

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

**SISTEMA DE REDUCCIÓN DE TEMPERATURA EN HABITÁCULO
BASADO EN CELDAS PELTIER**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ

PRESENTA:

ISAID MARTÍNEZ TORRES

DIRECTOR DE TESIS:

DR. ARTURO HERNÁNDEZ MÉNDEZ

HUAJUAPAN DE LEÓN, OAXACA, MÉXICO, AGOSTO, 2025

Dedicatoria

A mi padre, Alfonso Martínez Sosa, y a mi madre, Yamidali Torres Sosa, por su apoyo incondicional, por el cariño que me brindan, por su amor, y porque son un maravilloso ejemplo como padres para mí.

A mi hermano, César Martínez Torres, quien siempre me motiva en la vida y a quien aprecio con todo el corazón.

A todos mis familiares y amigos, por su constante ánimo y motivación, siempre presentes en cada paso de este camino.

Agradecimientos

Primeramente, agradezco a Dios por darme la dicha de estudiar una carrera universitaria, por todas las bendiciones que me ha concedido a lo largo de mi vida, por estar presente en cada paso que doy, por todo lo bueno y lo malo que ha permitido en mi camino, y por darme la oportunidad de culminar esta importante etapa.

A mi padre, madre y hermano, por la confianza, comprensión, y apoyo en mis decisiones durante mi vida universitaria, así como por el gran cariño que me tiene y el respaldo incondicional que siempre me han brindado.

A mis familiares y amistades que me brindaron de su apoyo, motivación, consejos y gran amistad, quienes estuvieron siempre presentes durante esta etapa mi vida, permitiéndome disfrutarla junto a ellos.

A mis profesores, quienes me brindaron su conocimiento a lo largo de mi etapa universitaria, y también por sus valiosos consejos.

Resumen

En este trabajo de tesis se desarrolla un sistema de reducción de temperatura basado en la tecnología termoeléctrica, utilizando celdas Peltier en modo de refrigeración, diseñado para el habitáculo de un vehículo expuesto a radiación solar directa. El objetivo principal es mitigar el incremento de temperatura provocado por el efecto invernadero dentro de la cabina.

La metodología empleada contempla el diseño e implementación de un prototipo experimental con un enfoque de mínima invasión al interior del vehículo y de fácil instalación. El sistema está compuesto por celdas Peltier, sensores de temperatura, disipadores de calor activos, y un circuito de control basado en un microcontrolador ESP32. Además, se implementan estrategias de control para optimizar el rendimiento de las celdas, evitando que estas alcancen su punto de equilibrio térmico.

Para validar la eficiencia del sistema, se realizan pruebas experimentales en condiciones reales, evaluando distintos escenarios. La variación de temperatura en diversos puntos del habitáculo se registra mediante un sistema de monitoreo térmico, durante periodos prolongados de exposición a la radiación solar.

Considerando las condiciones climáticas propias de la región caracterizadas por temperaturas ambientales elevadas, los resultados experimentales muestran una reducción térmica significativa dentro de la cabina. Se concluye, que el sistema propuesto constituye una alternativa viable para mitigar las altas temperaturas en el interior de un vehículo.

Índice

Dedicatoria	III
Agradecimientos	V
Resumen	VII
Índice de figuras	XI
Índice de tablas	XVII
1. Introducción	1
1.1. Estado del arte	1
1.1.1. Sistemas de climatización con tecnología termoeléctrica en vehículos . . .	2
1.1.2. Sistemas alternativos de reducción de temperatura en vehículos	5
1.1.3. Crecimiento del parque vehicular y el sobrecalentamiento en las cabinas . .	8
1.2. Planteamiento del problema	13
1.3. Justificación	15
1.4. Hipótesis	16
1.5. Objetivos	17
1.5.1. Objetivo general	17
1.5.2. Objetivos específicos	17
1.6. Metas	17
1.7. Metodología	18
2. Marco teórico	21
2.1. Leyes de la termodinámica	21
2.2. Mecanismos de transferencia de calor	22
2.2.1. Calor	22

2.2.2.	Transferencia de calor por conducción	22
2.2.3.	Transferencia de calor por convección	24
2.2.4.	Transferencia de calor por radiación	25
2.3.	Transferencia de calor en superficies transparentes	25
2.3.1.	Absortividad, reflectividad y transmisividad	27
2.4.	Efecto invernadero en un automóvil	28
2.5.	Termoelectricidad	29
2.6.	Efecto Peltier	30
2.7.	Celda Peltier	31
2.7.1.	Semiconductores tipo N y tipo P	32
2.7.2.	Funcionamiento de las celdas Peltier	33
2.7.3.	Tipos de celdas Peltier	34
2.8.	Disipadores de calor	40
2.8.1.	Tipos de disipadores de calor	40
3.	Elementos para la construcción del prototipo	43
3.1.	Componentes del sistema de reducción de temperatura	43
3.1.1.	Diseño del soporte para el sistema de medición de temperatura	51
3.2.	Componentes del sistema de medición de temperatura	56
4.	Esquema de control de temperatura	59
4.1.	Control de histéresis de temperatura	59
4.2.	Tiempos de trabajo	60
4.3.	Prueba de banco	62
5.	Diseño de la disipación de calor y frío de las celdas Peltier	67
5.1.	Análisis de enfriamiento por convección natural	68
5.2.	Análisis de enfriamiento por convección forzada	72

