



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**“GENERACIÓN SECUNDARIA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
EL ESCAPE DE UN AUTOMÓVIL A TRAVÉS DE UNA CELDA
PELTIER DE 12 V”**



AUTORES:

CAMPUÉS ALVEAR BRYAN ISRAEL

CUASCOTA CABASCANGO JEFFERSON ALEXANDER

DIRECTOR: MSc. CARLOS MARCELO SEGOVIA TROYA

Ibarra-Ecuador

2024

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

| DATOS DE CONTACTO | | | |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | DE | 1004556344 | |
| APELLIDOS Y NOMBRES: | Y | Campués Alvear Bryan Israel | |
| DIRECCIÓN: | La primavera | | |
| EMAIL: | bicampuesa@utn.edu.ec | | |
| TELÉFONO FIJO: | | TELF. MOVIL | 0990143131 |

| DATOS DE CONTACTO | | | |
|-----------------------------|--|---|------------|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | DE | 172725595-0 | |
| APELLIDOS Y NOMBRES: | Y | Cuascota Cabascango Jefferson Alexander | |
| DIRECCIÓN: | La Y de Tabacundo | | |
| EMAIL: | jacuascotac@utn.edu.ec | | |
| TELÉFONO FIJO: | | TELF. MOVIL | 0995044587 |

| DATOS DE LA OBRA | |
|----------------------------------|---|
| TÍTULO: | Generación secundaria de energía eléctrica en el escape de un automóvil a través de una celda Peltier de 12 v |
| AUTOR (ES): | Campués Alvear Bryan Israel - Cuascota Cabascango Jefferson Alexander |
| FECHA: AAAAMMDD | 2024/09/18 |
| SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN | |
| CARRERA/PROGRAMA: | PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/> |
| TITULO POR EL QUE OPTA: | Ingeniero Automotriz |
| DIRECTOR: | Ing. Carlos Marcelo Segovia Troya MSc |

AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Campués Alvear Bryan Israel y Cuascota Cabascango Jefferson Alexander, con cédula de identidad Nro. 100455634-4 y 172725595-0, en calidad de autor (es) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, a los 18 días del mes de septiembre de 2024

LOS AUTORES



.....
Campués Alvear Bryan Israel



.....
Cuascota Cabascango Jefferson Alexander

CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 18 días, del mes de septiembre de 2024

LOS AUTORES:



Campués Alvear Bryan Israel



Cuascota Cabascango Jefferson Alexander

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 13 de septiembre de 2024

MSc. Carlos Marcelo Segovia Troya

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.


.....
Carlos Marcelo Segovia Troya
C.C.: 1206391404

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificador del trabajo de Integración Curricular "GENERACIÓN SECUNDARIA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL ESCAPE DE UN AUTOMÓVIL A TRAVÉS DE UNA CELDA PELTIER DE 12 V", elaborado por: Campués Alvear Bryan Israel y Cuascota Cabascango Jefferson Alexander, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f) 
Carlos Marcelo Segovia Troya
C.C.: 1706311404.....

(f) 
Luis Andrés Garzón Pérez
C.C.: 1002640454.....

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar a esta instancia tan especial para mi vida. Por los triunfos, los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más, brindándome la fortaleza necesaria y proporcionarme la fuerza para enfrentar los desafíos y celebrar los logros, a mi madre, Elisa Cabascango que a pesar de la distancia me ha acompañado, siendo mi motor más importante en cada paso del camino, mi inspiración constante de ejemplo y dedicación durante todo mi trayecto estudiantil y de vida.

Expreso gratitud especial a mi familia que me rodean incondicionalmente, siendo parte fundamental para este proceso, quienes desde mi infancia me corrigieron para ser una persona íntegra, motivándome inalcanzablemente día a día para no claudicar en el camino. También, mi reconocimiento se extiende a todas las personas significativas que han cruzado mi vida universitaria, contribuyendo de manera positiva a mi crecimiento personal y académico.

Jefferson A. Cuascota C.

El presente trabajo de titulación está dedicado principalmente a mis padres que gracias a su confianza, paciencia y apoyo incondicional pesar de mis errores, hicieron posible la culminación de mi carrera.

A mis hermanas que con palabras de apoyo y comprensión ayudaron a que esto sea posible.

Bryan Campués

AGRADECIMIENTO

A mis padres Nelzon Campués y Yolanda Alvear que a pesar de las dificultades siempre estuvieron apoyándome, fueron un pilar fundamental para continuar con mis estudios y nunca dejaron de creer en mi ni en mis hermanas,

A los colegas que cuando necesitábamos siempre existió el apoyo mutuo, gracias por su amistad en este largo camino inolvidable.

A la Universidad Técnica del Norte, en especial a la carrera de ingeniería automotriz que cuenta con docentes muy preparados en su área e imparten su conocimiento con todos sus estudiantes.

Bryan Campués

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE CONTENIDOS | ix |
| ÍNDICE DE TABLAS | xii |
| TABLA NÚMERO DESCRIPCIÓN PÁGINA | xii |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xiii |
| RESUMEN | xv |
| ABSTRACT | xvi |
| LISTA DE SIGLAS..... | xvii |
| LISTA DE SIMBOLOS | xvii |
| CAPÍTULO I..... | 1 |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. Problema de Investigación..... | 1 |
| 1.2. Justificación | 2 |
| 1.3. Objetivos..... | 3 |
| 1.3.1. Objetivo general..... | 3 |
| 1.3.1. Objetivos específicos | 3 |
| 1.4. Alcance | 3 |
| 1.5. Antecedentes | 3 |
| MARCO TEÓRICO | 7 |
| 2.1. Origen y evolución de los motores | 7 |
| 2.2. Eficiencia de motores de combustión interna | 7 |
| 2.3. Sistema de escape | 9 |
| 2.4. Transferencia de calor..... | 11 |
| 2.5. Dispositivos de generación de energía..... | 13 |
| 2.6. Efecto termoeléctrico | 15 |
| CAPÍTULO II..... | 18 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 18 |
| 3.1. Materiales..... | 18 |

| | | |
|-------------------|--|----|
| 3.1.1. | Celdas Peltier | 18 |
| 3.1.2. | Multímetro | 19 |
| 3.1.3. | Cautín..... | 19 |
| 3.1.4. | Hielo..... | 20 |
| 3.1.5. | Papel aluminio | 20 |
| 3.1.6. | Pirómetro..... | 20 |
| 3.1.7. | Vehículo..... | 21 |
| 3.1.8. | Módulo TP4056 | 22 |
| 3.1.9. | Batería LiPo | 23 |
| 3.1.10. | Modulo Step-Up DC/DC 5V USB..... | 24 |
| 3.1.11. | Módulo Step-Up MT3608..... | 25 |
| 3.2. | Fase de pruebas controladas..... | 27 |
| 3.2.1. | Prueba controlada 1..... | 29 |
| 3.2.2. | Prueba controlada 2..... | 29 |
| 3.3. | Fase de pruebas en condiciones de trabajo | 30 |
| 3.3.1. | Prueba con una celda..... | 31 |
| 3.3.2. | Pruebas con 3 celdas | 32 |
| 3.3.3. | Pruebas con 5 celdas | 33 |
| 3.3.4. | Intervalos de pruebas controladas | 35 |
| 3.4. | Construcción del circuito para almacenar energía | 35 |
| 3.4.1. | Selección de Capacidad de Batería | 37 |
| 3.5. | Fase de pruebas de temperatura | 39 |
| 3.5.1. | Primera prueba térmica | 39 |
| 3.5.2. | Segunda prueba térmica | 40 |
| CAPÍTULO III..... | | 41 |
| RESULTADOS | | 41 |

| | | |
|--------|---|----|
| 4.1. | Pruebas en condiciones de trabajo | 41 |
| 4.1.1. | Pruebas con 1 celda..... | 41 |
| 4.1.2. | Pruebas con 2 celdas | 43 |
| 4.1.3. | Pruebas con 3 celdas | 44 |
| 4.1.4. | Pruebas con 4 celdas | 46 |
| 4.1.5. | Pruebas con 5 celdas | 47 |
| 4.1.6. | Comparación de los 5 casos | 51 |
| 4.2. | Pruebas de temperatura | 52 |
| 4.2.1. | Prueba de temperatura 1 | 53 |
| 4.2.2. | Pruebas en el vehículo | 54 |
| 4.3. | Análisis de capacidad de baterías | 58 |
| 4.3.1. | Batería de 1800 mAh | 58 |
| 4.3.2. | Batería de 8000 mAh | 59 |
| 4.3.3. | Comparación de las baterías | 59 |
| | CAPÍTULO IV | 62 |
| | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 62 |
| 5.1. | Conclusiones | 62 |
| 5.2. | Recomendaciones | 63 |
| | REFERENCIAS | 65 |
| | ANEXOS | i |
| | ANEXO I - LISTA DE MATERIALES..... | i |
| | ANEXO II - FOTOGRAFÍAS VARIAS EN LA FASE DE PRUEBAS | iv |

ÍNDICE DE TABLAS

| TABLA NÚMERO | DESCRIPCIÓN | PÁGINA |
|--------------|---|--------|
| 1. | Características Generales de la Celda TECI-12710..... | 19 |
| 2. | Características del Pirómetro Digital PCE-889B..... | 21 |
| 3. | Características Principales del Vehículo Kia Picanto..... | 22 |
| 4. | Características del Módulo de Carga TP4056..... | 23 |
| 5. | Características de Batería LIPO 3.7V..... | 24 |
| 6. | Características Módulo Step UP DC/DC..... | 25 |
| 7. | Características Módulo MT3608..... | 26 |
| 8. | Pruebas en condiciones de trabajo con 1 celda..... | 41 |
| 9. | Pruebas en Condiciones de Trabajo con 2 Celdas..... | 43 |
| 10. | Pruebas en condiciones de trabajo con 3 celdas..... | 44 |
| 11. | Pruebas con 4 celdas sin papel aluminio..... | 46 |
| 12. | Pruebas con 5 celdas sin papel aluminio..... | 47 |
| 13. | Pruebas con 5 celdas con papel aluminio..... | 48 |
| 14. | Medidas de Corriente en Configuración Paralelo..... | 50 |
| 15. | Primera prueba de temperatura..... | 53 |
| 16. | Temperatura en condiciones de trabajo..... | 54 |
| 17. | Comparación de temperaturas y pérdidas térmicas..... | 56 |
| 18. | Desempeño de baterías..... | 59 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| FIGURA NÚMERO | DESCRIPCIÓN | PÁGINA |
|----------------------|--|---------------|
| 1. | Etapas del ciclo Otto | 5 |
| 2. | Evolución del automóvil | 7 |
| 3. | Pérdidas de un motor | 8 |
| 4. | Sistema de escape | 10 |
| 5. | Tipos de transferencia de calor | 12 |
| 6. | Grupo electrógeno | 13 |
| 7. | Celda galvánica | 14 |
| 8. | Efecto termoeléctrico | 16 |
| 9. | Efecto Peltier | 16 |
| 10. | Diagrama de flujo de pruebas | 27 |
| 11. | Prueba controlada 1, cautín | 29 |
| 12. | Prueba controlada 2, cautín con hielo | 30 |
| 13. | Conexión general para pruebas de trabajo | 31 |
| 14. | Conexión con una celda Peltier | 31 |
| 15. | Conexión con 3 celdas Peltier | 32 |
| 16. | Conexión con 5 celdas Peltier | 33 |
| 17. | Conexión para pruebas controladas | 34 |
| 18. | Conexión con papel aluminio | 34 |
| 19. | Esquema del circuito empleado | 36 |
| 20. | Circuito electrónico construido | 36 |
| 21. | Baterías LiPo 3.7V 1800 mAh (izquierda) y 8000 mAh (derecha) | 38 |
| 22. | Mediciones de temperatura en las pruebas aluminio | 40 |

| | |
|--|----|
| 23. Voltaje vs tiempo en pruebas con una celda | 42 |
| 24. Gráficas de Resultados de Prueba con 2 Celdas | 44 |
| 25. Voltaje vs tiempo en pruebas con tres celdas | 45 |
| 26. Gráficas en el Tiempo de Voltaje con 4 Celdas Peltier | 46 |
| 27. Voltaje vs tiempo en pruebas con cinco celdas | 49 |
| 28. Prueba de Voltaje con 5 Celdas en Paralelo | 49 |
| 29. Pruebas de Voltaje con 5 Celdas en Configuración en Paralelo | 50 |
| 30. Voltaje vs tiempo en pruebas con una, tres y cinco celdas | 52 |
| 31. Voltaje vs temperatura en pruebas | 54 |
| 32. Temperatura en condiciones de trabajo | 55 |
| 33. Pérdidas térmicas en el circuito | 57 |

RESUMEN

En el presente trabajo se relaciona con la generación de energía eléctrica en el escape de un automóvil a través de celdas Peltier para aprovechar el calor generado por el automotor durante su funcionamiento. Se escogió como vehículo de estudio al modelo Kia Picanto 2008, por disponibilidad de los autores. Mediante el uso de un circuito electrónico conformado por celdas Peltier, módulos de regulación de voltaje (TP4056, STEP-UP DC/DC 5V USB, y STEP-UP MT3608) más una batería auxiliar de Li-ion, se pudo realizar la carga de un dispositivo móvil con 3.7 (V) nominales de salida. Para conseguir dicho objetivo se realizaron pruebas controladas sobre las celdas antes de ser sometidas a condiciones de trabajo, y se comprobó su normal funcionamiento ante diferentes gradientes de temperatura. Las pruebas fueron realizadas en dos fases, una de pruebas y otra de funcionamiento en condiciones de trabajo. En la fase de pruebas se midió el voltaje obtenido en las celdas al ser sometidas a una fuente externa de calor; obteniendo 1.1 (V) cuando se aplica calor mediante un caudín, y 2.2 (V) cuando se añade hielo a la cara opuesta de la celda Peltier para aumentar el gradiente térmico. En las mediciones de condiciones de trabajo, se midió el voltaje alcanzado por las celdas en distintas configuraciones, para determinar el número ideal de celdas necesarias para la aplicación de este trabajo. Además, se empleó papel aluminio para envolver al conjunto de celdas para garantizar una mayor absorción de calor desde el múltiple de escape del vehículo hacia las celdas y mejorar su eficiencia térmica. Se determinó experimentalmente la eficiencia térmica de dichas celdas a través de la diferencia de temperatura en relación del voltaje de entrada sobre las mismas en el vehículo. Se concluye que para carga de un celular con dos ciclos completos es necesario utilizar 5 celdas Peltier y utilizando un circuito que incluye una batería auxiliar de Li-ion 8000 mAh, obteniendo una eficiencia térmica del 27 %.

Palabras clave: Celdas Peltier, generación eléctrica, baterías, celular

ABSTRACT

This work relates to the generation of electrical energy in the exhaust of a car through Peltier cells to take advantage of the heat generated by the car during its operation. The Kia Picanto 2008 model was chosen as the study vehicle, due to availability of the authors. By using an electronic circuit made up of Peltier cells, voltage regulation modules (TP4056, STEP-UP DC/DC 5V USB, and STEP-UP MT3608) plus an auxiliary Li-ion battery, it was possible to charge a mobile device with 3.7 (V) nominal output. To achieve this objective, controlled tests were carried out on the cells before being subjected to working conditions, where their normal functioning under different temperature gradients was verified. The tests were carried out in two phases, one for testing and another for operation under working conditions. In the testing phase, the voltage obtained in the cells when subjected to an external heat source was measured; obtaining 1.1 (V) when heat is applied using a soldering iron, and 2.2 (V) when ice is added to the opposite side of the Peltier cell to increase the thermal gradient. In the measurements of working conditions, the voltage reached by the cells in different configurations was measured to determine the ideal number of cells necessary for the application of this work. Additionally, aluminum foil was used to wrap the cell assembly to ensure greater heat absorption from the vehicle's exhaust manifold to the cells and improve their thermal efficiency. The thermal efficiency of these cells was determined experimentally through the temperature variation as a function of the input voltage on them in the vehicle. It was concluded that 5 Peltier cells are enough to charge a cell phone with two complete cycles, using a circuit that includes an 8000 mAh Li-ion auxiliary battery, obtaining a thermal efficiency of 27%.

Keywords: Peltier cells, electric generation, batteries, cell phone

LISTA DE SIGLAS

DC. Corriente Continua

LiPo. Polímero de Litio

USB. Puerto Seriado Universal (*Universal Serial Bus*, por sus siglas en ingles)

LISTA DE SIMBOLOS

R². Coeficiente de determinación

mAh. Miliamperios*hora

T. Temperatura

Δ. Variación

V. Voltaje

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de Investigación

El motor de combustión interna constituye un medio que convierte la energía química en energía mecánica, en este sentido, las dos terceras partes de la mencionada energía se utilizan para realizar un trabajo, el porcentaje restante es energía desaprovechada y forma parte de un proceso de disipación de calor nativo de las elevadas temperaturas de la combustión.

En el caso de la energía calórica es factible su conversión a energía eléctrica por medio de un dispositivo que actúe sobre el flujo de las emisiones procedentes de la combustión interna. Este particular ha impulsado el desarrollo de tecnologías que orientan sus esfuerzos a la optimización de los procesos en sus diversas manifestaciones.

Actualmente, la empresa automotriz orienta sus objetivos a optimizar los recursos de la población y complementa su ámbito de investigación aplicando medidas de control que permitan mejorar los procesos de combustión de los motores, pues son variables de interés que tienen consecuencias sobre el ambiente. Por lo tanto, se busca la integración de los intereses empresariales junto con los medioambientales.

El presente trabajo de investigación se encamina a conocer la gestión válida sobre el aprovechamiento de la energía calórica que es parte de los motores de ciclo Otto y así, evitar el desperdicio de energía al medio ambiente. Bajo este lineamiento, el uso de una celda Peltier en el sistema de escape vehicular pretende aprovechar el calor que se desprenden producto de las emisiones y así, facilitar la funcionalidad de consumidores eléctricos de un automóvil liviano.

Finalmente, con base al sistema de recuperación de energía desperdiciada se determina como factible el almacenamiento de electricidad que sustente los resultados planteados en el proyecto investigación y que posteriormente, sea de aplicación efectiva en un vehículo de combustión interna convencional.

1.2. Justificación

La investigación a desarrollarse se enfocará sobre el aprovechamiento del calor producido por las emisiones del sistema de escape de un motor de ciclo Otto. Se debe tener en cuenta que un vehículo es parte de la movilidad utilizado como parte de las labores cotidianas de la población.

El crecimiento de las diversas formas de economía de la sociedad ha ocasionado la presencia de efectos nocivos sobre el medio ambiente, lo cual, se traduce por ejemplo en la contaminación que producen los gases de escape de los motores de combustión y el consecuente calentamiento del planeta. En este sentido, se determina como un aspecto relevante de control el aprovechamiento del calor nativo del proceso de combustión de los móviles de las ciudades a través de mecanismos prácticos y que no reflejan una elevada inversión en los automotores.

Es de conocimiento que un motor a gasolina dispone de un desperdicio de energía que alcanza el 40 %, el mencionado valor es parte de un índice de calor nativo de las elevadas temperaturas propias del ciclo de funcionamiento del motor. En este ámbito, es factible que la energía calórica sea transformada a energía eléctrica por medio de la intervención sobre el flujo de las emisiones.

El continuo desarrollo de la tecnología ha sido la respuesta de la humanidad a los impactos que atraviesa el medio ambiente. De esta manera, existe el enfoque de un aprovechamiento de índole energético que sea parte de las particularidades de la funcionabilidad de un motor a gasolina. Es así como, la implementación de una celda Peltier como parte del sistema de escape de un vehículo constituye un medio valedero para el aprovechamiento del calor producto del funcionamiento del motor del vehículo, y que luego se aproveche en el accionamiento de componentes electrónicos del mismo automotor.

La presente investigación determina el manejo de conceptos inherentes al ámbito automotriz, lo cual, se complementa con la aplicación de principios de la electricidad y de la electrónica que faciliten su potencial implementación. Es importante notar la base teórica asociada al funcionamiento y eficiencia de los motores a gasolina. Adicionalmente, es relevante el conocimiento científico que potencie la identificación de soluciones que respondan a las variables de desperdicio de energía, contaminación ambiental, optimización de los recursos, entre otros [1].

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Producir energía eléctrica, alrededor de 4 V. por medio de una celda Peltier ubicada en el sistema de escape para el aprovechamiento del calor que se desprenden de las emisiones de un motor de combustión interna.

1.3.1. Objetivos específicos

- Investigar el estado del arte acerca de las celdas Peltier.
- Adaptar el dispositivo de generación de electricidad secundaria en el escape en el vehículo Kia Picanto.
- Realizar pruebas y análisis de resultados acerca de la instalación de la celda Peltier en el escape del vehículo.

1.4. Alcance

La aplicación de la investigación abarca el calor producido en el motor a gasolina de un vehículo liviano que dispone de las siguientes características. Este vehículo se seleccionó según la disponibilidad de los presentes autores.

