona: Cano Pina.
- Rodriguez, J. A. (s.f.). *El manual maestro de procesos y procedimientos, un paso hacia la gestión de la calidad*.
- Rodríguez, M. J. (2015). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo Otto*. Madrid: IC Editorial, 2012. ProQuest Ebook Central. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliovirtualuidesp/detail.action?docID=3211546>.
- Rowe, D. M. (2012). *Modules, Systems, and Applications in Thermoelectrics*. Boca Raton, MIami: Taylor & Francis Group LLC.
- Trueva, M. A. (24 de marzo de 2007). *Electromagnetismo, circuitos y semiconductores*. Obtenido de <https://www.mdconsult.internacional.edu.ec:2095/lib/bibliovirtualuidesp/reader.action?docID=3175802&query=semiconductores>