5.2.1. Caso 1	74
5.2.2. Caso 2	79
5.3. Sistema de recolección de temperatura fría	80
6. Pruebas experimentales y resultados	85
6.1. Procedimiento de las pruebas experimentales	86
6.2. Análisis de los resultados experimentales	106
7. Conclusiones	109
7.1. Trabajos futuros	110
Referencias	111
A. Circuito de control del sistema de reducción de temperatura	117
B. Circuito del sistema de monitoreo de temperaturas	118
C. Piezas diseñadas para cubrir las aberturas del sistema	119
D. Base de la ventilación forzada	120
E. Código de programación del sistema de reducción de temperatura	127

Índice de figuras

1.1. Sistema de climatización con celdas Peltier [2].	2
1.2. Ubicación del sistema termoeléctrico en el interior del automóvil Mitsubishi Mirage 2017 [3].	3
1.3. Análisis experimental para un sistema de refrigeración con celdas Peltier [5], (a) resultados de las pruebas realizadas y (b) vehículo utilizado en el estudio.	3
1.4. Análisis térmico en la cabina [7], (a) temperatura del aire cuando está en contacto con la carrocería sin enfriamiento y (b) temperatura del aire cuando está en contacto con la carrocería con enfriamiento.	4
1.5. Prototipo de un módulo de refrigeración termoeléctrico[8].	4
1.6. Sistema de intercambio de flujos de aire [11], (a) conexión entre las partes principales del sistema y (b) ubicación de las elementos del sistema en la cabina del vehículo.	6
1.7. Sistema de extracción de aire [12], (a) simulación de la carga termina y (b) dispositivo de extracción de aire.	6
1.8. Cubierta reflectante solar de aluminio laminado de baja absorción solar [13].	7
1.9. Cubierta formada por láminas de cartón para parasoles de automóviles[14].	7
1.10. Análisis del parque vehicular en el periodo del 2000 al 2018 [16], (a) crecimiento poblacional y (b) crecimiento vehicular.	8
1.11. Incremento de la temperatura en la cabina de un vehículo [20], (a) temperatura de $42^{\circ}C$ después de 10 minutos y (b) temperatura de $56^{\circ}C$ después de 60 minutos.	9
1.12. Variaciones de temperatura en función del color de la carrocería de un automóvil [23].	10
1.13. Distribución de la temperatura en las superficies de la cabina de un vehículo [24], (a) distribución de la temperatura a las 10:00 a.m y (b) distribución de la temperatura al medio día.	10

1.14. Modelo de desarrollo de cascada [38].	18
2.1. Conducción de calor a través de una pared plana grande de espesor Δx y área A [1].	23
2.2. Convección forzada y natural [1].	25
2.3. Transferencia de calor por radiación [1].	25
2.4. Distribución de la radiación solar que incide sobre un vidrio transparente [1]. . . .	26
2.5. Transferencia de calor a través de las superficies transparentes del vehículo [40]. . .	27
2.6. Absorción, reflexión y transmisión de la radiación incidente por un material semi-transparente [1].	28
2.7. (a) Esquema representativo [1] y (b) efecto invernadero generado en un vehículo [13].	28
2.8. T_c es la temperatura caliente y T_f es la temperatura fría en cada unión [42].	29
2.9. Unión termopar [44].	29
2.10. Esquema del efecto Peltier [46].	30
2.11. Comportamiento de los electrones [46].	30
2.12. Circuito equivalente de un dispositivo Peltier en dos estados diferentes [47].	31
2.13. Esquema de la estructura interna de una celda Peltier [5].	32
2.14. Al silicio se le agrega un átomo dopante con valencia mayor de 4, se introduce un electrón adicional y se crea un estado donador de energía. Ahora los electrones pueden pasar más fácilmente a la banda de conducción[48].	32
2.15. Cuando un átomo dopante con valencia menor de 4 se sustituye en la estructura de silicio, se introduce un orificio en la estructura y se crea un nivel de energía aceptante justo por encima de la banda de valencia [48].	33
2.16. Comportamiento de los portadores de carga dentro de un arreglo de semiconductores [46].	34
2.17. Celda Peltier estándar TEC1-12706.	34
2.18. Celda Peltier multi-etapas [2].	35
2.19. Micro celda Peltier [2].	36

2.20. Celda Peltier de alta potencia [2].	37
2.21. Celda Peltier de alta temperatura [2].	37
2.22. Celda Peltier serie-paralelo [2].	38
2.23. Celda Peltier con orificio central [2].	39
2.24. Celda Peltier circular [2].	39
2.25. Disipador de calor pasivo [49].	41
2.26. Disipador de calor activo [49].	41
3.1. Diagrama eléctrico de las celdas Peltier.	44
3.2. Batería de litio Lampeord LiFePO_4	46
3.3. Batería de ácido plomo.	47
3.4. Prueba de banco de enfriamiento.	47
3.5. Temperatura en el interior de la hielera usando una celda Peltier.	48
3.6. Temperatura en el interior de la hielera usando tres celdas Peltier.	48
3.7. Soporte para el sistema de reducción de temperatura.	52
3.8. Tensiones en la pieza.	53
3.9. Factor de seguridad de $n = 20.63$	54
3.10. Deformaciones en la pieza.	55
3.11. Prototipo del sistema de reducción de temperatura, (a) vista superior y (b) vista inferior.	55
3.12. Sistema de medición de temperatura.	57
3.13. Sistema de medición de temperatura en funcionamiento.	57
3.14. Envío de datos del sistema de medición de temperatura vía bluetooth.	58
4.1. Control de histéresis de temperatura.	60
4.2. Sistema de reducción de temperatura con el control de histéresis a temperatura ambiente.	61
4.3. Diagrama de flujo de operación del sistema de reducción de temperatura.	63
4.4. Prueba de banco del control de histéresis de temperatura.	64