- Marca: Kia.
- Modelo: Picanto.
- Año de fabricación: 2008.
- Cilindraje: 1100 cc

1.5. Antecedentes

El origen del motor es remoto al considerarse los precedentes de los elementos que lo estructuran y que permiten su funcionamiento. Los motores son considerados máquinas completas y que tienen la capacidad de producir energía mecánica. En función de la producción comercial petrolera del siglo XIX, se desarrollaron las innovaciones más significativas sobre este tipo de motor [2].

Un motor a gasolina es capaz de generar energía mecánica según el proceso de combustión nativo de mezclar de oxígeno y combustible. Uno de los aspectos particulares de

los motores es el proceso de combustión, que a lo largo de su desarrollo se conoce diferentes aportes realizados por técnicos de la época como es el caso de [3]:

- Niépce en 1807 consiguió la patente del denominado motor Pyrèolophore
- En 1807, Rivaz usó una mezcla de oxígeno e hidrógeno como medio de propulsión mientras que la ignición fue motivada por una chispa eléctrica.
- Para 1823, Brown aplicó sus conocimientos en un motor a nivel industrial.
- En 1826, Morey obtuvo los derechos de un motor de que utilizaba gasolina o vapor sin compresión.
- Al llegar 1838, Barnet consiguió la patente de un motor de combustión interna con compresión y para 1860, Lenor construyó el primer motor de este tipo como parte de un volumen de producción.

El motor a gasolina surgió en el siglo XIX como una evolución de la tecnología de locomoción, derivada de las máquinas de vapor. A pesar de las barreras científicas y sociales iniciales, en 1876, Nicolaus Otto introdujo un motor de cuatro tiempos más eficiente, con encendido por chispa externa y pistones alternativos, superando al motor de Lenoir en peso y utilidad [4].

Con el pasar del tiempo, la introducción del motor de combustión interna desde fines del siglo XIX fue en el punto de inflexión de la sociedad. Desde el siglo XX hasta el tiempo presente, el motor de gasolina se considera como un pilar del desarrollo de los sistemas de transporte existentes. Un aspecto por considerar es que el motor de combustión interna no ha sido de uso exclusivo para fines filantrópicos, por lo mismo, estos tipos de motores motivaron el desarrollo de la industria aeronáutica y militar [4].

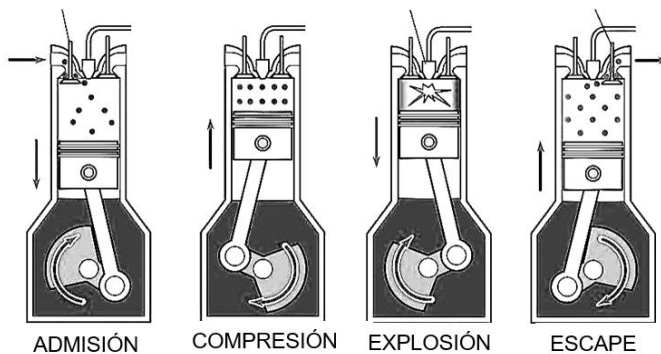
El motor propulsado por gasolina, conocido así por su inventor Nikolaus Otto, impulsa vehículos a nivel global y es clave para la innovación y producción masiva. Su funcionamiento se da gracias a la compresión e inflamación de una mezcla de aire-combustible dentro de un cilindro, generando una explosión que impulsa el giro del cigüeñal y el torque del motor. Este principio, establecido en 1876 por Otto, utiliza sustancias volátiles e inflamables en su proceso de combustión interna.

En este sentido, se determina la existencia de cuatro tiempos para su funcionamiento, con lo cual, se tiene lo dicho por Miranda y Cabrera [5]:

La primera etapa es admisión, donde el pistón se mueve desde el punto muerto inferior mientras la válvula de admisión se encuentra abierta, de esta manera, aspira la mezcla de aire-combustible dentro de la cámara de combustión. Sigue compresión, en ella sus válvulas están cerradas y el pistón se traslada al punto muerto superior, de manera que se comprime la mezcla aire-combustible. Cuando el pistón termina esta fase, gracias a una bujía produce un chispazo y se detona la mezcla. Continúa con combustión, aquí se combustiona de la mezcla y la consecuente liberación de energía para la explosión de los gases y se mueve el pistón hacia el punto muerto inferior. Aquí se transforma la energía química en energía mecánica. Por último, la etapa de escape, en donde se abre la válvula de escape y el pistón regresa hacia el PMS, así, se expulsan las emisiones nativas de la combustión y es factible el inicio de un nuevo ciclo. Esto se aprecia en la **Figura 1**, que resume las cuatro etapas del ciclo Otto.

Figura 1.

Etapas del ciclo Otto



Tomado de Gupta: [6]

La eficiencia de un motor de 4 tiempos es función de la relación de compresión entre el volumen máximo y mínimo en el cilindro. Normalmente, esa relación es de 8:1 e incluso más elevada en los motores modernos. Es factible el uso de proporciones mayores, como 12 a 1, con la finalidad de un aumento de la eficiencia del motor, sin embargo, aquí es necesario el uso de gasolina con un elevado octanaje que evite la detonación. Por otra parte, motores con una baja relación de compresión no necesitan combustible de alto octanaje [2].

A partir de los 70, la industria automotriz se orientó al desarrollo de tecnologías enfocadas al control y mejora del rendimiento de los vehículos livianos, este particular basado en el estudio de variables como el consumo de combustible y el desempeño del motor. Conforme el transcurrir del tiempo, las mencionadas variables se han posicionado como temas de especial interés en el mercado, pues el potencial cliente del mercado toma una decisión de adquirir un automotor que se adecue a sus necesidades operativas y económicas [7].

En cuanto a la eficiencia de un motor de gasolina, se alcanzan niveles hasta el 40 %, pero existen algunos motores con baja eficiencia entre el 20 % y el 30 %. Esto se debe a que la tasa de conversión de energía es relativamente baja, lo que impulsa la búsqueda de sistemas eficientes como el caso de la inyección electrónica, turbo alimentación, sistemas híbridos, entre otros. En el caso de la tecnología asociada a la recuperación de energía termoeléctrica mediante celdas Peltier, este particular aún no se ha aplicado en la producción de vehículos en serie [1].

Actualmente, existe una constante demanda de fuentes de energía alternativas según el impacto ambiental motivado por las fuentes de energía responsables de la contaminación y reducción de los recursos renovables. En este sentido, un problema latente en el mundo es la disposición de fuentes de energía, puesto que, es conocido que las principales fuentes son de origen fósil y debido a la creciente demanda, en el futuro cercano dejarán de existir y se producirá una crisis energética mundial [7].

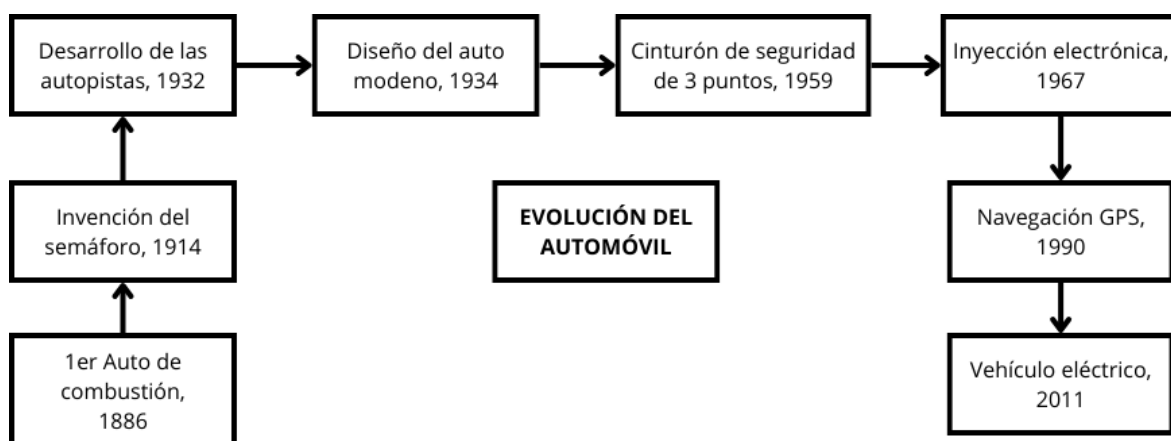
MARCO TEÓRICO

2.1. Origen y evolución de los motores

Actualmente, los motores de gasolina interna se asocian a una diversidad de problemas que se traducen en crisis energética, dependencia del crudo, contaminación atmosférica, incremento del CO₂, entre otros), sin embargo, se consideran imprescindibles e incluso disponen de diseños diferentes con una gran variación de potencias que llegan a los miles de kW [3]. Dentro de la evolución del automóvil se determina la existencia de hitos que motivaron un cambio relevante dentro de su desarrollo, los cuales, se identifican dentro de la **Figura 2**.

Figura 2.

Evolución del automóvil



Tomado de Guamán y Llanes: [3]

2.2. Eficiencia de motores de combustión interna

La eficiencia de estos motores se vincula a la relación existente entre la denominada potencia mecánica restaurada y la potencia térmica que suministra un determinado combustible. En este caso, el rendimiento se incrementa con el alcance de Carnot, lo cual, es función del gradiente térmico. En este sentido, la eficiencia de un motor varía según el tipo de aplicación y el combustible empleado; como ejemplo, en el campo

automotriz se alcanza una eficiencia del 36% en el motor de gasolina cuyo encendido es mediante chispa, mientras que el 42 % es inherente a un motor a diésel.

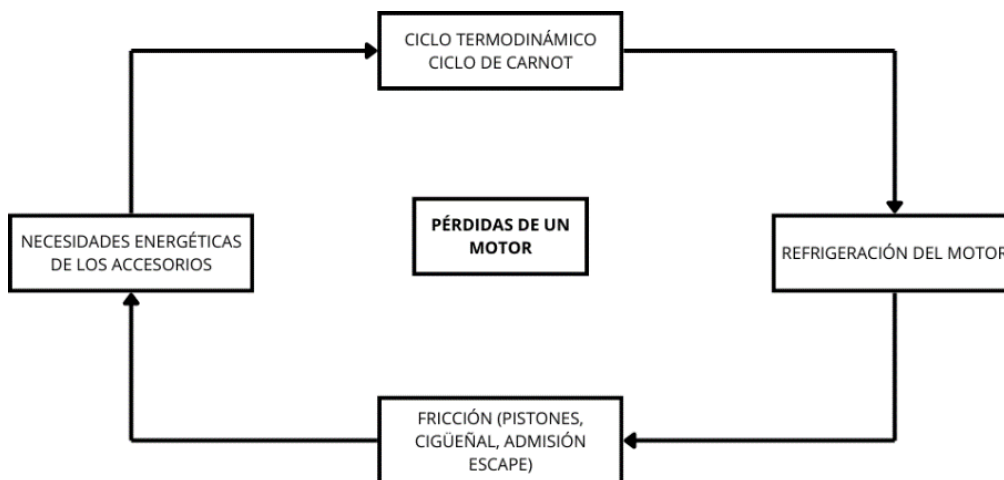
En el ámbito automotriz, su eficiencia depende en gran medida del combustible que se utiliza y de su capacidad de carga. En el caso de los autos y debido a su uso se necesita una amplia gama de velocidades y de potencias. Un vehículo de motor usado en viajes cortos dentro del medio urbano expresa una tensión en el motor y su rendimiento alcanza el 15 %. Pero es posible mejorar la eficiencia del motor según la disposición de la transmisión adecuada. La eficiencia térmica de este tipo de motores es el cociente entre el calor útil y la entrada de calor del sistema. En este caso, la expresión vinculada a lo indicado se determina por la ecuación [1.1]:

$$n = \frac{\text{Calor de salida}}{\text{Calor de entrada}} \quad [1.1]$$

Por otra parte, es indispensable tener presente las denominadas pérdidas que son parte del rendimiento de un motor, las cuales, se identifican dentro de la **Figura 3**. Es factible la implementación de determinadas acciones con la finalidad de buscar una mejora en la eficiencia del motor, en este caso, se debe tomar en cuenta la relación correcta de la relación de compresión, la regulación del proceso de expulsión de los gases de combustión interna, el uso de un compresor mecánico, entre otros.

Figura 3.

Pérdidas de un motor



Tomado de Guamán y Llanes: [3]

En relación con los motores eléctricos se conoce que estos disponen de un mejor rendimiento que los motores de gasolina. Se debe considerar que la conversión de energía que alcanza un motor eléctrico es del 85 %, por lo que su eficiencia se ubica entre el 80 % y el 85%, pero la eficiencia de un motor de gasolina puede alcanzar hasta niveles del 50 %.

Por otra parte, la cuestión ambiental juega un rol muy importante. A nivel mundial es visible la cada vez latente presencia de cambios climáticos, la lluvia ácida, inundaciones, entre otros. Es decir, existen impactos climáticos, socio económicos, entre otros que motivan a que las empresas trabajen con procedimientos sostenibles dentro de su enfoque de producción y que se basan en los siguientes aspectos [8]:

- Disminuir progresivamente el uso de recursos no renovables.
- Controlar los gases como óxido de azufre, monóxido de carbono y metales pesados emitidos hacia la atmósfera.
- Reducir la extracción de recursos naturales.
- Controlar la contaminación acústica, la contaminación del agua, suelos, entre otros.
- Reciclar los residuos nativos del consumo energético.

Existen impactos ambientales a nivel atmosférico, suelo y agua. En este sentido, las fuentes de mayor contribución a la contaminación son parte de la quema de combustibles fósiles, emisiones tóxicas que producen lluvias ácidas, desecho de sustancias químicas en los suelos, entre otros. Como medidas de respuesta se determina por ejemplo el fomento del transporte público, la construcción de zonas verdes, la reducción del consumo de plásticos [9].

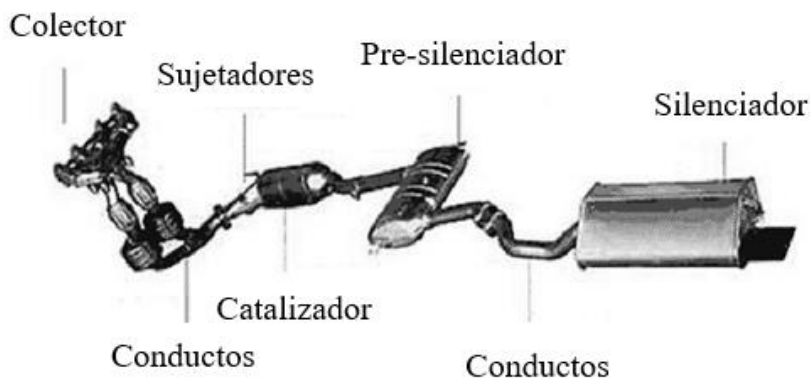
2.3. Sistema de escape

Este sistema se encarga de conducir los residuos, resultado de la actividad de un motor de combustión, hacia el exterior. En este caso, se tiene presente que un proceso de combustión motiva la emisión de residuos que no terminan por consumirse y que tienen que ser trasladados del cilindro en donde se combustiona los gases. Como este proceso de combustión de un motor es de naturaleza cíclica se establece que los residuos de la cámara a ser expulsados es constante, por lo tanto, el sistema de escape es relevante para la

eliminación de los residuos afuera del vehículo [3]. Un sistema de escape convencional consta de conductos que nacen del colector de escape en el motor, atraviesan el vehículo por su parte inferior y terminan en la parte posterior del mismo. Las partes que componen un sistema de escape se puede observar en la **Figura 4** a continuación:

Figura 4.

Sistema de escape



Tomado de Guamán y Llanes: [3]

El sistema de escape conduce los gases que han sido quemados por un motor en la recámara de combustión y van desde la culata hacia el exterior. Además, este sistema se encarga de reducir el sonido que generan los gases debido a las ondas de presión, por lo mismo, el sistema de escape es un sistema de seguridad pues su misión es el transporte de gases quemados. Se señala que el sistema de escape incide en el funcionamiento del motor pues, en caso de que la salida de los gases sea libre, la potencia del motor aumenta puesto que, los cilindros y la cámara de combustión se vacían con mayor facilidad en cada explosión, a pesar de que el motor se calienta más y el consumo de gasolina es mayor [3].

En el sistema de escape, existen conductos de evacuación que son responsables de la conducción de los gases de combustión a partir del múltiple del colector hasta la salida en la parte posterior del vehículo. Un auto, al entrar en funcionamiento, alcanza temperaturas elevadas y, por tanto, los gases se emiten a altos niveles térmicos; al apagarse el motor, éste emite calor y se da la condensación del vapor, el apareamiento de agua y una potencial oxidación. Es por esto, que los conductos de evacuación son de acero inoxidable y así, se evita la presencia de corrosión en el sistema. En el caso de autos equipados de inyección electrónica, el sistema de escape dispone de sensores ECM (Módulo de Control Electrónico)

que se activan mediante sensores de oxígeno que generan señales para aplicar correctivos en la mezcla gaseosa de aire y combustible [3].

Por otra parte, el colector de escape es relevante durante el mantenimiento de un auto para evitar del apareamiento de potenciales averías. En este ámbito, el sistema del colector de escape está diseñado para la conducción de los gases nativos de la combustión por medio del silenciador. En consecuencia, se requiere de un elemento de calidad que incremente su rendimiento y que evite eventuales fugas a través de fisuras producto del desgaste [3].

Si el colector de escape se encuentra deteriorado, el rendimiento del motor es menor. Se puede incrementar la potencia obtenida por un motor mediante la instalación de un elemento llamado turbo compresor. Este elemento aprovecha la velocidad y presión con que son expulsados los gases de escape por el colector, mediante un sistema de turbinas interconectadas por un mismo eje solidario [4].

2.4. Transferencia de calor

Para Rubio et al. [10] la transmisión de calor que se origina en el sistema de salida de gases de un motor de gasolina es factible que se origine de un combustible en base a la mezcla de etanol y gasolina con una concentración del 2 al 8 %. En base a ese particular, se ve de gran importancia entender los fundamentos de transferencia de calor, descritos a continuación.

Se tiene presente que el calor es una forma energía (temperatura) por lo cual, la transferencia de calor constituye un proceso de intercambio energético que asocia diferentes cuerpos o incluso a nivel de las diversas partes de uno que se encuentra a diferente temperatura. Esta transferencia de calor se basa en tres medios fundamentales, conducción, convección y radiación; y este fenómeno es factible que se produzca de manera simultánea, aunque predomine una de ellas [11].

La conducción, mecanismo de transferencia de calor que procede del movimiento molecular de los cuerpos sólidos. En este caso, el calentar el extremo de una varilla de naturaleza metálica motiva que luego de cierto tiempo la temperatura del otro extremo se eleve, es decir, el calor se transmitió hacia el extremo opuesto. La mencionada transferencia de calor se da por el movimiento de electrones libres responsables del transporte de energía, al existir un gradiente de temperatura en dos puntos del cuerpo, como en la **Figura 5**. En

este sentido, se identifica al metal como los conductores del calor por excelencia debido a su conductividad térmica elevada; por otro lado, la madera, el amianto y el vidrio se caracterizan por tener conductividades mucho menores y forman parte de los aislantes térmicos [11].

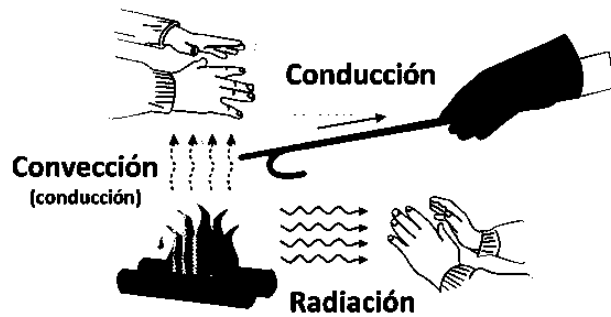
El segundo mecanismo de transferencia de calor es la convección y consiste en el intercambio de energía térmica a través de un medio fluido, que puede ser líquido o gas. La diferencia de temperatura a nivel de líquidos o gases motiva un movimiento del fluido que es capaz de transferir calor por convección desde la zona más caliente hacia la zona más fría o de menor temperatura, por lo mismo, la transferencia finaliza cuando el fluido alcanza igual temperatura y este movimiento es parte de la densidad del elemento. En este ámbito, se conoce que los acondicionadores y refrigeradores deben ser colocados cercanos al techo mientras que los radiadores de calor deben ir a una altura cercana al piso. Se conoce que la corriente de convección genera un calentamiento o enfriamiento rápido de los fluidos, por ejemplo, al mecer una cuchara en un plato de sopa ardiente, esta se enfría más rápido que si no se mueve el utensilio [11].

Finalmente, el tercer mecanismo de transferencia de calor corresponde a la radiación, un fenómeno de propagación de calor diferente a la conducción y la convección. En este caso, las sustancias que son parte del intercambio de calor no necesitan de estar en contacto y más bien, están separadas por el vacío.

Se considera que la radiación es un término aplicado de manera genérica a los fenómenos de las ondas electromagnéticas y que se caracteriza por la transferencia de calor de naturaleza infrarroja y este es el principal mecanismo que interviene entre el Sol y el planeta Tierra. Cuando el Sol se eleva por el horizonte, se percibe el calor apenas se encuentra visible y aquí la energía calórica se transmite por radiación, que se constituye por ondas electromagnéticas con longitud de onda superiores al espectro visible [11]. El calor por radiación puede transmitirse incluso en el vacío, por ello, la energía térmica del Sol es capaz de llegar a la Tierra por el espacio. La **Figura 5** ilustra los métodos de transferencia de calor descritos anteriormente.

Figura 5.

Tipos de transferencia de calor



Tomado de Incropera y DeWitt: [11]

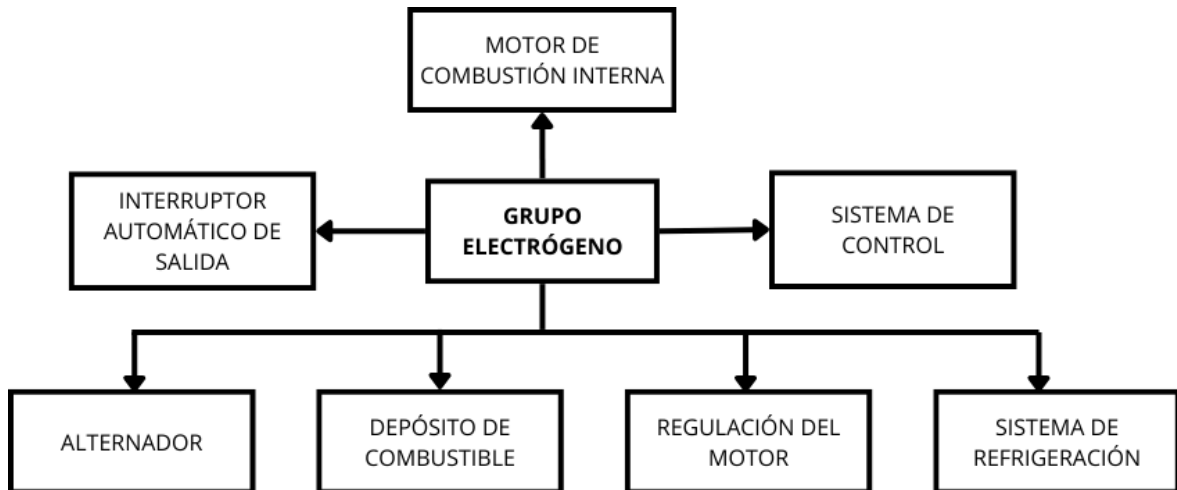
2.5. Dispositivos de generación de energía

La generación de energía implica transformarla de una forma a otra para su uso. Por ejemplo, existen diferentes formas como la química, cinética, térmica, solar o eléctrica. Estos diferentes tipos están relacionados con los diversos modos de funcionamiento que son característicos de las máquinas y que determinan su rendimiento. La energía química, por ejemplo, se encuentra en los combustibles, que se transforma en energía térmica al quemarse. La energía cinética se refiere al movimiento, mientras que la energía térmica es aquella asociada con la temperatura. La energía solar proviene del sol y puede convertirse en electricidad a través de paneles solares. La electricidad, por otro lado, consiste en el flujo de electrones por un conductor; su implementación es crucial para el funcionamiento de muchas tecnologías modernas [12].

La generación de energía a menor escala se asocia a la existencia del llamado grupo electrógeno, que permite el funcionamiento de un generador de energía eléctrica mediante un motor de combustión interna. En este caso, es común su uso al existir una falta en la formación de energía. Su mayor uso se da en sitios donde no existe suministro de energía por medio de una red eléctrica. Un grupo electrógeno se estructura por las partes que se aprecian en la **Figura 6**.

Figura 6.

Grupo electrógeno



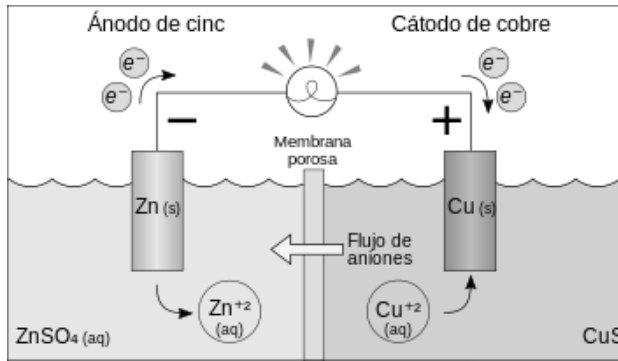
Tomado de Guevara y Guevara: [12]

Por otra parte, conviene resaltar diversos aspectos importantes sobre la pila voltaica. Esta constituye una pila eléctrica diseñada específicamente para la generación de energía mediante un proceso electroquímico.

En este caso particular, es un generador primario cuya energía se obtiene a través de dos terminales que se denominan polos o terminales. Uno de estos terminales es el borne negativo, también conocido como cátodo, y el otro terminal es el polo positivo, conocido como ánodo. Ambos polos tienen la facilidad de transmitir energía en forma de iones cuando están sumergidos en un medio conductor o electrolito. Este proceso se conoce como electrolisis o celda galvánica. En el ámbito de su comercialización, este tipo de pilas es conocido como pilas recargables o baterías [12].

La **Figura 7** ilustra de manera detallada la celda galvánica, que es el principio de funcionamiento básico de una pila voltaica. En esta representación, se puede observar cómo los electrodos de la celda están sumergidos en una solución electrolítica, lo que origina la producción de una reacción química que genere corriente eléctrica. La celda galvánica es un ejemplo de cómo se puede obtener energía eléctrica a partir de energía química de manera controlada y útil en aplicaciones cotidianas.

Figura 7.
Celda galvánica



Tomado de Guevara y Guevara: [12]

Dentro del ámbito ambiental, es conocido que los metales y compuestos químicos que estructuran las baterías son dañinas para el ecosistema debido a la contaminación química. En este sentido, es relevante la existencia del proceso de reciclado. Una vez deteriorada la envoltura que recubre las pilas, se liberan al medio ambiente las sustancias químicas de su estructura. De esta forma, las sustancias son absorbidas por el suelo rumbo a los mantos acuíferos y así, es factible su retorno al medio como parte de una cadena alimenticia. Consecuentemente, las pilas son residuos peligrosos y requieren de una disposición final adecuada [13].

Ahora es conveniente comprender la parte teórica del efecto termoeléctrico, que sustenta la funcionalidad de las Celdas Peltier.

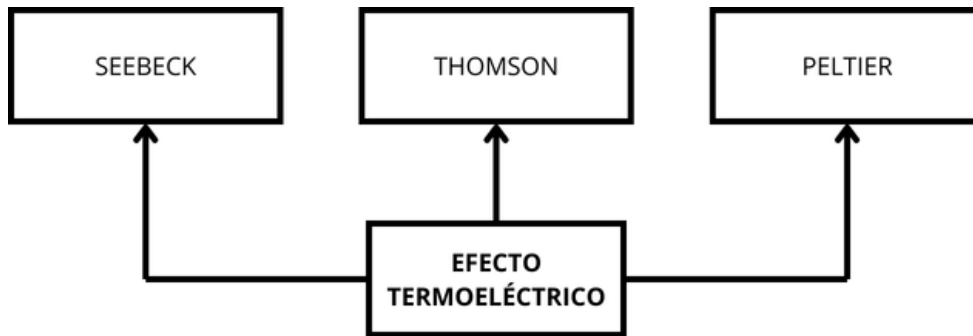
2.6. Efecto termoeléctrico

Este efecto determina la conversión de un diferencial de temperatura en voltaje y viceversa, es decir, un fenómeno que genera un voltaje cuando existe una diferencia de temperatura entre los puntos. Es importante tener en cuenta que cuando se aplica un voltaje, se origina una variación de temperatura que también es conocida como Efecto Peltier. En el nivel atómico es conocido que un gradiente de temperatura que se aplica es capaz de provocar portadores cargados desde el punto caliente al frío, es decir, es un efecto parecido a un gas que se expande al calentarse [1].

El efecto termoeléctrico también se conoce como la termoelectricidad y es capaz de abarcar tres efectos que se identifican de manera individual y que se conocen como el efecto Seebeck, el efecto Peltier, y el efecto Thomson, como se muestra en la **Figura 8**:

Figura 8.

Efecto termoeléctrico



Tomado de Lee: [14]

El efecto Seebeck, el efecto Peltier y el efecto Thomson son fenómenos termoeléctricos que involucran la interconversión de calor y electricidad en materiales conductores.

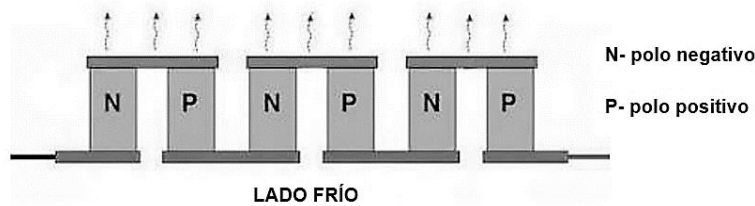
El efecto Seebeck describe la generación de una corriente eléctrica cuando hay un gradiente térmico a lo largo de un conductor, mientras que el efecto Peltier describe la absorción o liberación de calor en las uniones de dos conductores diferentes cuando una corriente eléctrica los atraviesa.

Por otro lado, el efecto Thomson es la generación de una corriente eléctrica cuando hay un gradiente térmico en un material conductor. Aunque estos efectos están relacionados, difieren en sus fundamentos y aplicaciones [15].

Estos efectos termoeléctricos están asociados con la generación de un voltaje a partir de un gradiente de temperatura y requieren la presencia de corriente eléctrica que fluye por placas semiconductoras unidas por juntas de tipo negativo-positivo N-P [16]. Como en la **Figura 9.**

Figura 9.

Efecto Peltier



Tomado de Zhang y Zhao: [16]

Desde una óptica detallada se establece que, si el flujo de electrones dentro de un tiempo se traslada de un punto a otro con baja densidad de corriente, se ocasiona una expansión de los electrones y como consecuencia genera la presencia de calor o frío. De manera experimental, el efecto Peltier no se logra de manera casera debido a que se necesitan materiales particulares, las celdas Peltier son relativamente costosas, sin embargo, su construcción es relativamente fácil [16].

Existe una relación entre las variables de presión, temperatura y volumen de un gas, lo cual, se describe en función de la ley de los gases. Es decir, si el volumen aumenta en el proceso irreversible, la ley de los gases no determina que pasa con la temperatura y la presión. De manera general, si un gas sufre de una expansión adiabática, la temperatura aumenta o disminuye en función de la presión y temperatura inicial. En el caso de una presión constante, el gas dispone de una temperatura conocida como inversión de Joule-Thomson, es decir, la compresión del gas motiva un incremento de la temperatura, además, la expansión del gas motiva un enfriamiento. De manera general, la mayor parte de los gases se enfrían al expandirse debido a la presión atmosférica y a la temperatura ambiental. Es válido tener presente que el aumento en la temperatura (ΔT) con respecto a la subida de presión (Δp) constituye lo que se conoce como coeficiente de Joule-Thomson, lo cual, se denota por la ecuación [1.2]:

$$u = \frac{\Delta T}{\Delta p} \quad [1.2]$$

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir con el objetivo de este proyecto y adaptar un dispositivo de generación eléctrica que permita aprovechar el calor de escape de un vehículo, y realizar las pruebas pertinentes en el mismo, en este capítulo se detallan los materiales necesarios y la metodología implementada. Mediante la investigación bibliográfica se pudo determinar el funcionamiento de las Celdas Peltier, así como sus posibles aplicaciones en el campo automotriz. Los componentes utilizados para la construcción del circuito corresponden a los óptimos para la aplicación de este proyecto.

3.1. Materiales

Con el fin de realizar el trabajo en cuestión, se hizo uso de diversos materiales y recursos que se caracterizan por su accesibilidad económica para cualquier estudiante, evitando así la necesidad de realizar inversiones considerables. Los autores, conscientes de la importancia de obtener resultados óptimos, tomaron en consideración la disponibilidad de dichos materiales y aseguraron contar con la mejor alternativa posible. Es importante destacar que, en el caso del vehículo utilizado en el proyecto, uno de los autores ya poseía uno a su disposición, lo que simplificó la obtención de los recursos necesarios. Los materiales utilizados se describen a continuación, y una lista detallada con sus precios se muestra en la sección Anexos.

3.1.1. Celdas Peltier

Estas celdas termoeléctricas desempeñan un papel fundamental al generar voltaje a partir de la diferencia de temperatura entre sus caras, mientras una de ellas se enfría, la otra se calienta, esto ocasiona que circule una corriente eléctrica entre ellas. Al ser mayor la diferencia de temperatura entre caras, se necesita un mayor voltaje. Si bien existen diferentes denominaciones de celdas Peltier en este proyecto, se optó por utilizar celdas termoeléctricas del modelo TEC1-12710 de las cuales se observan las principales características de operación en la **Tabla 1**, debido a su amperaje y amplia disponibilidad en el mercado, lo que facilitó adquirirlas. En este capítulo, se definirá el número de celdas necesarias en el

desarrollo del proyecto, y se detallará con mayor profundidad en secciones subsiguientes de este trabajo.

Tabla 1.

Características Generales de la Celda TECI-12710

| Características | Rango |
|---------------------------------------|---------------|
| Temperatura Lado Caliente (°C) | 25 – 50 °C |
| Qmax (Watts) | 85 – 96 W |
| Delta Tmax (°C) | 66 – 75 °C |
| Corriente Máxima (Amps) | 10.5 A |
| Voltaje Máximo (Volts) | 15.2 – 17.4 V |
| Resistencia del Módulo (Ohms) | 1.08– 1.24 Ω |

Tomado de Alldata: [17]

3.1.2. Multímetro

Un multímetro es un dispositivo esencial en la medición de diversas magnitudes eléctricas, tales como voltaje, amperaje, resistencia, entre otras. Este aparato desempeñó un papel muy importante en este proyecto al permitir exactitud en la medición del voltaje proporcionado por el circuito en cuestión. Es importante contar con un multímetro en buen estado para obtener resultados confiables. En el Anexo I se presenta el multímetro usado para la realización de las mediciones, y su importancia se nota por permitir el logro de resultados fiables en este estudio.

3.1.3. Cautín

El cautín es un instrumento bastante utilizado dentro de la Electrónica, y resulta esencial para llevar a cabo procesos de soldadura en circuitos electrónicos mediante el uso de estaño. Su relevancia en este proyecto se presenta en las etapas de prueba, donde se emplea para simular el calor transferido por el vehículo hacia las celdas Peltier al ser colocado en una de sus superficies, además de ser utilizado para soldar de forma adecuada

los diferentes componentes utilizados en el circuito. En el Anexo I se presenta una imagen de un caudín utilizado, destacando su función fundamental en la ejecución de este estudio y su aporte a la simulación de condiciones específicas en el sistema.

3.1.4. Hielo

Fue necesario utilizar hielo en las fases de pruebas con el fin de incrementar el gradiente térmico, ya que con una sola fuente de calor (caudín) no se alcanzaba un voltaje significativo en las mediciones. En el contexto de este proyecto, se empleó hielo colocándolo en la cara opuesta a la que estaba el caudín en la celda Peltier correspondiente. En el Anexo I muestra la imagen de hielo común y corriente, como el que se utilizó en las pruebas.

3.1.5. Papel aluminio

Este material se caracteriza por su alta conductividad y flexibilidad en la industria del embalaje, siendo un buen aislamiento hermético hacia productos delicados como los alimentos. No obstante, en este proyecto se utilizará el papel aluminio con el propósito de mejorar la transferencia de calor entre las placas y la superficie caliente del vehículo. Este enfoque se emplea con el fin de mejorar la eficiencia de las celdas Peltier, lo que se traduce como un aumento del voltaje producido. El papel aluminio desempeña un papel crucial al facilitar un contacto más efectivo y una mayor conductividad térmica entre las celdas Peltier y la superficie caliente del vehículo.

3.1.6. Pirómetro

Un pirómetro es un dispositivo que se utiliza para medir la temperatura de objetos sin necesidad de entrar en contacto directo con ellos. Su funcionamiento se basa en el uso de un láser de rayos infrarrojos que, en función de la emisividad de los cuerpos, permite obtener la temperatura superficial de los mismos. Los modelos comerciales de pirómetros suelen cubrir un rango basto de temperaturas que va desde -50°C hasta 1000°C , según la información de PCE Instruments, otras características importantes se las puede observar en la **Tabla 2**. En este trabajo, el pirómetro se presenta como la herramienta ideal, dado que las caras del múltiple de escape del vehículo pueden alcanzar temperaturas de hasta 950°C cuando el motor está en funcionamiento, tal como lo indica Guamán et al. en su estudio de 2019 [17, p. 261]. La utilización de un pirómetro se justifica por su capacidad para medir altas temperaturas sin contacto directo, lo que resulta esencial para este proyecto.

Tabla 2.*Características del Pirómetro Digital PCE-889B*

| Característica | Especificación |
|--------------------------------|-----------------------|
| Rango | -50 a 1000 °C |
| Peso | 163 g |
| Tiempo de Respuesta | <150 ms |
| Resolución | 0.1 °C |
| Precisión | ± 1 a 1.5 % |
| Unidades de Temperatura | °C / °F |
| Dimensiones | 146 x 104 x 43 mm |
| Óptica | 30:1 |
| Alimentación | 1 x Pila 9V |

Tomado de Pce instruments: [19]

3.1.7. Vehículo

Independientemente del modelo de vehículo, el principio de funcionamiento del circuito termoeléctrico con celdas Peltier será el mismo. En este proyecto, se utilizó el Kia Picanto 2008 disponible para los autores el cual posee las características que se observan en la **Tabla 3**. Se realizaron las conexiones de las celdas Peltier y se incorporó un circuito electrónico para regular el voltaje. Se determinó que la superficie ideal para actuar como cara caliente sería el múltiple de escape debido a su proximidad al motor y la alta temperatura que alcanza esta área. Se estima que la temperatura en el múltiple de escape alcanza los 670 °C, y desciende a lo largo de los conductos hasta 25°C o temperatura ambiente, en la salida [3]. Además, ubicar el circuito de celdas Peltier de esta manera permite evitar obstrucciones o daños en el sistema de escape, lo que podría restringir la potencia del automóvil. Una

imagen del modelo Kia Picanto utilizado para las pruebas en este trabajo se presenta en la sección de anexos.

Tabla 3.

Características Principales del Vehículo Kia Picanto

| Característica | Especificación |
|---|------------------------|
| Tipo de Motor | 1.25 L CVVT 16 Válvula |
| Cilindraje | 1.248 |
| Número de Cilindros | 4 en Línea |
| Potencia Máxima (hp/rpm) | 83 / 6.000 |
| Torque Máximo (Nm/rpm) | 122 / 4.000 |
| Tipo de Combustible | Gasolina |
| Sistema de Alimentación de Combustible | Inyección Multipunto |
| Transmisión | Manual |

Tomado de Kia: [20]

3.1.8. Módulo TP4056

Debido a la implementación de una batería de litio en el sistema, se hace necesario el uso de un BMS (battery management system) en este caso el módulo TP4056 ya que una placa electrónica diseñada para controlar la carga y descarga de baterías de LiPo de manera estable además de regular la tensión de la misma. La entrada de voltaje puede ser de hasta 5.5 V y la salida es de 4.2 V, ideal para cargar baterías de celulares o tabletas, otras de las características principales se las puede observar en la **Tabla 4**. En la entrada puede colocarse cualquier fuente de energía, como paneles solares, adaptadores conectados a la red eléctrica, generadores, etc. En este proyecto fue utilizado para recibir la energía de las celdas Peltier y transportarla a una pila de litio. Las conexiones realizadas para el circuito de este trabajo involucraron soldaduras con estaño y cautín, en las entradas y salidas disponibles, de modo que no se utilizó el puerto micro USB que se encuentra disponible en este módulo.

Tabla 4.*Características del Módulo de Carga TP4056*

| Característica | Especificación |
|------------------------------------|-----------------------|
| Corriente de Funcionamiento | 1 A |
| Precisión de Carga | 1.5% |
| Tamaño | 28 x 19 x 6 mm |
| Interfaz de Entrada | Mini USB |
| Voltaje de Entrada | 4.5 a 5.5 V |
| Tensión de Carga Completa | 4.2 V |
| Temperatura de Trabajo | -10 a 85 °C |

Tomado de Electrostore: [21]

3.1.9. Batería LiPo

Las baterías desempeñan un papel fundamental al posibilitar el almacenamiento de energía en su interior, utilizando iones, como se menciona en [18]. Entre las baterías más comunes se encuentran las de litio, que vienen en dos variantes principales: ion-litio (Li-Ion) y litio-polímero (Li-Po). Ambas son recargables, sin embargo, la elección entre una u otra depende del propósito particular para el cual se van a utilizar. Los componentes de estas baterías son tres: electrodo positivo, electrodo negativo y medio conductor o electrolito. Para el caso de Li-Ion, el medio conductor o electrolito es un compuesto líquido. En cambio, las baterías Li-Po tienen un conductor poroso a nivel microscópico, de manera que solo los iones puedan migrar de un polo al otro, y no las partículas de los electrodos [18].