4.5. Prueba de banco de los tiempos de trabajo	65
4.6. Temperatura promedio en el lado frío generada por las celdas Peltier vs temperatura ambiente.	65
5.1. (a) Disipador para el lado caliente de la celda Peltier y (b) disipador para el lado frío de la celda Peltier.	68
5.2. Distribución de la potencia calorífica de la celda Peltier en la base del disipador. . .	71
5.3. Distribución del coeficiente de transferencia de calor por convección natural en las superficies del disipador de calor.	71
5.4. Simulación de enfriamiento por convección natural.	72
5.5. Modelo CAD del ventilador.	73
5.6. Área de la base principal del disipador de calor, (a) vista superior y (b) vista inferior.	76
5.7. Temperatura máxima de $71.15^{\circ}C$ en la base del disipador.	78
5.8. Temperatura máxima de $66^{\circ}C$ en la base del disipador.	80
5.9. Vista isométrica.	80
5.10. Modelo CAD del mezclador y redireccionador de flujo de aire.	81
5.11. (a) Comportamiento de los flujos de aire en el interior del mezclador y (b) flujo con redireccionamiento en la salida.	82
5.12. Optimización del mezclador de flujos de aire, (a) comportamiento de los flujos de aire en el interior del mezclador y (b) flujo sin redireccionamiento en la salida. . . .	82
5.13. Temperatura máxima y mínima a la salida del mezclador.	83
6.1. Vehículo de prueba Nissan Almera.	85
6.2. Temperaturas en la cabina con respecto a la ambiental.	86
6.3. Temperatura media de la cabina vs temperatura media ambiental.	87
6.4. Temperaturas en la cabina con respecto a la ambiental.	88
6.5. Temperatura media de la cabina vs temperatura media ambiental.	88
6.6. Ubicación del sistema de reducción de temperatura.	89
6.7. Comportamiento de las temperaturas en la cabina con el sistema en modo extractor.	90

6.8. Temperatura media de la cabina vs temperatura media ambiental con el sistema en modo extractor.	91
6.9. Ubicación de los ventiladores encargados de introducir aire del exterior.	92
6.10. Comportamiento de las temperaturas en la cabina en modo ventilación forzada. . .	92
6.11. Temperatura media de la cabina vs temperatura media ambiental con el sistema en modo ventilación forzada.	93
6.12. (a) Ventiladores encargados de introducir aire del exterior y (b) ubicación del sistema de reducción de temperatura.	94
6.13. Comportamiento de las temperaturas en la cabina con ventilación forzada.	94
6.14. Temperatura media de la cabina vs temperatura media ambiental con el sistema en ventilación forzada.	96
6.15. Ubicación del cubre sol.	96
6.16. Temperaturas en la cabina con respecto a la ambiental con el uso de un cubre sol. .	97
6.17. Temperatura media de la cabina vs temperatura media ambiental con el uso del cubre sol.	98
6.18. Temperaturas en la cabina con respecto a la ambiental con el uso de un cubre sol y ventilación forzada.	99
6.19. Temperatura media de la cabina vs temperatura media ambiental con el uso de un cubre sol y ventilación forzada.	100
6.20. Comportamiento de las temperaturas en la cabina con el control de las celdas Peltier, ventilación forzada y el uso del cubre sol.	101
6.21. Temperatura media de la cabina vs temperatura media ambiental con el sistema en ventilación forzada, activación de las celdas Peltier, y el uso del cubre sol.	101
6.22. Comportamiento de las temperaturas en la cabina con el control de las celdas Peltier, ventilación forzada y el uso de un cubre sol.	102
6.23. Temperatura media de la cabina vs temperatura media ambiental con el sistema en ventilación forzada, activación de las celdas Peltier, y el uso de un cubre sol.	103

6.24. Comportamiento del control de histéresis de temperatura.	104
6.25. Comportamiento de la temperatura en la cara fría de las celdas Peltier.	105
6.26. Comportamiento del control de los tiempos de trabajo.	106
6.27. Temperaturas medias de las pruebas.	107
7.1. Circuito de control.	117
7.2. Circuito del sistema responsable de registrar las temperaturas dentro de la cabina del vehículo.	118
7.3. (a) Pieza de sellado para la sección del sistema. (b) Pieza de sellado para la sección de la ventilación forzada.	119
7.4. Base de los ventiladores de la ventilación forzada.	120

Índice de tablas

1.1. Factores asociados al golpe de calor pasivo [25].	11
2.1. Conductividades térmicas de algunos materiales a temperatura ambiente [1].	24
2.2. Características de la celda Peltier TEC1-12706.	35
2.3. Características de una celda Peltier en cascada nivel 2 [2].	35
2.4. Características de una celda Peltier en cascada nivel 3 [2].	36
2.5. Características de una micro celda Peltier [2].	36
2.6. Características de una celda Peltier de alta potencia [2].	37
2.7. Características de una celda Peltier de alta temperatura [2].	38
2.8. Características de una celda Peltier serie-paralelo [2].	38
2.9. Características de una celda Peltier con orificio central [2].	39
2.10. Características de una celda Peltier circular [2].	40
3.1. Componentes del sistema de reducción de temperatura	44
3.2. Datos técnicos de elementos importantes	45
3.3. Propiedades del aire a la presión de 1 atm [1].	51
3.4. Datos técnicos del material PLA	52
6.1. Variación térmica en la cabina según las condiciones ambientales.	89
6.2. Temperaturas media de las pruebas.	107

Capítulo 1

1. Introducción

En la actualidad, la escasez de espacios de estacionamiento y el aumento del parque vehicular dificultan encontrar sitios frescos o con sombra para estacionar un automóvil. Estas condiciones incrementan la temperatura en el habitáculo, lo que representa un desafío significativo tanto para la comodidad de los ocupantes como para la conservación de los materiales del interior del vehículo. La premisa fundamental de este proyecto es contrarrestar estas elevadas temperaturas generadas en el interior del automóvil cuando está estacionado bajo exposición directa al sol. Más allá de los inconvenientes estéticos, es crucial señalar que las temperaturas elevadas pueden tener efectos adversos sobre la salud de los ocupantes, llegando a provocar golpes de calor, dado que la zona de confort térmico para las personas se encuentra entre los $23^{\circ}C$ y $27^{\circ}C$ [1]. Por tanto, esta investigación tiene como objetivo diseñar un sistema de reducción de temperatura basado en tecnología termoeléctrica, específicamente adaptado para vehículos expuestos a radiación solar intensa. Además, se implementa un sistema de medición de temperatura mediante la distribución estratégica de sensores en distintos puntos de la cabina del automóvil. Este sistema permite observar y analizar la distribución térmica en el habitáculo con el fin de evaluar su impacto en el confort térmico de los ocupantes.

Consciente de estos desafíos, esta investigación propone desarrollar un sistema de reducción de temperatura de mínima invasión. El sistema propuesto se basa en celdas Peltier, las cuales, mediante el efecto Peltier, funcionan como dispositivos de enfriamiento.

1.1. Estado del arte

La tecnología termoeléctrica ha despertado un creciente interés en el ámbito de la climatización vehicular en los últimos años, debido a su capacidad para generar cambios de temperatura

mediante el efecto Peltier. En este contexto, se han desarrollado diversos prototipos de sistemas de climatización termoeléctrica como una alternativa viable a los métodos convencionales de aire acondicionado.

1.1.1. Sistemas de climatización con tecnología termoeléctrica en vehículos

En la Figura 1.1 se presenta un prototipo de un sistema de climatización para un vehículo Honda Civic, que emplea la tecnología termoeléctrica. Este sistema utiliza un módulo de celdas Peltier con una potencia eléctrica de $300W$ (consumo de energía) y disipación de calor de $1100W$ (calor que libera el modulo de celdas Peltier). La configuración incluye 8 celdas Peltier. El prototipo opera en un rango de temperatura de $18^{\circ}C$ a $50^{\circ}C$ [2].



Figura 1.1: Sistema de climatización con celdas Peltier [2].

La investigación de [3], realizada en un Mitsubishi Mirage 2017, determinó una carga térmica de $2.256kW$ dentro de la cabina. Como parte del estudio, se propuso el diseño de un sistema de climatización basado en 18 celdas Peltier modelo TEC1-12715, con una capacidad total de disipación de $2.34kW$ (véase la Figura 1.2). Así mismo en [4], se calculó la carga térmica de la cabina de un camión Hino 2626, obteniendo un valor de $3.018kW$. A partir de este resultado, se planteó la propuesta de un diseño de sistema de aire acondicionado que permitiera absorber todo el flujo de calor, y mantener un ambiente confortable en el interior del vehículo, empleando para ello 54 celdas Peltier.

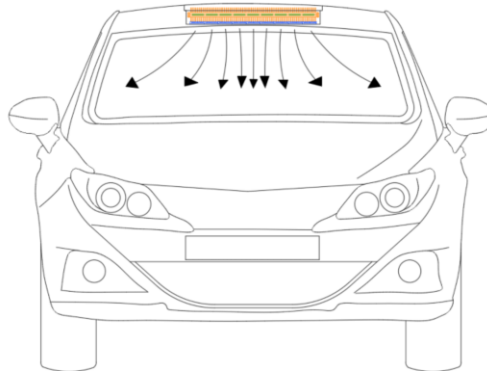
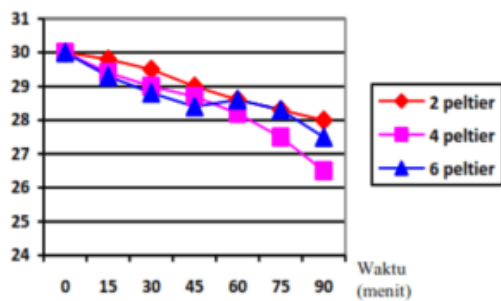


Figura 1.2: Ubicación del sistema termoelectrico en el interior del automóvil Mitsubishi Mirage 2017 [3].