Para el presente proyecto, se trabajó con una batería Li-Po de diferente capacidad, con el fin de determinar cuál de ellas garantizaba al menos un ciclo completo de carga del dispositivo a cargar. La misma fue utilizada para almacenar la energía entregada por las celdas Peltier, y así poder disponer de voltaje incluso cuando el vehículo no se encuentre

encendido. La batería utilizada fue una LiPo de 3.7 V, recargable de la cual se pueden observar sus principales características en la **Tabla 5**.

Las baterías LiPo presentan varias ventajas, incluyendo su robustez, flexibilidad y dimensiones compactas, lo que las hace ideales para una variedad de aplicaciones. Además, tienen una menor probabilidad de derrame de electrolito en comparación con otras tecnologías de baterías. Sin embargo, es importante tener en cuenta que las baterías LiPo suelen ser más costosas, según se menciona en el informe de 330ohms [18]. La elección entre LiPo y Li-Ion se debe basar en las necesidades específicas del proyecto, considerando la tasa de descarga requerida. Las baterías LiPo son adecuadas para aplicaciones con bajas tasas de descarga, mientras que en situaciones que requieren tasas de descarga más elevadas, es preferible optar por baterías de tipo Li-Ion.

Tabla 5.

Características de Batería LIPO 3.7V

| Característica | Especificación |
|--------------------------------------|-----------------------|
| Voltaje Nominal | 3.7 V |
| Capacidad | 1200 mAh |
| Temperatura de Operación | 0 – 45 °C |
| Corriente Final de Carga | 0.01 C |
| Corriente de Carga Máxima | 1200 mA |
| Corriente de Descarga Máxima | 1200 mA |
| Temperatura de Almacenamiento | -20 a 60 °C |

Tomado de 330ohms: [23]

3.1.10. Modulo Step-Up DC/DC 5V USB

Este módulo permite una salida constante y estable de 5V y 600 mA, cuenta con un puerto USB a la salida, y fue utilizado en este proyecto para cargar la batería con la energía

de las celdas Peltier. EL módulo Step-Up DC/DC 5V USB es un elevador de voltaje que permite obtener una potencia máxima de 3W, trabajando con 600 mA y del cual se observan sus principales características en la **Tabla 6**.

Este módulo se destaca por su capacidad de operar eficazmente a frecuencias de hasta 400 kHz, logrando una eficiencia del 96% [24]. Su función principal es garantizar un voltaje de salida estable, incluso cuando se enfrenta a entradas variables o inestables, lo que lo convierte en una herramienta útil por excelencia en aplicaciones que requieren una salida de 5V constante, como la carga de dispositivos móviles, como teléfonos celulares. Una característica distintiva de este módulo es que tanto la entrada como la salida son de corriente continua, lo que significa que puede convertir incluso una entrada muy baja como 0.89 V en una salida de 5V. Dado que el propósito específico de este trabajo es cargar dispositivos móviles, como los celulares, el uso de este módulo está justificado.

Tabla 6.

Características Módulo Step UP DC/DC

| Características | Especificaciones |
|---------------------------|---------------------------|
| Consumo Energético | 130uA en estado de reposo |
| Peso | 5 gr |
| Voltaje de Entrada | 1 V – 5V |
| Voltaje de Salida | 5 V – 5.1 V |
| Dimensiones | 25 m x 18 mm |

Tomado de Maxelectronica: [24]

3.1.11. Módulo Step-Up MT3608

El último módulo desempeñó un papel muy importante como una medida de seguridad para asegurar un suministro de voltaje estable y elevado antes de la conexión al módulo TP4056. Este módulo incluye un potenciómetro que permite ajustar el voltaje de salida, que en este caso fue configurado a 4.2 V, adecuado para la carga de baterías de dispositivos móviles. La función principal del módulo Step-Up MT3608 radica en aumentar

el voltaje de entrada para su posterior uso en la aplicación específica. En el Anexo I se muestra este componente y se detallan sus partes.

Los convertidores DC/DC permiten conseguir voltajes menores o mayores al de su entrada, siendo del tipo Step-Down o Step-Up respectivamente (ElectroStore, 2020). El módulo en cuestión es del tipo step-up o boost, pues incrementa su voltaje al nivel deseado. Existen convertidores de dos tipos, lineales o conmutados, siendo los más simples y de menor eficiencia, los primeros. Los convertidores conmutados convierten el voltaje de manera periódica, tal que la energía que transita por ellos es almacenada para luego ser liberada y obtener el incremento de voltaje deseado. EL módulo Step-Up MT3608 es del tipo convertidor conmutado del cual se observan las principales características en la

Tabla 7.

Hasta este punto, se ha proporcionado una descripción sobre los materiales que se emplearán en el proyecto en cuestión. A continuación, se realiza una explicación del proceso de medición de las placas y su instalación en el vehículo en condiciones de trabajo. Se llevaron a cabo dos tipos de pruebas: pruebas controladas y pruebas en condiciones de trabajo. Las pruebas controladas se realizaron con el propósito de verificar el voltaje generado por las placas al someterlas a un gradiente térmico controlado y conocido. Por otro lado, en las pruebas en condiciones de trabajo, se procedió a la instalación del circuito de celdas Peltier y los convertidores DC/DC, junto con la batería LiPo, en el múltiple de escape del vehículo, lo que permitió obtener resultados prácticos y aplicables para un análisis más detallado.

Tabla 7.

Características Módulo MT3608

| Características | Especificación |
|---------------------------|-----------------------|
| Voltaje de Entrada | 2 V – 24 V DC |
| Voltaje de Salida | 5V – 28V DC |

| | |
|--------------------------------------|---------------------|
| Protección contra Temperatura | Apaga la Salida |
| Frecuencia de Trabajo | 1.2 MHz |
| Corriente de Salida | 2A |
| Potencia de Salida | 6W |
| Dimensiones | 36mm x 17 mm x 7 mm |

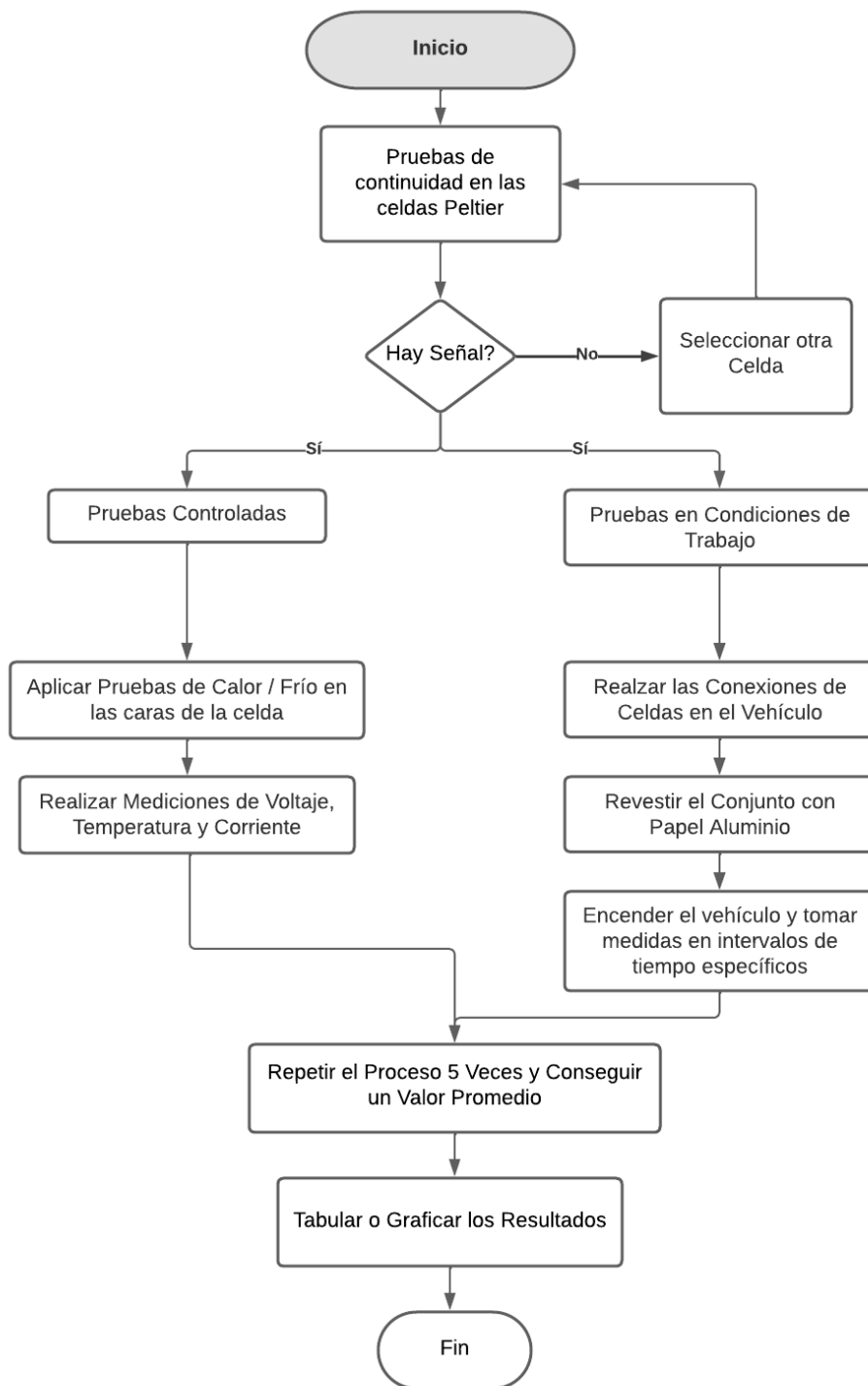
Tomado de Maxelectronic: [24]

3.2. Fase de pruebas controladas

La primera etapa, esencial antes de iniciar las pruebas en condiciones de trabajo, se centra en la realización de ensayos o pruebas controladas. Esta fase tiene como objetivo verificar el correcto funcionamiento de las celdas Peltier. Para lograr esto, se llevaron a cabo dos ensayos de naturaleza empírica, en los cuales se exploraron distintos rangos de temperaturas con el propósito de evaluar el voltaje producido por las celdas. La elección de realizar ensayos empíricos se debió a la falta de procedimientos normalizados disponibles para evaluar las celdas Peltier, como se mencionó en el trabajo de Arguello y Albán [1]. Estos ensayos se basaron en las pruebas previamente efectuadas por los autores mencionados y se describen de manera resumida en el siguiente diagrama representado en la **Figura 10**.

Figura 10.

Diagrama de flujo de pruebas



En la fase de pruebas controladas se hicieron mediciones de celdas aisladas, de donde se obtuvo el voltaje por celda a diferentes temperaturas en sus caras. Mientras que, en la fase de condiciones de trabajo, se realizaron las mediciones del circuito instalado en el vehículo, es decir en el múltiple de escape.

3.2.1. Prueba controlada 1

Esta prueba consistió en aplicar calor a un lado de la celda Peltier para medir su respuesta. El procedimiento en este ensayo permitió conseguir valores máximos de 1.1 V, y se desarrolló de la siguiente manera:

- Conectar una celda Peltier al multímetro para medir el voltaje
- Colocar el cautín en un lado de la celda, que corresponde al lado caliente, para simular el calor entregado por el motor del vehículo en las condiciones de trabajo
- Medir el voltaje suministrado por la celda, como se aprecia en la **Figura 11**:

Figura 11.

Prueba controlada 1, cautín



3.2.2. Prueba controlada 2

Similar al ensayo 1, se realizaron los mismos pasos, pero con la diferencia de que en este caso se ubicó hielo en el lado opuesto de la celda Peltier. Esta modificación tuvo como finalidad intensificar la diferencia de temperatura y, por consiguiente, aumentar el voltaje producido. Con este ensayo se alcanzaron valores de hasta 2.24 V. Esta configuración se ilustra en la Figura 2.3.

Figura 12.

Prueba controlada 2, cautín con hielo



Una vez que se configuraron las características necesarias y el equipo inició su funcionamiento, se procedió a aplicarlo en el vehículo. De manera especial, se buscó la zona más cercana al motor, con el fin de obtener temperaturas más altas. Además, se evitó incrustar el circuito dentro del tubo de escape ya que produciría pérdidas de eficiencia en el vehículo. La cara utilizada fue el múltiple de escape del motor, en donde la temperatura es mayor de entre todos los elementos que componen el sistema de escape automotor.

3.3. Fase de pruebas en condiciones de trabajo

Luego de haber realizado las pruebas controladas, y obtenidos valores satisfactorios se procede a realizar pruebas en el vehículo, en este caso un Kia Picanto del año 2008. Para esto es necesario saber dónde van a ir ubicadas las celdas ya que se necesita de la mayor cantidad de calor posible, o zona más caliente para que las celdas puedan tener su máximo rendimiento.

Al analizar el sistema de escape que es el sitio por donde se expulsan los gases combustionados se determinó que la zona más caliente y adecuada para colocar las celdas es el múltiple de escape, de igual manera se debe tener en cuenta que la superficie debe ser plana para asegurar la mayor hermeticidad posible de contacto entre las celdas.

En la parte exterior del múltiple de escape se genera suficiente calor para abastecer las celdas, las cuales fueron montadas con la cara caliente hacia dentro, es decir que estarán

en contacto directo con la parte caliente del múltiple de escape, produciéndose la transferencia de calor a través de conducción.

En esta parte se realizaron pruebas con diferentes números de celdas, lo que permite conocer el voltaje entregado en cada configuración y así saber cuántas son suficientes para conseguir el voltaje deseado. Esto se muestra a continuación, donde se aplicaron pruebas con una celda, luego con tres celdas, y finalmente con cinco celdas. El procedimiento empleado se detalla a continuación.

3.3.1. Prueba con una celda

Como primera prueba en el vehículo se utilizó solamente una celda para medir los diferentes voltajes que se logran obtener. Dependiendo de estos resultados se podría saber cuántas celdas serían necesarias para obtener valores de voltajes considerables y que puedan ser aprovechados en algún consumidor eléctrico dentro del habitáculo del vehículo. Esto se aprecia mejor en la **Figura 13**.

Figura 13.

Conexión general para pruebas de trabajo



Se tomaron cinco valores distintos de voltaje, a distintos niveles de aceleración del motor, con el fin de evaluar la respuesta de las celdas Peltier. La **Figura 14** detalla la conexión realizada en el múltiple de escape del motor.

Figura 14.

Conexión con una celda Peltier



3.3.2. Pruebas con 3 celdas

Después de llevar a cabo un conjunto de pruebas con una sola celda, se pudo observar que, si bien los resultados eran razonables, aún no alcanzaban el nivel necesario para ser considerados aprovechables en la aplicación prevista. Como solución a este problema, se tomó la decisión de realizar pruebas utilizando tres celdas conectadas en serie. Esta elección se basó en el principio de que, al conectar las celdas en paralelo, simplemente se sumarían las intensidades de corriente, que, además, eran notoriamente bajas. En contraste, al conectar las celdas en serie, se sumarían los valores de voltaje que cada una de ellas generara, lo que permitiría alcanzar el deseado nivel de 3.7 V, ideal para los fines del proyecto en cuestión.

Además, es importante mencionar que la corriente necesaria para el funcionamiento sería suministrada por una batería LiPo que estaría conectada posteriormente para almacenar la energía generada. En este sentido, es relevante señalar que el objetivo principal al trabajar con las celdas Peltier es obtener un voltaje significativo en lugar de una corriente sustancial, dado que estas celdas no son conocidas por producir una cantidad considerable de amperaje, como se ha estudiado previamente [1]. En la **Figura 15** se aprecia la conexión con tres celdas en el múltiple de escape.

Figura 15.

Conexión con 3 celdas Peltier



3.3.3. Pruebas con 5 celdas

Finalmente se realizaron pruebas con 5 celdas conectadas en serie. Asumiendo que cada celda daría un voltaje aproximado de 1V es de esperar que todas en total sumen un voltaje de 5V. Por lo tanto, este arreglo sería adecuada para alimentar cualquier dispositivo eléctrico. En la **Figura 16** se puede visualizar la conexión de las cinco celdas Peltier al múltiple de escape del vehículo.

Figura 16.

Conexión con 5 celdas Peltier

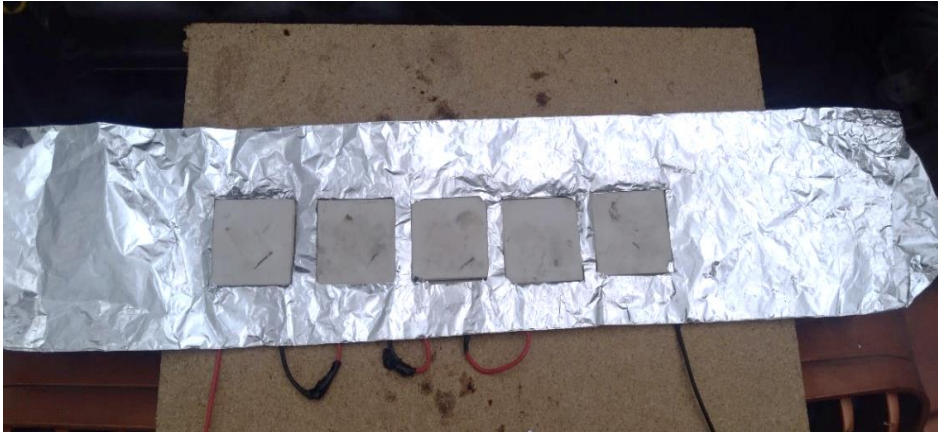


En contraste con lo esperado, el voltaje máximo obtenido fue inferior a los 3.7 V, lo cual resultó insuficiente para recargar la batería de un teléfono celular. Ante esta situación desafiante, se tomó la decisión de ensamblar las celdas en un arreglo personalizado utilizando papel aluminio, con las superficies de las celdas expuestas de manera deliberada.

Este enfoque se implementó con el propósito de evitar cualquier interferencia, y al mismo tiempo, garantizar un sellado hermético para maximizar la captura de calor y su conversión eficiente en corriente eléctrica, como se aprecia en la **Figura 17**, de conexión con cinco celdas Peltier.

Figura 17.

Conexión para pruebas controladas



Después de montar nuevamente el arreglo de celdas, pero ahora con el papel aluminio como arnés se realizó nuevamente las pruebas, y en esta ocasión sí se obtuvieron los valores de voltaje esperados. Como resultados se obtuvo un voltaje máximo de 4.37V. En la **Figura 18** se puede apreciar el resultado tras colocar el papel aluminio entorno a las placas Peltier.

Figura 18.

Conexión con papel aluminio



3.3.4. Intervalos de pruebas controladas

Para garantizar que los resultados sean los correctos, es necesario que la temperatura que alcance el vehículo sea estable. Por esta razón, se tomaron medidas en intervalos iguales de un minuto durante los cinco primeros minutos de encendido del motor. Esto da fiabilidad de que el auto ha alcanzado su rango normal de operación. De esta manera se podrán realizar las pruebas controladas con la seguridad de que los resultados a obtener serán los correctos, precisos y adecuados para un correcto análisis y evaluación del sistema.

Esto se hace debido a que el motor debe calentarse antes de entrar en funcionamiento. En particular, en el estado de ralentí, el motor se mantiene encendido, pero no acelera, lo que resulta en un funcionamiento a bajas revoluciones por minuto (RPM). Durante este período, los componentes del vehículo tienden a expandirse a medida que la temperatura aumenta, lo que los prepara para funcionar a su capacidad máxima, como lo destacan los autores en su informe. Este proceso es fundamental para garantizar un óptimo rendimiento y eficiencia en la operación del vehículo.

3.4. Construcción del circuito para almacenar energía

Después de completar con éxito la fase de pruebas, se avanzó en el proceso de canalizar la corriente eléctrica generada por las celdas Peltier a través de cables hacia el interior del habitáculo del vehículo. Este suministro eléctrico sería posteriormente aprovechado para diversas aplicaciones previamente definidas por los autores, tales como la carga de dispositivos como celulares o tabletas.

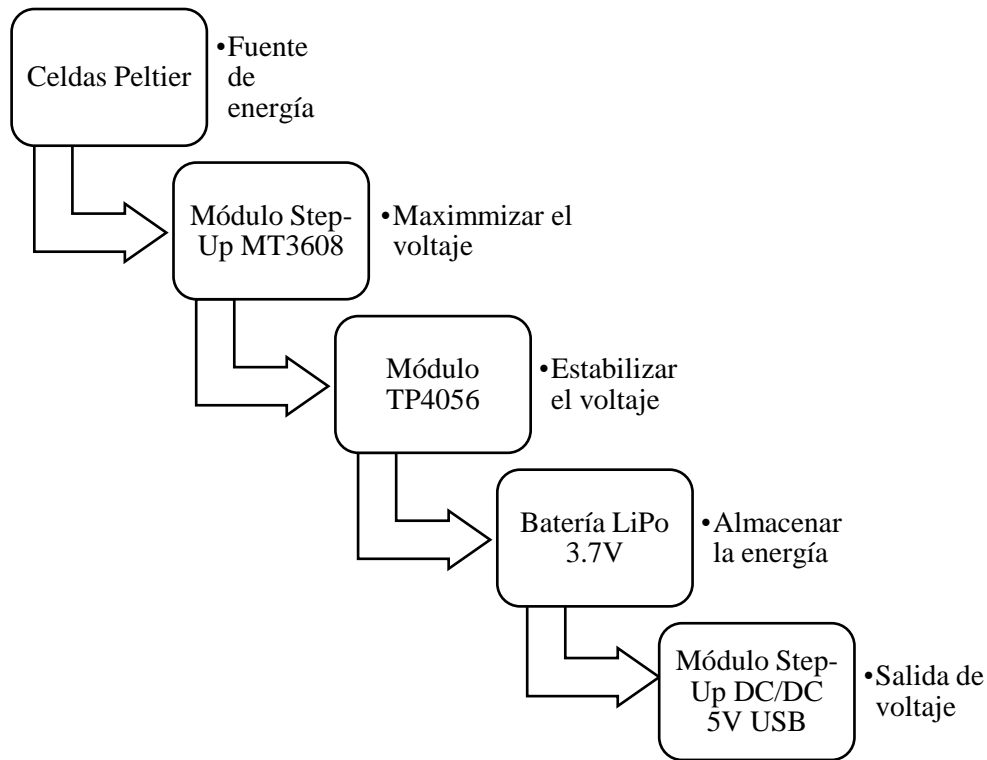
Una vez que se completaron las pruebas controladas, se llegó a la conclusión de que contar con cinco celdas Peltier era suficiente para alcanzar el voltaje requerido. Por lo tanto, se procedió a llevar a cabo la conexión de todo el circuito, que involucra las celdas Peltier, la batería y el terminal USB. Sin embargo, para evitar la presencia de fluctuaciones en los niveles de voltaje, se tomó la decisión de incorporar módulos adicionales en el circuito, con el propósito de estabilizar estas variaciones o llevar el voltaje a la magnitud deseada de manera consistente.

El circuito completo incluye a los módulos TP4056, Step-Up DC/DC 5V USB y Step-Up MT3608, los cuales desempeñan un rol fundamental en la estabilización y optimización del voltaje, como se detalló previamente en la teoría. Además, se integra la

batería en conjunto con estos módulos para permitir la utilización del sistema en las aplicaciones previamente mencionadas. El esquema del circuito conectado en su totalidad se representa de la siguiente manera (ver **Figura 19**).

Figura 19.

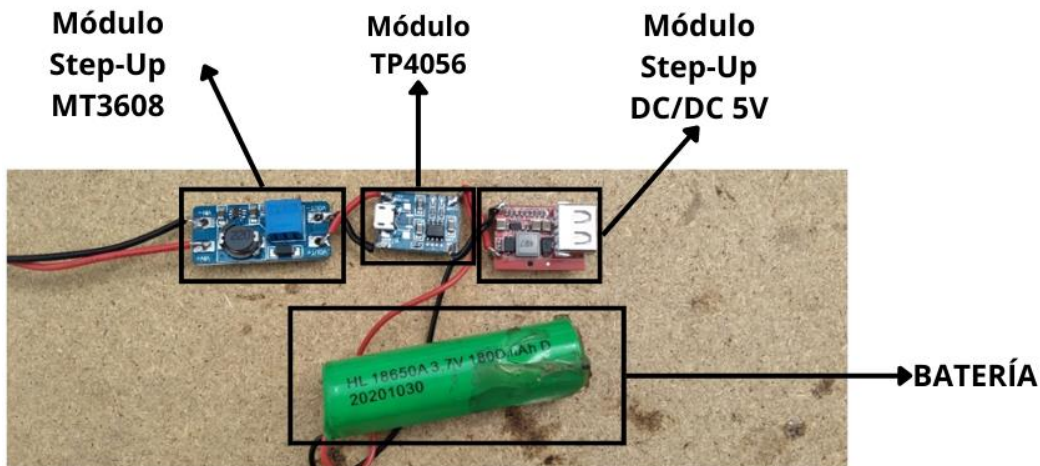
Esquema del circuito empleado



Como se vio en la **Figura 19**, los componentes van conectados en serie. Estos componentes, además, permiten maximizar el voltaje a la entrada y a la vez mantenerlo constante previo al contacto con la batería (módulo Step-Up MT3608), transportar este voltaje a la batería para cargarla (Módulo TP4056), almacenar la energía en dicha batería, y finalmente ser aprovechado desde un puerto USB (Módulo Step-Up DC/DC 5V USB). Con lo que la conexión podrá extraer de mejor manera el voltaje de las celdas Peltier, estabilizar los altibajos y garantizar un nivel constante para cargar la batería LiPo, logrando una salida de 4.2 V en el puerto USB. El circuito completo construido se puede visualizar de mejor manera en la **Figura 20**.

Figura 20.

Circuito electrónico construido



El circuito mostrado en esta figura se encuentra en condiciones de operación y listo para ser utilizado en las aplicaciones de carga de celulares o tabletas, como se estableció al inicio de este trabajo. Ahora, lo que se necesita es definir las condiciones de uso, tales como número o capacidad de baterías utilizadas, tiempo de autonomía por circuito, temperatura y voltaje que alcanzan las celdas, entre otras variables.

3.4.1. Selección de Capacidad de Batería

Si bien es cierto que la batería del celular se cargará con el voltaje suministrado por las celdas Peltier, también es cierto que no todo el tiempo el auto estará encendido, y por ello no siempre se cargará el 100% de la batería del celular o tableta. Es por esta razón que se debe garantizar que la batería auxiliar, que forma parte del circuito, tenga la suficiente capacidad y autonomía como para cargar el restante de energía al celular cuando el vehículo se haya apagado. Este aspecto no solo proporciona mayor independencia al sistema termoelectrico de las celdas Peltier, sino que también garantiza que el celular o tableta se cargue en su totalidad. Como consecuencia, el uso del circuito se expande para abarcar no solo el período en el que el motor entra en funcionamiento, sino también cuando el vehículo se encuentra apagado. Esto conlleva beneficios significativos en cuanto a flexibilidad y conveniencia para el usuario, asegurando que el dispositivo móvil se mantenga cargado en diversas situaciones.

El uso de baterías LiPo en el sistema es un factor de suma importancia para garantizar que el circuito pueda cargar dispositivos como celulares o tabletas de manera efectiva. Esto resulta relevante en situaciones en las cuales el vehículo se encuentra apagado o en un estado

de funcionamiento en frío, ya que, es ahí cuando la temperatura en el múltiple de escape no proporcionaría el calor necesario para activar las celdas Peltier y generar el voltaje requerido. No contar con estas baterías en tales circunstancias podría resultar en desventajas en términos de tiempos de carga de las baterías de los dispositivos móviles, lo que subraya aún más la importancia de su presencia en el sistema.

Es por esto que se vuelve imprescindible la utilización de baterías como elemento fundamental en el funcionamiento del sistema. En este trabajo se analizaron dos casos respecto a la capacidad de estas:

- Primero, una batería de 1800mAh
- Segundo, una batería de mayor capacidad, 8000 mAh

Lo anterior permite comprobar cuál de ellas ofrece carga completa de la batería del celular. Para realizar esta comparación, se utilizó como referencia una batería de celular con una capacidad de 4000mAh, correspondiente al modelo Huawei Mate8, según la información proporcionada por Carulla [19]. Este enfoque de referencia permite no solo identificar cuál de las baterías es suficiente para lograr una carga completa, sino también estimar la duración de la autonomía en relación con el funcionamiento de las celdas Peltier. De esta manera, se obtiene una visión más integral de cómo se desempeñan las baterías auxiliares en función de las necesidades específicas de carga y operación del sistema.

En la **Figura 21** se aprecian las baterías de 1800 mAh y 8000 mAh utilizadas en este proyecto:

Figura 21.

Baterías LiPo 3.7V 1800 mAh (izquierda) y 8000 mAh (derecha)



Si bien la batería (4000mAh) del celular tiene mayor capacidad que la primera pila LiPo (1800mAh), esta servirá para cargar parcialmente al celular cuando no disponga de energía térmica en las celdas Peltier. Pero el uso de estas pilas es como energía auxiliar

cuando el vehículo se encuentra frío. Sin embargo, la pila de 8000 mAh sí permitirá la carga completa del celular, incluso sin celdas Peltier. En cualquiera de los casos, las pilas LiPo auxiliares deberán ser cargadas por el sistema electrónico diseñado en este proyecto.

3.5. Fase de pruebas de temperatura

El circuito construido de celdas Peltier, al estar sometido a las vibraciones vehiculares, además de las pequeñas fallas de aislamiento hermético, no genera un voltaje ideal, pues existen pequeñas porosidades que actúan como fugas térmicas y empeoran la eficiencia del sistema térmico eléctrico al reducir la conducción de calor hacia las celdas Peltier. Con el fin de mejorar la conductividad entre múltiple de escape de motor y las celdas, se utilizó papel aluminio envolviendo dichas celdas, como se mencionó anteriormente. Pero aun así existe la posibilidad de que haya fugas térmicas, pues el aluminio se caracteriza por su alta conductividad, y al estar expuesto al ambiente, permite las pérdidas de calor hacia el mismo.

Para medir la eficiencia del circuito se midió la temperatura que arrojaron las caras calientes y las caras frías de las celdas Peltier al estar conectadas al automotor, y al estar conectadas a una fuente de voltaje ya conocida. Es decir, se realizaron dos pruebas, que permitieron su posterior comparación para determinar las pérdidas térmicas y la eficiencia del sistema.

3.5.1. Primera prueba térmica

Como primera prueba de temperatura se tomó una celda Peltier, la cual fue sometida a diferentes valores de voltaje yendo desde 1V hasta los 5V que es el voltaje máximo producido por las celdas ya instaladas en el colector de escape del vehículo. A través de una batería y un potenciómetro se fue variando el voltaje y con la ayuda de un pirómetro digital laser se tomaron los datos de temperatura máximos producidos tanto en la cara caliente como en la cara fría de las celdas.

Como resultado se obtienen los valores reales producidos por una única celda Peltier en condiciones estables de trabajo, es decir que todas las celdas deben producir la misma temperatura con los valores de voltaje establecidos. En la **Figura 22** se muestra el pirómetro y la temperatura tomada al realizar las pruebas en una celda Peltier.

Ya que el voltaje máximo producido por las celdas instaladas en el vehículo se limita a 5v, se consideró este valor como un punto de referencia crítico para determinar la temperatura máxima alcanzada a esta tensión específica. El resultado de esta evaluación mostró que la temperatura máxima registrada en estas condiciones fue de 27.8°C. Este enfoque de establecer un punto de referencia basado en el voltaje máximo permite comprender cómo se comporta el sistema a niveles específicos de tensión y es fundamental para analizar su rendimiento en diferentes situaciones.

Figura 22.

Mediciones de temperatura en las pruebas aluminio



3.5.2. Segunda prueba térmica

Estas pruebas se realizaron directamente en el vehículo como parte del proceso. Una vez obtenidos los valores de temperaturas a diferentes voltajes conocidos, se procedió a realizar pruebas en el múltiple de escape. El propósito de estas pruebas era el de comparar la desviación o margen de error que existen entre los valores preestablecidos y los tomados con las celdas ya instaladas en condiciones de trabajo. Este enfoque permitiría una evaluación precisa de las pérdidas térmicas y la eficiencia global del sistema termoeléctrico en funcionamiento. En otras palabras, se buscaba contrastar las condiciones ideales con las condiciones prácticas para obtener una visión más clara de su rendimiento y desempeño, lo que sería esencial para identificar áreas de mejora en el sistema. que permitiría determinar las pérdidas térmicas y eficiencia del sistema.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos tras realizar las diferentes pruebas en las celdas Peltier, en su funcionamiento dentro del vehículo. Además, se detallan los resultados del proceso que permitió obtener la eficiencia térmica en las mismas. Las primeras mediciones fueron respecto del voltaje en las celdas Peltier, con diferentes baterías de diferentes capacidades, para confirmar cuál de ellas es la configuración más óptima en realizar cargas para los celulares, tal como se planteó al inicio de este documento. Al final se compararon valores de temperatura ideales y reales en el circuito montado en el vehículo.

4.1. Pruebas en condiciones de trabajo

4.1.1. Pruebas con 1 celda

La primera configuración evaluada correspondió a la configuración del circuito con una sola celda Peltier. Por medio se comprobó si el voltaje obtenido a la salida era lo suficientemente alto como para alimentar a la batería que cargaría al celular, es decir de al menos 4.2 V. La **Tabla 8** muestra los resultados:

Tabla 8.

Pruebas en condiciones de trabajo con 1 celda

| Pruebas | Tiempo, [min] | Voltaje obtenido, [V] |
|---------|---------------|-----------------------|
| P1 | 1 | 0.1 |
| P2 | 2 | 0.3 |
| P3 | 3 | 0.58 |
| P4 | 4 | 0.71 |
| P5 | 5 | 0.92 |

Como se aprecia en esta tabla 8, los voltajes obtenidos no son suficientes, pues no alcanzan 0.92 V. La tabla 8 muestra el voltaje obtenido a diferentes tiempos, lo que implica

diferentes temperaturas en el múltiple de escape, lugar donde se encuentran asentadas las celdas Peltier (celda en este caso). Mientras aumenta el tiempo, el vehículo alcanza su temperatura de trabajo y las mediciones su valor real, por lo tanto, mayor salida de voltaje.

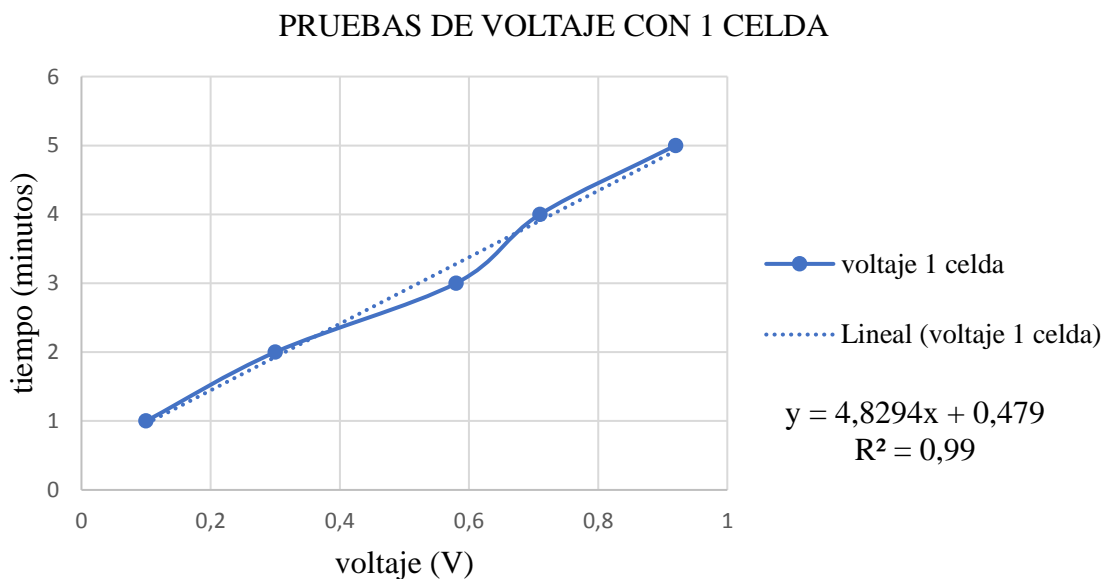
El motor de un vehículo debe calentarse antes de entrar en funcionamiento, sin embargo, el circuito realizado en este proyecto prevé usarse desde su encendido, por ello se tomaron los valores de 1 a 5 minutos, punto en que se dice, la temperatura del motor es estable [20].

Estos resultados se sometieron a un análisis de regresión, en donde se obtuvieron diferentes líneas de tendencia. La exactitud de las mismas fue representada por el coeficiente de determinación R^2 , una relación entre la variación total de las observaciones con respecto a su media. Este factor puede variar entre 0 y 1, mientras más cercano a uno, mayor fidelidad tendrá la regresión. [21].

En la **Figura 23** se aprecian los resultados de las pruebas controladas con una sola celda. Las curvas de regresión estimadas en base a los valores alcanzados muestran una tendencia creciente con el tiempo. No obstante, trabajar únicamente con una celda no resulta óptimo por los valores bajos de voltaje obtenidos, motivo por el cual se realizaron pruebas utilizando un mayor número de celdas Peltier.

Figura 23.

Voltaje vs tiempo en pruebas con una celda



La gráfica anterior comparó diferentes regresiones para las pruebas con una celda Peltier. Se compararon curvas: lineal, polinómica de grado 2, y logarítmica para verificar cual obtiene mayor exactitud, en donde “y” representa el tiempo en minutos de la prueba, mientras que “x” es el voltaje obtenido por parte de la celda. Las tres curvas tienen un valor $R^2 > 0.95$ que indica un buen ajuste con respecto a los datos medidos. Se comprobó que la expresión lineal fue la mejor, con un valor R^2 de 0.99. Sin embargo, se espera que los valores se estabilicen con el tiempo, razón por la cual se elige la función lineal.

4.1.2. Pruebas con 2 celdas

Efectuadas las pruebas con una celda y obteniendo un voltaje inferior al requerido, se procedió a realizar las mismas pruebas con una cantidad de dos celdas, incrementando el voltaje. De igual forma, se tomó 5 medidas de voltajes, desde que el vehículo se enciende hasta que haya alcanzado su rango nominal de funcionamiento, en intervalos iguales de tiempo, obteniendo un voltaje de 1.60 V a los 5 minutos tal y como se indica en la **Tabla 10**.

Tabla 9.

Pruebas en Condiciones de Trabajo con 2 Celdas

| Pruebas | Tiempo, [min] | Voltaje obtenido, [V] |
|-----------|---------------|-----------------------|
| P1 | 1 | 0.15 |
| P2 | 2 | 0.69 |
| P3 | 3 | 1.15 |
| P4 | 4 | 1.48 |
| P5 | 5 | 1.90 |

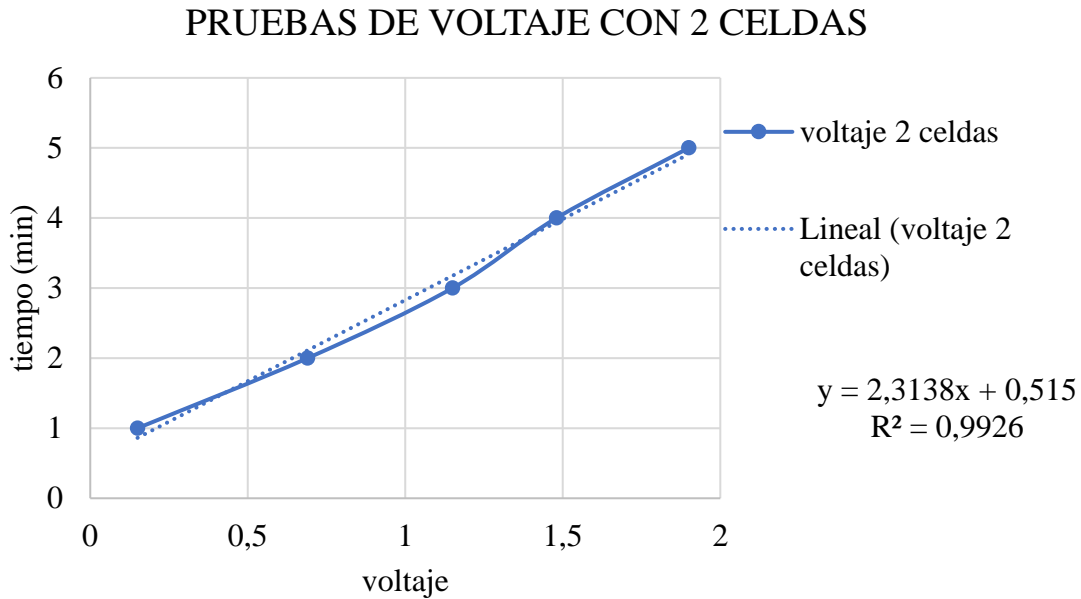
En la **Tabla 9** se verifica que se alcanzó voltaje de mayor magnitud que para una celda (**Tabla 8**), sin embargo, esta prueba aún es insuficiente para la aplicación desarrollada en el estudio que requiere mínimamente 3.7V. Para esto se seguirá aumentando la cantidad de celdas hasta obtener los resultados deseados.

Estos resultados analizar de manera gráfica, generando diversas curvas de regresión para estimar en el tiempo los resultados de comportamiento de la celda. En la **Figura 24** se muestran los valores de voltaje obtenidos en los cinco minutos de encendido del vehículo,

así como las diferentes ecuaciones que representan las regresiones aplicadas a estos datos. Se aprecia que existe un ajuste no muy exacto para estos datos indicando que el valor de voltaje puede incrementar aún más en el transcurso del tiempo, pero de manera lenta.

Figura 24.