En la Figura 1.3a, se presentan los resultados de un análisis experimental destinado a determinar la cantidad óptima de celdas Peltier necesarias para el diseño de un sistema de refrigeración secundaria en la cabina de un vehículo. Las dimensiones de la cabina fueron de 3.46m de largo, 1.665m de ancho y 1.2m de alto (véase la Figura 1.3b). Para este sistema se utilizaron 6 celdas Peltier del modelo TEC1-12706. Como resultado, se logró mantener una temperatura máxima de 30°C en el interior del vehículo durante un periodo de 1 hora y 30 minutos, considerando una temperatura ambiental de 28.9°C [5]. De manera similar, en [6] realizó una investigación experimental en la que se desarrolló un sistema de climatización utilizando tecnología termoelectrica. Para evaluar su efectividad, se construyó un modelo a escala de la cabina de un vehículo urbano con un volumen de 2.5m^3 . El estudio concluyó que la temperatura mínima alcanzada dentro del modelo, mediante el uso de celdas Peltier, fue de 23.4°C .



(a)



(b)

Figura 1.3: Análisis experimental para un sistema de refrigeración con celdas Peltier [5], (a) resultados de las pruebas realizadas y (b) vehículo utilizado en el estudio.

En la Figura 1.4 se muestra la simulación de un sistema de reducción térmica compuesto por cuatro celdas Peltier, colocadas a la altura de los asientos dentro de la cabina de los vehículos Hyundai Creta 2017 y Mazda 2 modelo 2016. Los resultados indicaron que la implementación de las celdas Peltier generó una disminución aproximada del 7 % en la temperatura interna del vehículo [7].

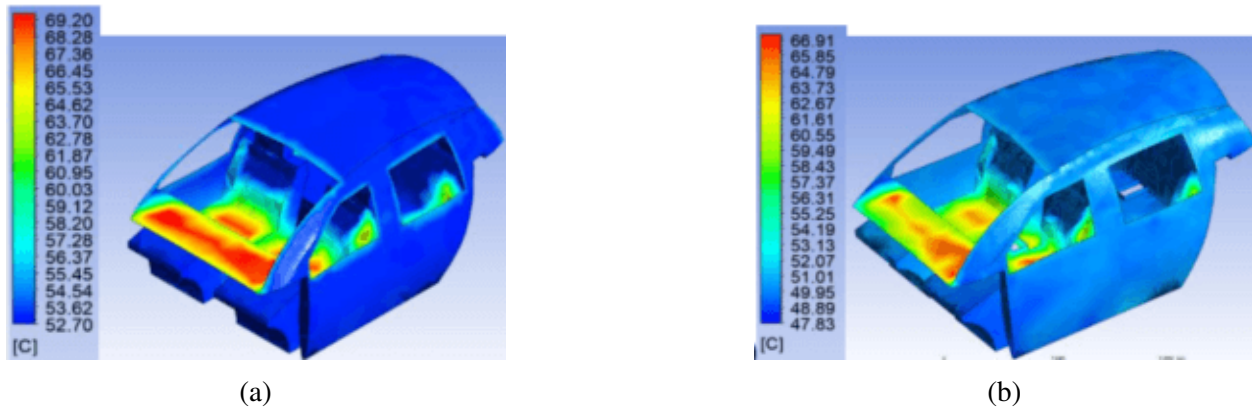


Figura 1.4: Análisis térmico en la cabina [7], (a) temperatura del aire cuando está en contacto con la carrocería sin enfriamiento y (b) temperatura del aire cuando está en contacto con la carrocería con enfriamiento.

En la Figura 1.5, se presenta el prototipo de un sistema de enfriamiento que utiliza un único dispositivo termoeléctrico. Este sistema tiene un consumo de energía de $240W$ y fue probado en un entorno con una temperatura inicial de $27^{\circ}C$, logrando reducirla a $23^{\circ}C$ [8]. Aunque esta investigación se limitó a un prototipo, ilustra el potencial de la tecnología termoeléctrica para su implementación en sistemas de climatización o reducción de temperatura en los habitáculos de los vehículos.

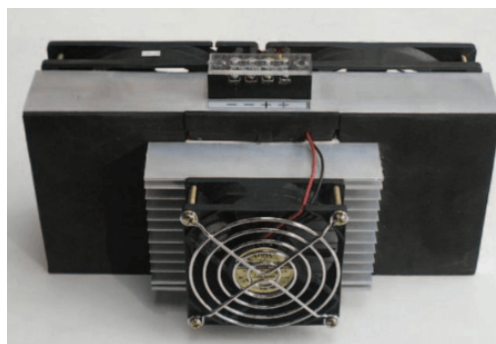


Figura 1.5: Prototipo de un módulo de refrigeración termoeléctrico[8].