Gráficas de Resultados de Prueba con 2 Celdas



Las curvas de tendencia analizadas fueron logarítmica, lineal y cuadrática, tal como en las pruebas con una sola celda. La curva de mayor exactitud fue la lineal, con un valor de $R^2 = 0,99$.

4.1.3. Pruebas con 3 celdas

Al notar que los resultados de voltaje con dos celdas Peltier fueron insuficientes, se procedió a realizar las mismas pruebas con tres celdas, consiguiendo mayores voltajes. De igual manera, se tomaron 5 muestras de voltajes, desde que el vehículo se enciende hasta que haya alcanzado su rango normal de funcionamiento, en intervalos iguales de tiempo. El máximo voltaje a la salida fue de 2.23V, como se indica en la **Tabla 10**.

Tabla 10.

Pruebas en condiciones de trabajo con 3 celdas

| Pruebas | Tiempo, [min] | Voltaje obtenido, [V] |
|---------|---------------|-----------------------|
|---------|---------------|-----------------------|

| | | |
|-----------|---|------|
| P1 | 1 | 0.25 |
| P2 | 2 | 1.61 |
| P3 | 3 | 1.85 |
| P4 | 4 | 2.00 |
| P5 | 5 | 2.23 |

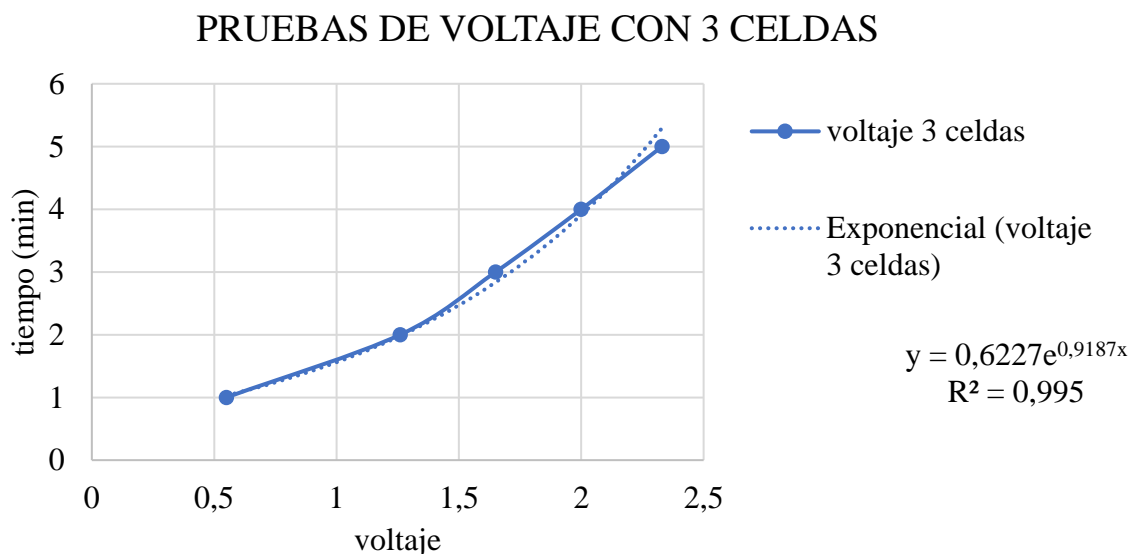
En la **Tabla 10** se puede notar que los voltajes alcanzaron mayores magnitudes que en la prueba con dos celdas Peltier (**Tabla 9**) sin embargo, aún no son suficientes como para la aplicación que se pretende alimentar, que corresponde a 3.7V. Lo que se tiene que realizar es incrementar el número de celdas Peltier, hasta conseguir un buen nivel de voltaje, que iguale o supere los 4.2 V, necesarios para cargar la batería de celular.

Estos resultados se procedieron a analizar gráficamente, obteniendo diferentes curvas de regresión y prolongar estimaciones en el tiempo. En la

Figura 25 se observan los valores de voltaje obtenidos en los primero cinco minutos de encendido del vehículo, así como las diferentes regresiones aplicadas a estos datos. Se puede notar una convergencia de valores, en torno a 2.5 V, que sería el valor máximo cuando el tiempo tiende al infinito.

Figura 25.

Voltaje vs tiempo en pruebas con tres celdas



Las curvas de tendencia analizadas fueron logarítmica, lineal y exponencial, tal como en las pruebas anteriores. La curva de mayor exactitud fue la polinómica de segundo grado, con un valor de $R^2 = 0.997$. No obstante, para un tiempo mayor que 5min el valor de voltaje disminuirá, cosa que no es deseable. Por lo tanto, se prefiere la curva de tendencia exponencial, con un $R^2 = 0.99$. Es así como, puede utilizarse la tendencia logarítmica para tiempos mayores de 5 minutos sin ningún problema.

4.1.4. Pruebas con 4 celdas

Se procedió al análisis del comportamiento incrementando una celda adicional, es decir 4 celdas en serie, con los resultados que se reflejan en la **Tabla 11** en donde se puede identificar que el incremento de voltaje no es considerable comparado con los obtenidos en 3 celdas y se ajustan más a los valores de 2 celdas por lo que no se considera una alternativa viable para el análisis.

Tabla 11.

Pruebas con 4 celdas sin papel aluminio

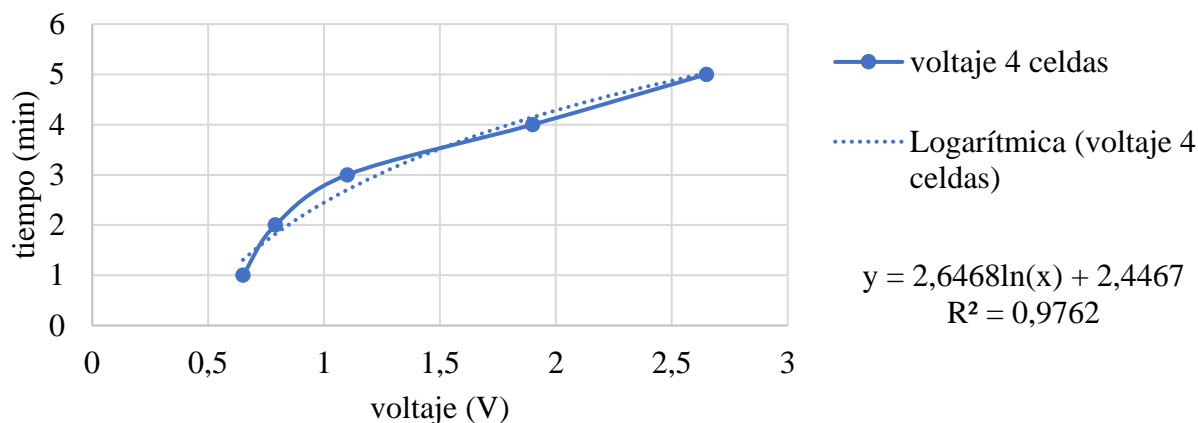
| Pruebas | Tiempo, [min] | Voltaje obtenido, [V] |
|-----------|---------------|-----------------------|
| P1 | 1 | 0.65 |
| P2 | 2 | 0.79 |
| P3 | 3 | 1.10 |
| P4 | 4 | 1.90 |
| P5 | 5 | 2.65 |

En la **Figura 26** se puede observar el comportamiento de los datos capturados en el tiempo en donde se realizó una regresión para obtener las ecuaciones que mejor ajusten los datos obtenidos de voltaje con 4 celdas. En esto se observa que tanto la tendencia lineal como la polinomial son perfectas para ajustar estos datos con un $R=0.09926$ y $R=0.9936$, sin embargo, al no generar el voltaje requerido y apenas cubrir cerca de los 2 Voltios no se considera como una alternativa a tomarse en cuenta.

Figura 26.

Gráficas en el Tiempo de Voltaje con 4 Celdas Peltier

PRUEBAS DE VOLTAJE CON 4 CELDAS



4.1.5. Pruebas con 5 celdas

Finalmente se realizaron pruebas con 5 celdas conectadas en serie con el fin de verificar si se alcanza o supera el umbral de 4.2 V, necesarios para la aplicación propuesta. La **Tabla 12** resume estos resultados.

Tabla 12.

Pruebas con 5 celdas sin papel aluminio

| Pruebas | Tiempo, [min] | Voltaje obtenido, [V] |
|-----------|---------------|-----------------------|
| P1 | 1 | 0.67 |
| P2 | 2 | 1.28 |
| P3 | 3 | 2.16 |
| P4 | 4 | 3.06 |
| P5 | 5 | 3.28 |

Como se aprecia en esta tabla, no se consiguieron los 4.2V deseados ni con cinco celdas Peltier. Esto obligó a los autores a pensar en una solución que no implique incrementar el número de celdas, ya que resultaría poco práctico, costoso y ocupar demasiado espacio en el sistema de escape del vehículo. Una de las posibles soluciones consistía en aplicar pasta térmica entre las celdas y la superficie caliente del múltiple de escape con el fin de eliminar porosidades entre las superficies en contacto (impiden la correcta transferencia de calor). La

segunda opción consistía en envolver en papel aluminio a las celdas y sus alrededores con el mismo fin además de mejorar su aislamiento hermético con el ambiente y facilitar la conducción de calor hacia las mismas. Y la tercera opción era la implementación de disipadores de calor en la cara fría de las celdas, esto con el fin de aumentar la diferencia de temperaturas entre las dos caras de las celdas. Se optó por la segunda y tercera opción debido a la mayor disponibilidad de recursos por parte de los autores.

Esta medida permitió básicamente mejorar la conductividad del sistema, reducir la resistencia térmica y aislar el circuito termo eléctrico, de modo que la pérdida de calor sería menor, además de que en la cara fría de las celdas gracias a los disipadores de calor se reduciría la temperatura lo que ayudaría a lograr una mayor diferencia de temperatura y por ende un mayor voltaje. En la **Tabla 13** se indican los resultados obtenidos en esta configuración con aluminio y disipadores de calor.

Tabla 13.

Pruebas con 5 celdas con papel aluminio

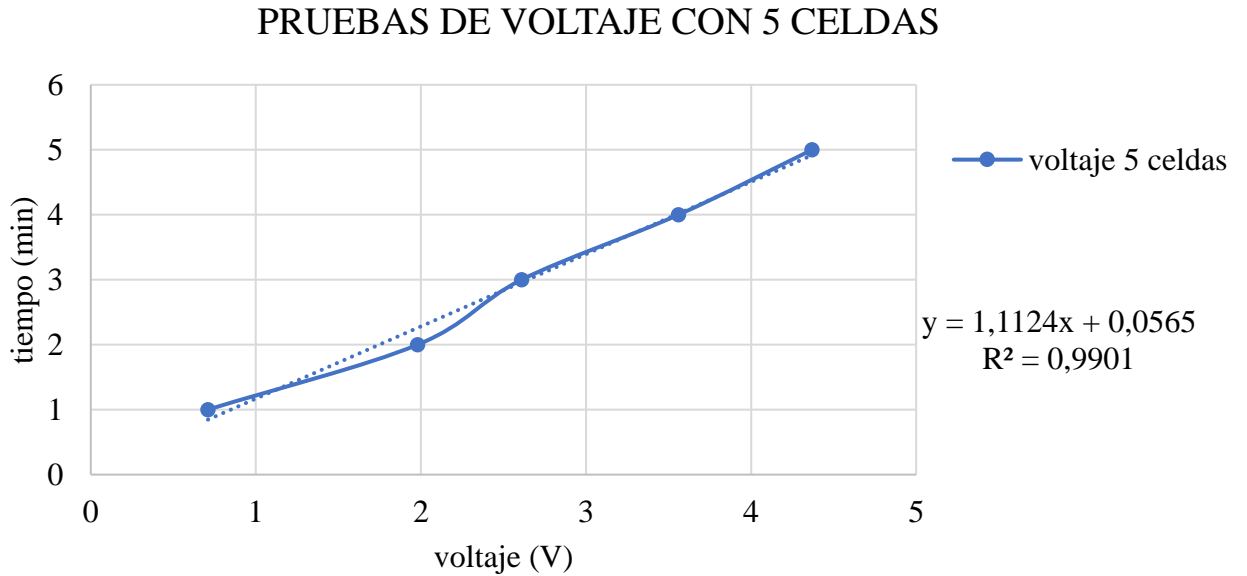
| Pruebas | Tiempo, [min] | Voltaje obtenido, [V] |
|----------------|----------------------|------------------------------|
| P1 | 1 | 0.71 |
| P2 | 2 | 1.98 |
| P3 | 3 | 2.61 |
| P4 | 4 | 3.56 |
| P5 | 5 | 4.37 |

Como se muestra en esta tabla, el voltaje pudo alcanzar e incluso superar el nivel de 4.2V, suficientes para cargar una batería de celular o tableta. La **Tabla 13** muestra los resultados de voltaje a diferentes tiempos, hasta que la temperatura del vehículo se estabilice. Obteniendo 4.37 V como resultado final. Estos resultados son muy favorables y demuestran el éxito de las modificaciones realizadas en el sistema.

La **Figura 27** muestra los resultados para cinco celdas Peltier con papel aluminio. Se observan las líneas de tendencia, donde la polinómica cuadrática muestra el mayor nivel de R^2 (0.986). Sin embargo, es preferible elegir la curva de tendencia lineal, con un valor de $R^2=0.99$, pues permitirá una comparación análoga con los casos de una y tres celdas.

Figura 27.

Voltaje vs tiempo en pruebas con cinco celdas



Una vez analizado que el caso de 5 celdas con aluminio es el que mejor se ajusta a la aplicación prevista, se realiza un análisis del comportamiento cambiando la configuración de las 5 celdas en serie a paralelo y se obtuvieron los datos que se observan en la **Figura 28**, en donde el máximo valor obtenido es de 2.31 parecido a los resultados con 3 celdas lo que no es conveniente para el sistema diseñado ya que no alcanzan los valores mínimos para la alimentación de los módulos.

Figura 28.

Prueba de Voltaje con 5 Celdas en Paralelo

| Pruebas | Tiempo, [min] | Voltaje obtenido, [V] |
|-----------|---------------|-----------------------|
| P1 | 1 | 0.50 |
| P2 | 2 | 0.96 |

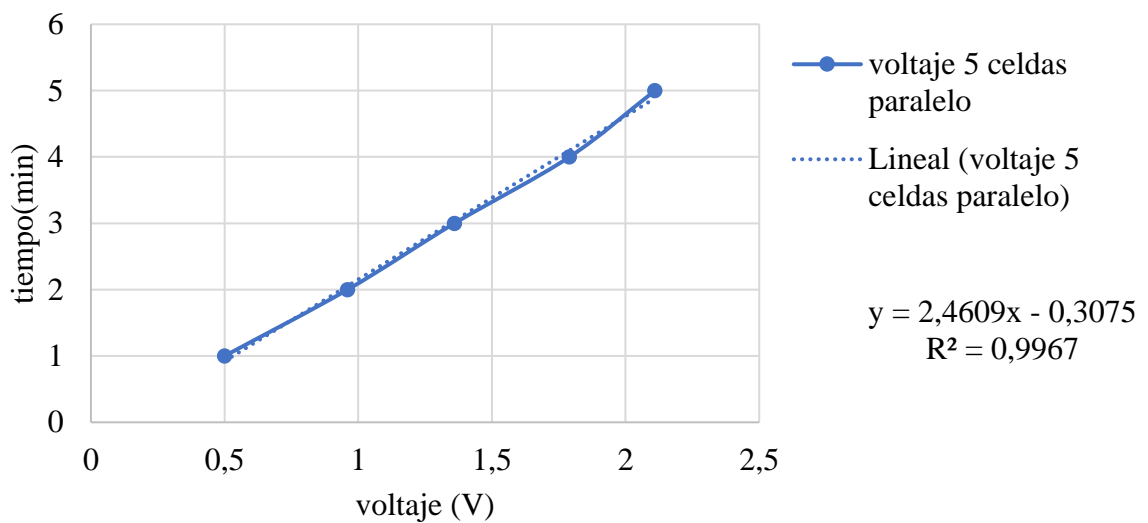
| | | |
|-----------|---|------|
| P3 | 3 | 1.36 |
| P4 | 4 | 1.79 |
| P5 | 5 | 2.11 |

Se puede observar en la **Figura 29** que el comportamiento que mejor se ajusta a los datos de esta configuración es la tendencia polinómica con un $R=0.981$ y el cual indica una progresión del voltaje que tiende hasta los 2.5V, que sin embargo no alcanza la estimación prevista para la aplicación.

Figura 29.

Pruebas de Voltaje con 5 Celdas en Configuración en Paralelo

PRUEBAS DE VOLTAJE CON 5 CELDAS PARALELO



En cuanto a la corriente para este caso de análisis se obtuvieron los datos que se observan en la **Tabla 14**, en donde se aprecia que durante las 7 mediciones efectuadas se genera una corriente máxima a los 7 minutos de 0.63A lo suficiente para la carga del componente de batería.

Tabla 14.

Medidas de Corriente en Configuración Paralelo

| Pruebas | Tiempo, [min] | Corriente obtenida, [A] |
|----------------|----------------------|--------------------------------|
| P1 | 1 | 0.08 |
| P2 | 2 | 0.19 |
| P3 | 3 | 0.27 |
| P4 | 4 | 0.45 |
| P5 | 5 | 0.51 |
| P6 | 6 | 0.59 |
| P7 | 7 | 0.63 |

Sin embargo, los valores de tensión y corriente obtenidos en la conexión en paralelo varían mucho en comparación a la conexión en serie que inicialmente se realizó. En una conexión en serie se pueden obtener valores de voltaje más altos ya que, en este tipo de conexión se suma la tensión, pero se conserva la corriente. Al contrario, una conexión en paralelo se obtienen valores de corriente más altos, pero con un valor de tensión mucho menor.

Para cargar una batería de litio se recomienda hacerlo a 0.5 amperios para evitar daños y prolongar su vida útil. En este caso con la conexión en paralelo de 5 celdas logramos obtener un valor de corriente de 0,63 amperios lo cual aún es un valor recomendable para cargar la batería de litio, pero este no es el caso que se utiliza para el prototipo final ya que con este tipo de conexión no se alcanzan los valores de tensión necesarios para alimentar los módulos que componen el sistema.

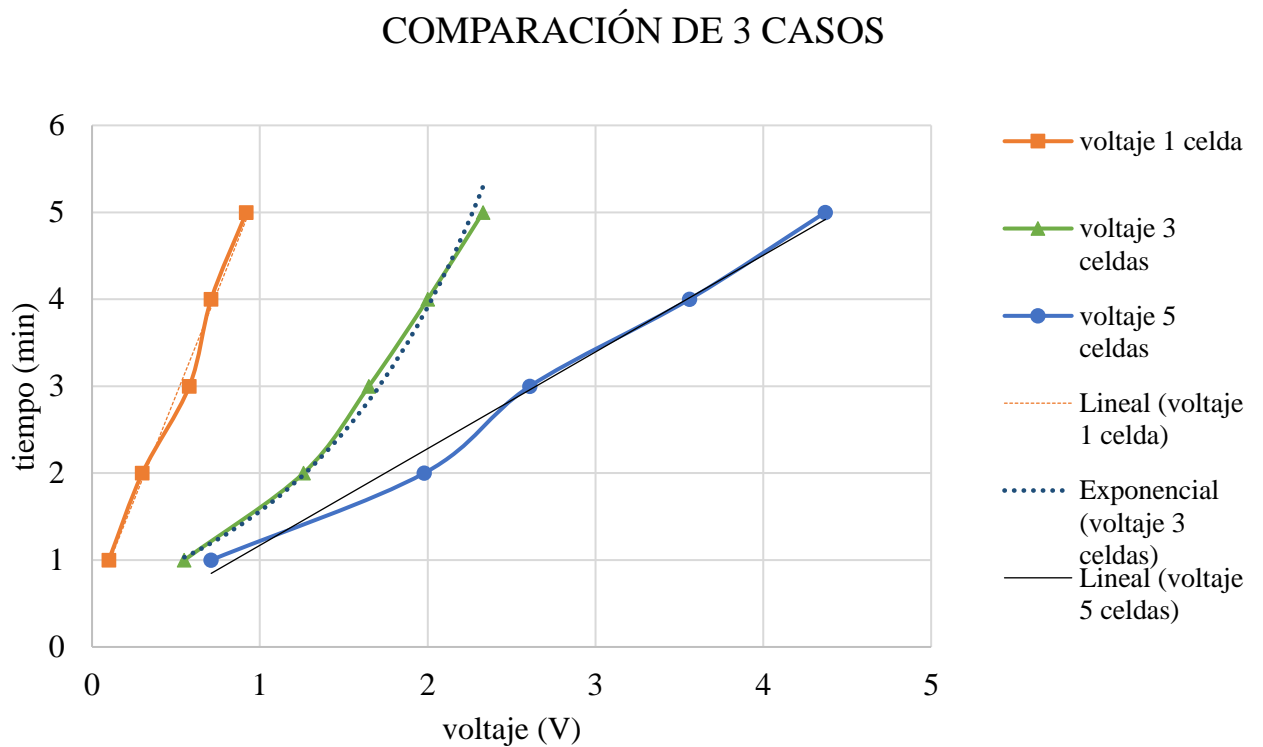
4.1.6. Comparación de 3 casos

A modo de comparativa, se realizaron las gráficas correspondientes a las pruebas controladas con una, tres y cinco celdas Peltier en una sola figura debido a que eran las que mejor tendencia generaba para la aplicación diseñada. Las curvas de tendencia seleccionadas fueron lineales y una exponencial, ya que de este modo se podría obtener una comparación del mismo tipo en donde “y” representa el tiempo en minutos y “x” el valor de voltaje obtenido, además, este tipo de curva tiende a converger con el tiempo, cosa que no sucede con las regresiones cuadráticas [21].