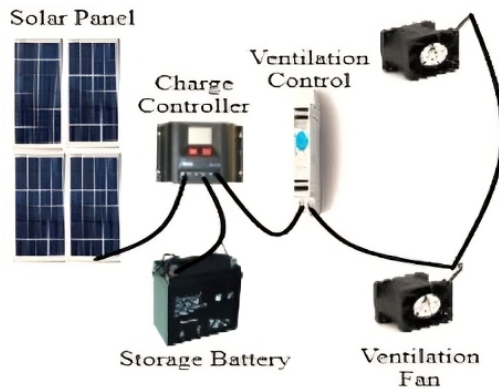
1.1.2. Sistemas alternativos de reducción de temperatura en vehículos

No solo la tecnología termoeléctrica ha sido implementada para los sistemas de climatización y reducción de temperatura en los habitáculos de los vehículos, también se han desarrollado diversas alternativas con el objetivo de satisfacer la creciente demanda de soluciones más eficientes y sostenibles.

Una de las maneras más habituales de ventilar la cabina de un coche es dejando las ventanas abiertas, lo cual puede comprometer la seguridad del vehículo. Además, siempre surge la duda de si este método es realmente efectivo para reducir la temperatura interna. En [9], se llevó a cabo una investigación experimental sobre el comportamiento de la ventilación natural en la cabina de un automóvil expuesto a radiación solar. Se determinó que dejar una ventana delantera abierta aproximadamente 15mm es suficiente para generar un diferencial de temperatura. Como resultado, se observó una reducción de temperatura entre $3^{\circ}C$ y $5^{\circ}C$. Dado los resultados de esta investigación, se puede inferir que la implementación de un sistema de ventilación forzada podría generar mayores mejoras en la ventilación de la cabina de un vehículo. Un ejemplo notable es el sistema de ventilación propuesto por [10], diseñado para reducir las altas temperaturas en el interior de la cabina de un vehículo. Este sistema utiliza un ventilador de corriente continua (cc) como componente principal, gestionado por un sistema inteligente que ventila automáticamente el interior del vehículo. Los resultados experimentales mostraron que, durante el funcionamiento del sistema, la temperatura en el habitáculo nunca superó los $43^{\circ}C$.

En la Figura 1.6a, se presentan los elementos un sistema de ventilación compuesto por dos ventiladores: uno encargado para introducir aire exterior en la cabina y otro para expulsar el aire caliente del interior al exterior. Este sistema permite un intercambio continuo de aire entre el interior y el exterior del vehículo, con el objetivo de regular la temperatura interna. Durante las pruebas de funcionamiento, se observó una reducción significativa de hasta $15^{\circ}C$ en la temperatura interna de la cabina. Considerando una temperatura ambiente superior a $30^{\circ}C$, la temperatura mínima y máxima alcanzadas dentro de la cabina con el sistema de ventilación fueron de $18.2^{\circ}C$ y $45.4^{\circ}C$,

respectivamente, en comparación con las temperaturas mínimas y máximas de $30.1^{\circ}C$ y $53.9^{\circ}C$ registradas sin el sistema [11].

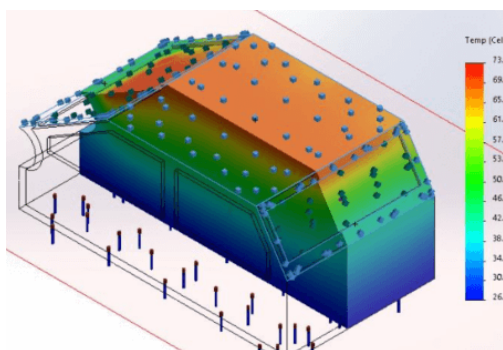


(a)

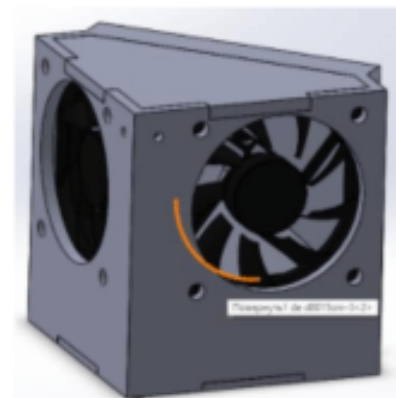
(b)

Figura 1.6: Sistema de intercambio de flujos de aire [11], (a) conexión entre las partes principales del sistema y (b) ubicación de las elementos del sistema en la cabina del vehículo.

En la Figura 1.7a, se presenta una simulación de la distribución térmica en la cabina de un automóvil expuesto a radiación solar, mientras que la Figura 1.7b muestra los dispositivos de extracción de aire, cada uno equipado con un ventilador, instalados en las ventanas delanteras del vehículo. Este sistema, implementado en un Nissan X-Trail, logró reducir la temperatura interna del automóvil en aproximadamente $10^{\circ}C$ [12].



(a)



(b)

Figura 1.7: Sistema de extracción de aire [12], (a) simulación de la carga térmica y (b) dispositivo de extracción de aire.

En la Figura 1.8, se observa un vehículo completamente cubierto en su techo y ventanas. Este experimento formó parte de una investigación sobre una cubierta reflectante solar, compuesta por aluminio laminado de baja absorción solar, como método pasivo para bloquear la radiación solar. Los resultados mostraron una reducción de $17.5^{\circ}C$ en la temperatura interna de la cabina del vehículo. Adicionalmente, al encender el aire acondicionado, se alcanzó un confort térmico de $27^{\circ}C$ en tan solo 7 minutos [13].



Figura 1.8: Cubierta reflectante solar de aluminio laminado de baja absorción solar [13].