En la **Figura 30** se aprecian los resultados mostrados hasta ahora, a modo ilustrativo, para poder asimilar mejor los valores encontrados. Como se mencionó anteriormente, las pruebas se realizaron a intervalos iguales durante los primeros 5 minutos de encendido. Estas gráficas muestran valores de voltaje proporcionales al número de celdas.

Figura 30.

Voltaje vs tiempo en pruebas con una, tres y cinco celdas



Los resultados fueron comparados mediante una línea de tendencia lineal y una exponencial, donde el mejor comportamiento presentó la curva de cinco celdas Peltier, con un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.99$. Las curvas de los otros casos arrojaron menores valores de R^2 . Esto indica que la mayor exactitud la tiene la curva de cinco celdas, y con ella se podrán hacer estimaciones más confiables para tiempos mayores.

4.2. Pruebas de temperatura

Debido a las variaciones de temperatura en el vehículo, se realizaron diferentes pruebas con el fin de determinar la eficiencia de las celdas Peltier. La primera prueba

consistió realizar mediciones de la temperatura nominal en las caras de las celdas Peltier al ser sometidas a determinado voltaje conocido. La segunda consistió en una medición de temperatura del sistema de celdas Peltier al ser conectadas al múltiple de escape del automóvil, con el fin de comparar estos nuevos valores con los obtenidos en las primeras pruebas.

4.2.1. Prueba de temperatura 1

Al someter la celda a determinado voltaje, esta produce una diferencia de temperatura significativa entre sus caras fría y caliente. Debido a que el voltaje máximo producido por las celdas instaladas en el vehículo será de 5V, se tomó este valor como referencia para determinar la temperatura que se da en las caras. La **Tabla 5** muestra la temperatura de la celda Peltier cuando se aplica un voltaje conocido, desde 1V hasta 5 V.

Tabla 15.

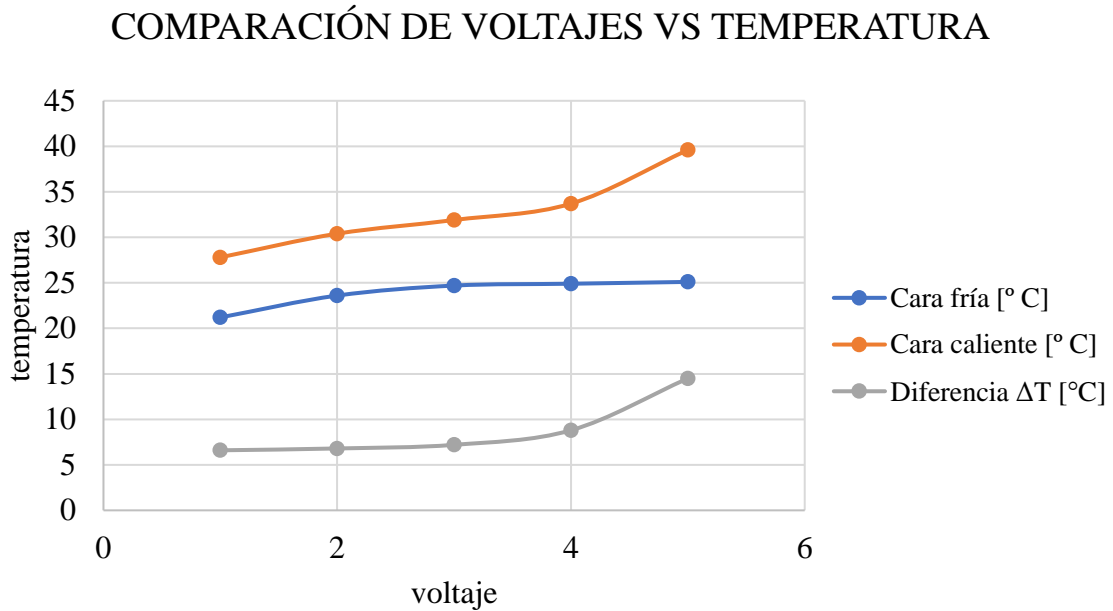
Primera prueba de temperatura

| Voltaje [v] | Cara fría [° C] | Cara caliente [° C] | Diferencia ΔT [°C] |
|-------------|-----------------|---------------------|----------------------------|
| 1 | 21,2 | 27,8 | 6,6 |
| 2 | 23,6 | 30,4 | 6,8 |
| 3 | 24,7 | 31,9 | 7,2 |
| 4 | 24,9 | 33,7 | 8,8 |
| 5 | 25,1 | 39,6 | 14,5 |

Para visualizar mejor estos resultados, la **Figura 31** muestra que existe una relación directamente proporcional entre el voltaje y la diferencia de temperatura. La gráfica es creciente. La figura indica que hasta cierto tiempo óptimo habrá una variación de temperatura deseada, en este caso conviene analizarlo solo los primeros cinco minutos de encendido del automóvil, ya que es este tiempo el necesario para que se dé la estabilización térmica del motor [20] . Este enfoque en los primeros minutos de funcionamiento resulta crucial para comprender y mejorar la eficiencia del sistema termoelectrico en condiciones reales de conducción.

Figura 31.

Voltaje vs temperatura en pruebas



Ahora se da paso a las pruebas en el vehículo que fueron realizadas para determinar la diferencia de los valores obtenidos en pruebas y los obtenidos en condiciones de trabajo. Con esto se puede para evaluar la efectividad y la aplicabilidad de los resultados previamente obtenidos en un entorno controlado, ya que permiten analizar el comportamiento del sistema en condiciones de operación en el vehículo.

4.2.2. Pruebas en el vehículo

Se realizaron mediciones de temperatura en la cara caliente (múltiple de escape) y cara fría de las celdas Peltier. Como se aprecia en la **Tabla 6**, los datos fueron tomados durante los 10 primeros min de encendido del vehículo para tener menores errores en la comparación de resultados, si bien con 5 min es suficiente para calentar al motor [20]. Pero estas mediciones se hicieron sin papel aluminio para poder medir directamente la temperatura, hasta conseguir los 5V necesarios para la comparativa.

Tabla 16.

Temperatura en condiciones de trabajo

| Tiempo [min] | Voltaje [V] | Cara fría [° C] | Cara caliente [° C] | Diferencia ΔT [°C] |
|------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|---|
| 0 | 0 | 22,2 | 22,2 | 0 |
| 2 | 1,8 | 130,7 | 150,6 | 19,9 |
| 4 | 2,6 | 255,8 | 280,8 | 25 |
| 6 | 3,5 | 279,9 | 302,9 | 23 |
| 8 | 4,1 | 315,8 | 350,8 | 35 |
| 10 | 4,8 | 350,1 | 395,4 | 45,3 |

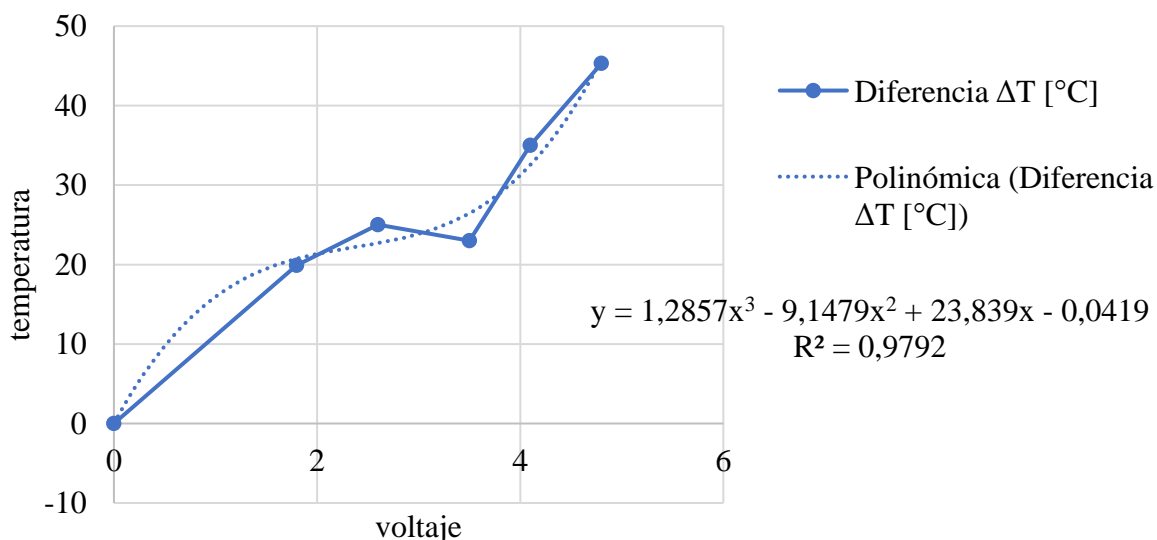
Se puede evidenciar que los valores de diferencia de temperatura recuperados a través de las celdas Peltier en el colector de escape del vehículo varían con respecto de los valores preestablecidos (**Tabla 6**). Esto es debido a que existe una ineficiencia en el sistema termoeléctrico, ya sea al momento de colocar las celdas en el colector, o estas no tengan un buen contacto y se van a producir pérdidas de temperatura, es decir ineficiencia térmica. Aunque se construyó un arnés para asegurar la juntura de las caras de las celdas con el colector, esto no es eficaz en un 100%, de igual manera al tener varias conexiones entre los módulos del sistema de carga, existen fugas del voltaje lo cual reduce la eficiencia de las celdas y no permite conseguir los resultados deseados.

Para este caso se debe tener presente que el voltaje producido por las celdas viene dado en función de la temperatura generada por el vehículo. Por lo tanto, se realizaron gráficas de variación de temperatura vs el voltaje generado. La **Figura 32** proporciona información acerca de cómo la temperatura del sistema influye directamente en la generación de voltaje. Esto permite visualizar de mejor manera el comportamiento del sistema en condiciones de trabajo.

Figura 32.

Temperatura en condiciones de trabajo

DIFERENCIA DE TEMPERATURA



De la **Figura 32** se realizó un análisis más detallado, de donde se obtuvo una línea de tendencia de tercer grado, como se ve en esta figura. Esta línea permitió evaluar la temperatura para voltajes deseados de 1 a 5 V, con lo que fue posible comparar con la fase de pruebas. La información resultante se presenta de manera detallada en la **Tabla 7**, lo que brinda una visión más precisa de las variaciones térmicas en el sistema y la respuesta del voltaje alcanzado.

Tabla 17.

Comparación de temperaturas y pérdidas térmicas

| Voltaje, [v] | ΔT ideal, [°C] | ΔT real, [°C] | Error= Pérdidas, [%] |
|--------------|------------------------|-----------------------|----------------------|
| 1 | 6,6 | 15,93 | 58,6% |
| 2 | 6,8 | 21,33 | 68,1% |
| 3 | 7,2 | 23,86 | 69,8% |
| 4 | 8,8 | 31,23 | 71,8% |
| 5 | 14,5 | 51,17 | 71,7% |

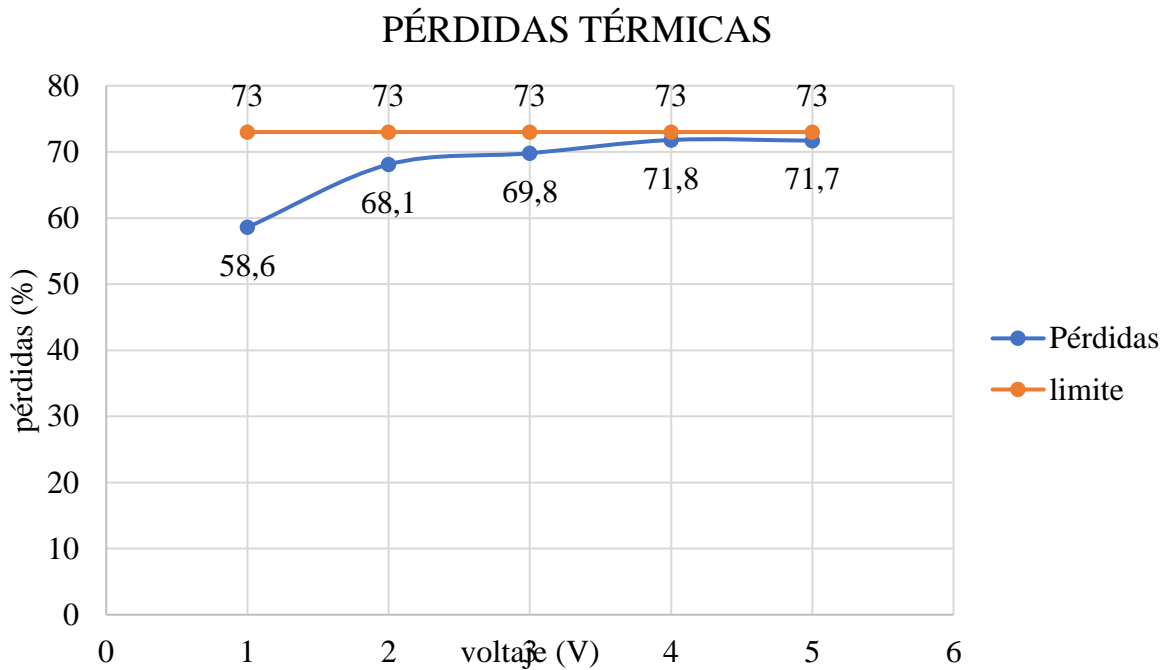
En la **Tabla 7**. la diferencia de temperaturas ideal corresponde a la fase de pruebas, y la diferencia real a las condiciones de trabajo. El error entre ellas corresponde a las pérdidas

térmicas. El ΔT real es mayor que el ideal, y esto significa que existen fugas entre el múltiple de escape y las celdas Peltier. Esto sucede porque la cara caliente de la Celda Peltier instalada fue de difícil acceso y se tuvo que medir directo a la superficie del motor en cuestión.

Al analizar estos resultados, es posible evidenciar una tendencia creciente en las pérdidas de calor a medida que se incrementa el voltaje deseado. Es necesario graficar estos valores para encontrar un límite de convergencia aproximado, esto se detalla en la **Figura 33**.

Figura 33.

Pérdidas térmicas en el circuito



Como se pudo apreciar en la **Figura 33** existe un límite de pérdidas de 73%, lo que implica que el 27% restante equivale a la eficiencia térmica del sistema termo-eléctrico de celdas Peltier. Esto concuerda con la teoría que indica que el rendimiento térmico de un motor de gasolina bordea el 30% [1].

Con esto se puede analizar la situación de las celdas Peltier, que pueden generar calor y enfriar, pero también pueden producir voltaje a través de calor como en este caso. El voltaje producido depende de la diferencia de temperaturas que se generan entre sus dos caras (cara fría y cara caliente), por ende, para lograr producir un mayor voltaje no solamente se debe

calentar una cara de las celdas sino también enfriar la otra, y con esto poder generar una mayor diferencia de temperatura. En este caso solamente se calentó una cara aprovechando el calor producido por los gases de escape. Si bien lo ideal sería enfriar la otra cara, sería necesario utilizar algún elemento que permita reducir la temperatura en la cara fría con lo cual se mejoraría la eficiencia de las celdas, sin embargo, esto no es el propósito de la presente investigación.

Para mejorar la eficiencia del sistema, sería necesario reducir las pérdidas de este. Esto es posible al incrementar el asilamiento hermético del circuito, que impediría las fugas de calor. Pero conseguirlo requeriría de técnicas avanzadas que se escapan del presupuesto de los autores de este trabajo.

4.3. Análisis de capacidad de baterías

Si bien, hasta ahora se garantizó que las celdas Peltier pudieron ofrecen un nivel de voltaje adecuado para la aplicación de carga de celulares, aún no se garantiza que la batería de tal dispositivo se cargue por completo. Para ello se propuso utilizar dos baterías diferentes dentro del circuito termoeléctrico y comprobar en cuánto tiempo se carga el celular; la primera es de 1800 mAh de capacidad, y la segunda es de 8000 mAh. Cabe mencionar que la batería del celular en estudio corresponde a un modelo Huawei Mate 8, cuya capacidad es de 4000 mAh [19].

4.3.1. Batería de 1800 mAh

El circuito de cinco celdas Peltier junto con la batería de 1800 mAh y los módulos electrónicos de estabilización de voltaje mencionados en la sección de metodología, fueron conectados al celular mientras el vehículo se encontraba en condiciones normales de funcionamiento. Al realizar esto, la batería auxiliar de 1800 mAh se cargó en un lapso de 1h30min, y la misma permitió cargar al celular hasta un 40% de su capacidad máxima. Esto indica que una sola batería de 1800 mAh no es suficiente para la aplicación deseada. Por ello se optó por utilizar una batería más grande en cuanto a capacidad.

4.3.2. Batería de 8000 mAh

Al verse en la necesidad de utilizar mayor capacidad de baterías auxiliares, los autores del presente documento se vieron confrontados con una decisión crucial. Tenían dos opciones principales:

Usar dos o más pilas de 1800 mAh, con lo que la carga del celular se duplicaría hasta un nivel de 80% como mínimo, o sustituir la batería de 1800 mAh por una de mayor capacidad, para garantizar la carga completa del dispositivo móvil, es decir utilizar una batería con más de 4000 mAh de capacidad

Al final, se optó por la segunda opción, que implicaba la utilización de una batería de 8000 mAh. Esta decisión se tomó con el propósito de garantizar la carga completa del celular incluso cuando el vehículo esté apagado, lo que representa una solución óptima para las necesidades de carga en diversas situaciones. A continuación, se muestran los resultados que surgieron de esta elección.

4.3.3. Comparación de las baterías

En la siguiente tabla se aprecian los resultados al cargar el celular con las baterías antes mencionadas, una de 1800 mAh, y otra de 8000 mAh. Estas pruebas se llevaron a cabo de manera independiente, con el propósito de evaluar y comparar la autonomía de carga con respecto al nivel de energía del dispositivo móvil.

Es importante destacar que estas comparaciones se efectuaron con el vehículo recién apagado, es decir, en un escenario en el que la fuente de energía del vehículo se encontraba desconectada, y solo se disponía de las baterías con carga completa como fuente de energía para la carga del celular. A continuación, la **Tabla 158** detalla una comparación de baterías, que permitirá analizar y comprender mejor los resultados alcanzados en estas pruebas.

Tabla 158.

Desempeño de baterías

| Capacidad [mAh] | Voltaje [V] | Tiempo necesario para su carga [h] | Cargas completas de celular [ciclos] |
|--------------------|----------------|---------------------------------------|---|
|--------------------|----------------|---------------------------------------|---|

| | | | |
|-------------|-----|----------|-----|
| 1800 | 3,7 | 1 – 1:30 | 0,4 |
| 8000 | 3,7 | 5 – 6 | 2 |

En esta tabla se muestra que, con la batería de 1400 mAh, que tarda entre una y una h y media en realizar la carga, una vez que el sistema se haya cargado completamente a través de las Celdas Peltier, este solo cargará un 40% la batería del celular antes de descargarse nuevamente, por lo cual hace falta que el sistema cargue más de dos veces para que logre cargar un celular al 100%.

La tabla también indica que es mejor trabajar con la batería de 8000 mAh, pues garantiza hasta dos ciclos completos de carga y descarga del celular, en cambio la batería de 1800 mAh solo permitirá cargar el móvil hasta 40%. Sin embargo, al considerar el tiempo en que tarda en cargar el sistema al celular, la principal desventaja que presenta el uso de la batería de 8000 mAh es la espera que requiere para completar la carga de la batería.

Es posible utilizar una batería de 1800mAh para cargar parcialmente al celular, lo que resultaría útil para casos de urgencias o cargas rápidas del dispositivo. Sin embargo, para cargas completas y el vehículo estacionado, y con el motor frío es preferible utilizar la batería de 8000mAh.

A pesar de que el sistema que operaba con la batería de 1800mAh cumplía con su función de manera adecuada, surgieron algunas consideraciones importantes. Esta batería de menor capacidad requería trabajar en más ocasiones para lograr la misma cantidad de carga, lo que no resultaba óptimo en términos de prolongar su vida útil. Esto generaba una serie de problemas, como la incapacidad de cargar el dispositivo por completo o la rápida descarga de la batería en períodos más cortos de tiempo.