Otro estudio sobre métodos pasivos para reducir la temperatura en la cabina de un automóvil es el de [14], en el que se utilizó un vehículo para analizar los efectos de la radiación solar en los componentes del habitáculo, como el tablero de instrumentos, el volante y los asientos. El método consistió en cubrir el techo y parabrisas del vehículo, dejando las ventanas laterales parcialmente abiertas aproximadamente 1cm (véase la Figura 1.9). Como resultado, se observó que la temperatura dentro del habitáculo fue solo $3^{\circ}C$ superior a la temperatura ambiente. Asimismo, las temperaturas promedio de los componentes de la cabina se redujeron en un 70 % en comparación con un vehículo que no utilizaba dicha cubierta.



Figura 1.9: Cubierta formada por láminas de cartón para parasoles de automóviles[14].

En la investigación de [15], se analizaron diferentes métodos para reducir la temperatura en la cabina de un Ford Focus Electric mediante la cobertura de los parabrisas. Utilizaron un parabrisas con propiedades reflectantes de la luz infrarroja (IRR), el cual transmitió menos energía solar en comparación con los parabrisas convencionales, logrando una reducción de $4^{\circ}C$ en la temperatura interna. Además, el uso de cortinas dentro de la cabina permitió reducir la temperatura en $9.2^{\circ}C$, mientras que los cristales con capacidad de reflejar la luz solar disminuyeron la temperatura en $5.3^{\circ}C$.

1.1.3. Crecimiento del parque vehicular y el sobrecalentamiento en las cabinas

Según datos de [16], el incremento del número de vehículos en México fue del 68 % entre el año 2000 y 2018, mientras que en el mismo período la población solo creció un 14 % (véase la Figura 1.10). Además, una investigación realizada en [17], destaca que la Ciudad de México, el número de vehículos creció un 62.53 % entre los años 2010 y 2019. Esta tendencia sugiere que el crecimiento vehicular continuará aumentando, con una proyección anual aproximada del 4.5 % hasta el año 2050.



Figura 1.10: Análisis del parque vehicular en el periodo del 2000 al 2018 [16], (a) crecimiento poblacional y (b) crecimiento vehicular.

Un estudio experimental realizado por [18], evaluó el efecto del calentamiento en un vehículo Minibús de color blanco. Los resultados mostraron que la temperatura máxima dentro de la cabina, con orientación hacia el sur, alcanzó aproximadamente $63^{\circ}C$, mientras que con orientación hacia el este, la temperatura fue de aproximadamente $58^{\circ}C$. Estas pruebas se realizaron en condiciones donde la temperatura ambiente oscilaba entre $30^{\circ}C$ y $45^{\circ}C$, durante el período entre las 7:00 a.m. y las 6:00 p.m.

De manera similar, [19] que empleó vehículos sedán Roewe 360, determinó que la temperatura máxima en la cabina fue de aproximadamente 58°C a las 2:00 p.m. Por otro lado, [20] demostró que, en un vehículo expuesto a radiación solar intensa, una hora es suficiente para tener en el habitáculo una temperatura de 133°F o 56°C (véase la Figura 1.11b).



Figura 1.11: Incremento de la temperatura en la cabina de un vehículo [20], (a) temperatura de 42°C después de 10 minutos y (b) temperatura de 56°C después de 60 minutos.

El análisis experimental realizado por [21], demostró que dejar las ventanas entreabiertas a 2cm solo reduce la temperatura en la cabina en aproximadamente 1.75°C , cuando la temperatura interna es de 55.25°C . Por otro lado, el estudio de [22] comprobó que el uso de los parasoles ayudan significativamente a reducir el sobrecalentamiento en el tablero del vehículo, pero aún así no es suficiente para mitigar las altas temperaturas que se acumulan en la cabina.

Otro factor determinante en el aumento de la temperatura en el interior de los vehículos es el color de la carrocería. Esto se refleja en el estudio realizado por [23], en el cual utilizó tres automóviles de diferentes colores: un Nissan Terrano (blanco), un Suzuki Celerio (gris) y un Suzuki Swift (marrón). Sus resultados mostraron que el vehículo con carrocería blanca reflejó más la radiación solar, alcanzando una temperatura máxima de 48.4°C , mientras que el vehículo color marrón, registró una temperatura interna de hasta 59°C (Véase la Figura 1.12).

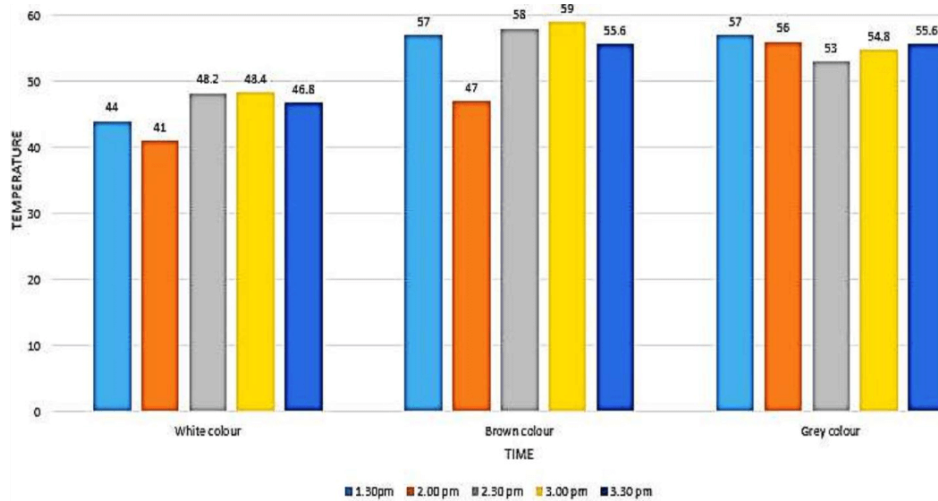


Figura 1.12: Variaciones de temperatura en función del color de la carrocería de un automóvil [23].