Por lo tanto, al decidir reemplazar la batería de 1800mAh por una de mayor capacidad, en este caso, una pila de 8000mAh, se decidió una alternativa favorable respecto de la mejora en la eficiencia del sistema en su totalidad. Con la nueva batería de mayor amperaje, se reduciría la necesidad de realizar un gran número de ciclos de carga y descarga, lo que preservaría la vida útil de la batería y minimizaría los problemas mencionados anteriormente.

Aunque es cierto que la batería de 8000mAh implica un costo mayor, esta opción se considera más conveniente que utilizar una de menor capacidad de amperaje, que tendría una vida útil más corta y requeriría reemplazos frecuentes. La inversión en una batería de mayor capacidad se percibe como una decisión a largo plazo que optimiza el rendimiento del sistema y, en última instancia, resulta en un enfoque más sostenible.

La forma más eficiente de operar este circuito de celdas Peltier es mediante el uso de una batería con, al menos, la misma capacidad que la batería del celular que se pretende cargar. En este sentido, el dispositivo móvil cuenta con una batería de 4000 mAh, lo que hace que la batería del circuito deba tener, al menos, esa misma capacidad. Por esta razón, se seleccionó una batería de 8000 mAh para ser utilizada en el circuito, lo que permitió cargar el dispositivo móvil hasta en dos ciclos completos.

Entonces, el circuito se encuentra en condiciones óptimas para su funcionamiento. Con esta configuración, es capaz de cargar la batería de un celular en hasta dos ocasiones en un período de tiempo que oscila entre 5 y 6 horas. Esto equivale a aproximadamente 3 horas de carga por ciclo, lo que se traduce en un sistema eficiente y bastante versátil incluso capaz de cargar el celular con el vehículo apagado, lo que amplía significativamente su utilidad y practicidad en diversas situaciones.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Las celdas peltier y su efecto termoeléctrico tienen una amplia área de aplicaciones, como refrigeración y generación de energía eléctrica como es el caso, si bien su eficiencia es alta debido a la composición de sus materiales, esto es irrelevante si al momento de la aplicación no se tiene un buen aislamiento, hermeticidad y disipación de calor, lo cual hace que se pierda hasta un 50% de su eficiencia.
- Con la ayuda de un pirómetro digital se logró determinar la zona más caliente del vehículo Kía Picanto 2008 que es en el colector de escape justamente a la salida de los gases de escape del motor. en esta zona se adaptó un circuito termoeléctrico que consta de cinco celdas Peltier conectadas en serie, un módulo TP4056, uno Step-Up DC/DC 5v-USB, una pila de almacenamiento auxiliar, y otro módulo de Step-Up MT3608, que en conjunto permitieron la carga de dicha pila auxiliar de manera estable y segura, con el fin de que este circuito alimente una batería de celular de 3.7 V.
- Diversas pruebas realizadas en este circuito determinaron que 5 celdas Peltier son necesarias para lograr la meta de alcanzar un voltaje de 4.2V. En este caso, se determinó que la cantidad óptima es de 5 celdas Peltier, las cuales deben estar cuidadosamente envueltas en papel aluminio para garantizar un funcionamiento eficiente. Es importante destacar que, si estas celdas no se envuelven de esta manera, su eficiencia disminuirá significativamente, y la salida no superará los 3.2V, lo que significaría efectos negativos al cargar un dispositivo como un teléfono celular.
- Se determinó que la capacidad de la batería auxiliar del circuito debía ser 8000 mAh para garantizar la carga de la batería de un celular al 100%, que permitió no solo cargar la batería del celular sino también ofreció la posibilidad de realizar hasta dos ciclos de carga completos para el dispositivo móvil, lo que representa una solución más efectiva para las necesidades de carga.
- Las curvas de tendencia obtenidas de las regresiones de voltaje vs tiempo mostraron que es posible montar el circuito solamente con 3 celdas Peltier, si el automóvil es

usado por un tiempo superior a 20 min. Sin embargo, en casos en que se prevea un uso más breve del vehículo, resulta más aconsejable optar por la configuración de 5 celdas Peltier.

- Se determinó que las pérdidas de temperatura en el sistema montado sobre el colector de escape del vehículo fueron del 73%, lo que significa que la eficiencia de este fue de 27%. Esto es natural debido a la alta conductividad de los materiales metálicos que componen el motor y colector de escape.
- El sistema termoeléctrico se encuentra en óptimas condiciones de funcionamiento, habiendo superado pruebas de control y sido probado en condiciones reales de trabajo logrando aprovechar el calor desperdiciado al ambiente, de modo que, aunque no es muy relevante la cantidad de energía recuperada se promueve la eficiencia energética.

5.2. Recomendaciones

- Dependiendo la aplicación que se vaya a dar a las celdas Peltier es necesario hacer una selección previa del modelo de celda ya que varían en su amperaje, tamaño, materiales de construcción y costos.
- Al construir el circuito de celdas Peltier e instalarlo en la zona más caliente del vehículo, en este caso el múltiple de escape, es recomendable asegurar las celdas sobre el colector de escape con alambre ya que debido a las vibraciones del motor y el movimiento tienden a caerse.
- Al momento de instalar el circuito de las 5 celdas en serie se recomienda utilizar papel aluminio para el aislamiento y evitar pérdidas de calor y pasta térmica para un buen acople entre las celdas y la superficie caliente. Esto permitirá aumentar la conductividad térmica, así como reducir porosidades que aíslan el contacto, y con ello será posible aumentar el voltaje conseguido por el circuito, lo que se traducirá en un mejor rendimiento del sistema.
- Para la construcción de sistema de carga se recomienda usar una batería de litio de 8000 mAh ya que esta es capaz de cargar completamente una batería de un celular hasta dos veces, cosa que no se logra con una batería de litio de 1800 mAh, aunque este tipo de batería sería ideal para operar el vehículo en cortos períodos, pues representa poca energía obtenida por las celdas Peltier.

- Si bien gracias las gráficas de curvas de tendencia de un circuito construido por 3 celdas peltier es suficiente para obtener el voltaje deseado, se recomienda emplear el circuito de 5 celdas ya que este alcanza en menor tiempo el voltaje necesario para hacer funcionar el sistema de carga.
- Para aumentar la eficiencia del circuito termoeléctrico se deben implementar enfriadores en las caras frías de las celdas como por ejemplo ventiladores ya que al hacer circular aire de mejor manera bajan la temperatura mucho mas en comparación a un disipador de calor de aluminio obteniendo una mayor diferencia de temperatura y por ende un mayor voltaje.
- Para la recuperación de mayor cantidad de energía se debe implementar un mayor número de celdas Peltier pero a la vez esto no resulta muy conveniente debido a que de igual manera se aumentan los costos.

REFERENCIAS

- [1] J. Arguello y B. Albán, «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,» Quito, 2021.
- [2] F. Castro, «Estudio numérico de la mecánica de fluidos y la transferencia de calor en un chorro impactado sobre una superficie inclinada,» UNAM, 2020.
- [3] E. Guamán, E. Llanes, S. Celi y J. Rocha, «Parámetros del Múltiple de Escape para su Diseño Computacional: Una Revisión,» *información Tecnológica*, vol. 30, n° 6, pp. 255-268, 2019.
- [4] H. N. Gupta, *Fundamentals of Internal Combustion Engines*, PHI Learning Pvt. Ltd, 2012.
- [5] I. Vargas, «Diseño e implementación de un banco didáctico del sistema de climatización automotriz,» UTE, 2018.
- [6] K. Miranda y S. Cabrera, "Análisis de pérdidas energéticas en un motor de combustión interna a gasolina (MECH) de 1600 cm³ en un vehículo de uso particular para determinar su rendimiento térmico," UTA, Ambato, 2020.
- [7] E. Kolbert, *The Sixth Extinction: An Unnatural History*, A&C Black, 2014.
- [8] S. Roper, «Problemas ambientales y soluciones,» *Ecología Verde*, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/problemas-medioambientales-y-soluciones-2912.html>.
- [9] ESAN, «El consumo energético: ¿cuál es su impacto ambiental a nivel mundial?,» ESAN, 2019. [En línea]. Disponible en:

<https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/el-consumo-energetico-cual-es-su-impacto-ambiental-a-nivel-mundial>.

- [10] C. Rubio, J. Pacheco, E. Cortéz y V. Jimenez, «Estudio experimental de la transferencia de calor en motores de combustión interna,» *Ciencia*, 2022.
- [11] F. Incropera y D. DeWitt, *Fundamentos de Transferencia de Calor*, Pearson, 1999.
- [12] J. Guevara y R. Guevara, «Diseño de microgeneración fotovoltaica conectada a la red para el suministro eléctrico de los centros operativos y agencias de la EEQ ubicados al noroccidente y sur de la ciudad de Quito,» EPN, Quito, 2020.
- [13] J. Yarleque y S. Angulo, «Diseño de un sistema de transferencia automática de energía eléctrica con monitoreo de parámetros eléctricos para el Grupo Electrógeno del Hospital Regional de Lambayeque,» USS, Pimentel, 2018.
- [14] H. Lee, *Thermoelectrics: design and materials.*, ECURED, Ed., John Wiley & Sons., 2023.
- [15] D. M. Rowe, *Thermoelectrics Handbook: macro to nano*, Taylor & Francis Group, 2018.
- [16] X. Zhang y L. D. Zhao, «Thermoelectric materials: Energy conversion between heat and electricity,» *Journal of Materiomics*, vol. 1, n° 2, pp. 92-105., 2015.
- [17] Alldata, «Tec1-12710 Datasheet (PDF) Download - List of Unclassified Manufacturers,» 25 07 2024. [En línea]. Disponible en: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/227420/ETC2/TEC1-12710.html>.

- [18] E. R. Guamán, E. A. Llanes-Cedeño, S. F. Celi-Ortega y J. C. Rocha-Hoyos, "Parámetros del Múltiple de Escape para su Diseño Computacional: una revisión.," *Información tecnológica*, vol. 30, no. 6, pp. 255-268, 2019.
- [19] Pce instruments, «Pirómetro Pce-889b,» 25 07 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/pirometro-pce-instruments-pir_metro-pce-889b-det_5324844.htm.
- [20] KIA, «Ficha Técnica KIA Picanto,» 25 07 2024. [En línea]. Disponible en: <https://metrokia.co/wp-content/uploads/2018/10/ficha-tecnica-kia-picanto.pdf>.
- [21] Electrostore, «Módulo tp4056 cargador baterías litio con protección,» 25 07 2024. [En línea]. Disponible en: <https://grupoelectrostore.com/shop/modulos-y-shields/cargadores-para-baterias/modulo-tp4056-5v-micro-usb-1a-cargador-para-baterias-litio-con-proteccion/>.
- [22] Y. Wu, *Lithium-ion batteries: Fundamentals and Applications*. crc press., crc Press, 2015.
- [23] 330Ohms, «Batería lipo 3.7v 1200mah,» 26 07 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.330ohms.com/products/bateria-lipo-3-7v-1200mah>.
- [24] MaxElectrónica, «Módulo Convertidor Step Up USB Entrada 0.9V a 5V y Salida 5.1V 600mA,» 2019. [En línea]. Disponible en: <https://maxelectronica.cl/fuentes-de-alimentacion/471-modulo-convertidor-step-up-usb-entrada-09v-a-5v-y-salida-51v-600ma.html>.
- [25] TiendaTec, «Modulo dc step-up 1v~5v conversor 5v 1a salida usb-a/h,» 26 07 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.tiendatec.es/electronica/componentes/conversor-dc-dc/488-modulo-dc-step-up-1v5v-conversor-5v-1a-salida-usb-ah-8404880310006.html>.

- [26] Naylamp, «Convertidor voltaje dc-dc step-up 2a mt3608,» 26 07 2024. [En línea]. Disponible en: <https://naylampmechanics.com/conversores-dc-dc/119-convertidor-voltaje-dc-dc-step-up-2a-mt3608.html>.
- [27] Carulla, «Tecnología Celulares,» 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.carulla.com/bateria-huawei-mate-8-original-4000-mah-caja-100374310-mp/p>.
- [28] Conducción Eficiente, «Vehículos de Carga,» 2022. [En línea]. Disponible en: [https://www.conduccioneficiente.cl/vehiculos-de-carga/vehiculos-de-carga-calentamiento-del-vehiculo/#:~:text=En%20unos%205%20minutos%20se,\(encendido%20pero%20sin%20aceleraci%C3%B3n\)..](https://www.conduccioneficiente.cl/vehiculos-de-carga/vehiculos-de-carga-calentamiento-del-vehiculo/#:~:text=En%20unos%205%20minutos%20se,(encendido%20pero%20sin%20aceleraci%C3%B3n)..)
- [29] G. Canavos, Probabilidad y estadística Aplicaciones y Metodos, 1 ed., México: McGraw-Hill, 1988.
- [30] A. Salas y M. Ola, «repositorio.espe.edu.ec,» 2020. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/22762>.
- [31] Y. Ortiz, D. Salazar y P. Placencio, «repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6873,» 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6873>.
- [32] D. Gualoto, «repositorio.ute.edu.ec,» 2020. [En línea].
- [33] I. Hidalgo y G. Veintimilla, «dspace.ups.edu.ec,» 2021. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20543/1/UPS-CT009195.pdf>.
- [34] El motor, «motor.elpais.com,» 2021. [En línea]. Disponible en: <https://motor.elpais.com/actualidad/la-evolucion-del-automovil-10-fechas-clave-de-un-viaje-unico/>.

- [35] M. Gómez, Llerena y Alex, «repositorio.uide.edu.ec,» 2020. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/4452/1/1612-Texto%20del%20art%C3%ADculo-7886-1-10-20201229.pdf>.
- [36] Electronicaih, «<https://www.electronicaih.com/que-es-el-modulo-mt3608-caracteristicas-y-usos/>,» 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.electronicaih.com/que-es-el-modulo-mt3608-caracteristicas-y-usos/>.
- [37] Sensoricx, «<https://sensoricx.com/uncategorized/celdas-de-peltier-que-son-aire-acondicionado-casero/>,» 2022. [En línea]. Disponible en: <https://sensoricx.com/uncategorized/celdas-de-peltier-que-son-aire-acondicionado-casero/>.
- [38] El mundo del motor, «mundodelmotor.net,» 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.mundodelmotor.net/sistema-de-escape/>.
- [39] Tresdprinttech, "Celda Peltier Tec1-12710 12v 10a 100w 40x40mm," 2023. [En línea]. Disponible en: <https://tresdprinttech.com/mx/control-de-temperatura/69-placa-peltier-tec1-12710-7503040290453.html>.
- [40] Alibaba, "Frankever dt33d SmallDigital abrazadera multímetro con retroiluminación," 2023. [En línea]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/FRANKEVER-DT33D-SmallDigital-Clamp-Multimeter-with-1600140850832.html>.
- [41] Km77, «KIA Picanto (2008) | Información general,» 2008. [En línea]. Disponible en: <https://www.km77.com/coches/kia/picanto/2008/5-puertas/informacion>.
- [42] PCE Instruments, «PCE-Iberica,» [En línea]. Disponible en: <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-temperatura/pirometro-20.htm>. [Último acceso: 12 06 2023].




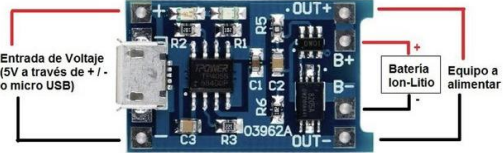

[43] Autocasión, «Ciclo Otto,» 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.autocasion.com/diccionario/ciclo-otto>.



[44] E. Guamán, E. Llanes, S. Celi y J. Rocha, «Parámetros del Múltiple de Escape para su Diseño Computacional: una revisión,» *Información Tecnológica*, vol. 30, n° 6, pp. 255-2668, 2019.

ANEXOS

ANEXO I - LISTA DE MATERIALES

| Cantidad | NOMBRE | IMAGEN | Costo unitario | Costo total |
|----------|----------------------------|--|----------------|-------------|
| 5 | Celda Peltier TEC1-1270 |  | \$ 19,00 | \$95,00 |
| 1 | Multímetro Jectse DT33D CC |  | \$20,00 | \$20,00 |
| 1 | Cautín |  | \$8,00 | \$8,00 |
| 1 | Hielo |  | \$1,00 | \$1,00 |

| | | | | |
|---|--|--|---------|---------|
| 1 | Papel aluminio |  | \$2,50 | \$2,50 |
| 1 | Pirómetro digital PCE-889B Óptica de 30:1 / Rango: -50 : +1000 °C Doble rayo láser |  | \$60,00 | \$60,00 |
| 1 | Vehículo Kia Picanto 2008 |  | 0,00 | 0,00 |
| 1 | Módulo de carga TP4056 |  | \$4,00 | \$4,00 |
| 1 | Batería LiPo 3.7V 1800mAh |  | \$7,00 | \$7,00 |

| | | | | |
|---|--------------------------------------|--|--------------|-----------------|
| 1 | Modulo Step-Up DC/DC 5V USB |  | \$2,50 | \$2,50 |
| 1 | Módulo Step-Up MT3608 | <p style="text-align: center;">PINOUT MT3608 Elevador de Voltaje Boost Step Up 6W 2A</p>  <p style="text-align: center;">AJUSTE DE VOLTAJE</p> <p>VOLTAJE DE ENTRADA 2V a 24V</p> <p>VOLTAJE DE SALIDA 5V a 28V</p> | \$6,00 | \$6,00 |
| | | | TOTAL | \$206,00 |

ANEXO II - FOTOGRAFIAS VARIAS EN LA FASE DE PRUEBAS

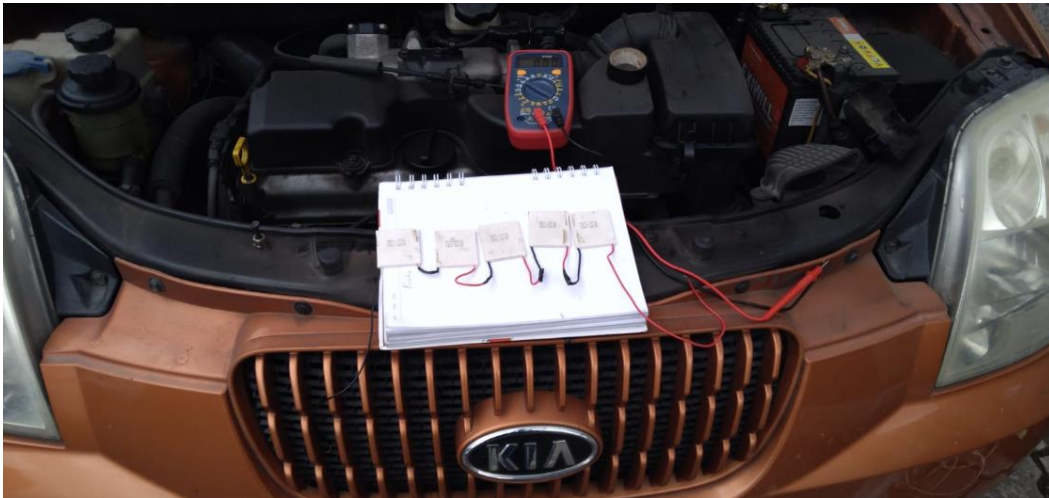
Soldadura en serie de las celdas Peltier



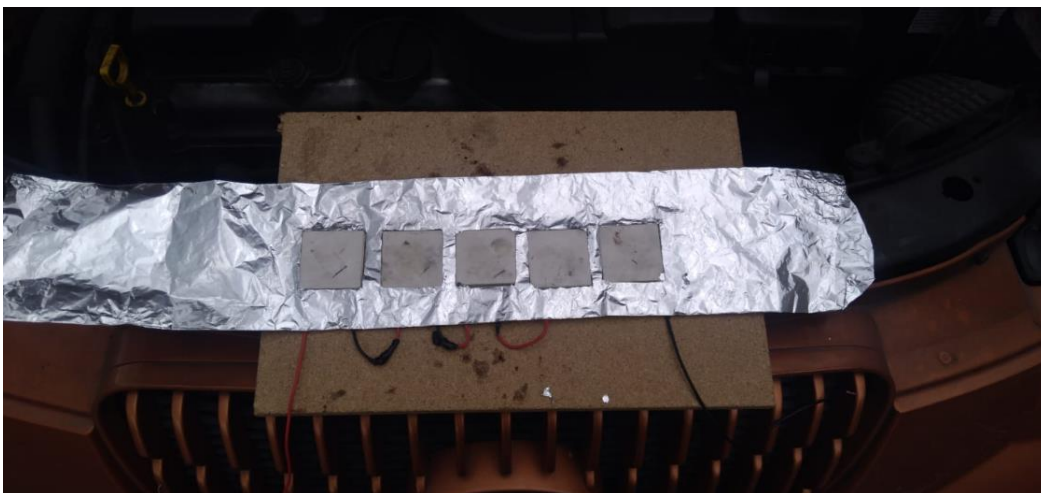
Circuito de 5 celdas Peltier en sri



Circuito montado sobre el colector de escape del vehículo



Circuito mejorado, con aislamiento térmico



Circuito con aislamiento térmico montado sobre el colector de escape del vehículo



Vehículo Kia Picanto 2008



Muestra de mediciones de voltaje en condiciones de trabajo