En la Figura 1.13, se ilustra cómo la temperatura varía en la superficie de la cabina de un automóvil cuando está expuesto a la radiación solar, especialmente durante el mediodía (véase la Figura 1.13b). Se observa un aumento considerable de la temperatura en diferentes partes del interior del vehículo. Los materiales que sufren mayor sobrecalentamiento son el tablero y la parte trasera de la cabina, donde las temperaturas alcanzan aproximadamente 67°C . Por otro lado, los asientos muestran una temperatura ligeramente inferior, alcanzando los 50°C .

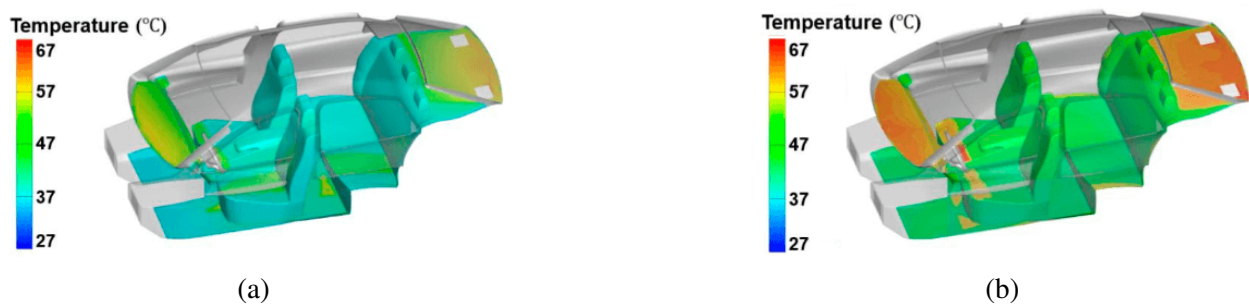


Figura 1.13: Distribución de la temperatura en las superficies de la cabina de un vehículo [24], (a) distribución de la temperatura a las 10:00 a.m y (b) distribución de la temperatura al medio día.

Dadas estas condiciones, la exposición a altas temperaturas puede provocar un golpe de calor en los ocupantes del vehículo. Según [25], este fenómeno ocurre cuando el cuerpo humano pierde la capacidad de disipar el calor excesivo. Este fenómeno puede clasificarse en dos tipos: **golpe de**

calor pasivo, que resulta de la exposición prolongada al calor ambiental, y **golpe de calor activo**, que se debe al esfuerzo físico. Ambos tipos pueden derivar en hipertermia, una condición en la que la temperatura corporal aumenta debido a la acumulación de calor, impidiendo que el cuerpo lo disipe de manera adecuada. Y esto se presenta cuando el cuerpo humano presenta una temperatura corporal mayor a los 40°C , provocando piel seca, convulsiones o delirio [26]. Además, que existen múltiples factores que pueden ocasionar que los ocupantes del automóvil, lleguen a ser más vulnerables al golpe calor, estos factores se muestran en la Tabla 1.1.

En el caso de los animales, al exponerse a condiciones climáticas extremas, cuando la temperatura corporal de los animales supera los 41°C , pueden experimentar graves trastornos fisiológicos, lo que puede derivar en problemas de salud severos e incluso en la muerte si no se actúa a tiempo [27].

Tabla 1.1: Factores asociados al golpe de calor pasivo [25].

Factores de riesgo	Explicación
Clima	Olas de calor, con sucesivos días y noches calurosas.
Factores fisiológicos	Insuficiencia cardiovascular que impide los ajustes cardiovasculares normales al estrés por calor: incapacidad para mantener un volumen sistólico aceptable en el calor, vasodilatación periférica inadecuada debido a cambios estructurales y mecanismo vasodilador mediado por óxido nítrico promedio, densidad capilar reducida y calidad de la microcirculación cutánea, disminución de la tasa de sudoración y de la producción de las glándulas sudoríparas en respuesta al estrés térmico.
Factores sociales	Aislamiento social, espacio habitable sin ventilación ni aire acondicionado, incapacidad para cuidar de sí mismo, confinamiento en cama.
Factores funcionales	Obesidad, sedentarismo, falta de aclimatación, enfermedades mentales, cardiovasculares, cerebro-vasculares y pulmonares y esclerosis múltiple por exposición al estrés por calor.
Medicamentos	Betabloqueantes, diuréticos, bloqueadores de los canales de calcio, laxantes, fármacos anticolinérgicos, salicilatos, agonistas de la tiroides, benzotropina, trifluoperazina, butirofenonas, agonistas, inhibidores de la monoaminoxidasa, simpaticomiméticos medicamentos, antidepresivos tricíclicos.

No obstante, el golpe de calor no es el único efecto adverso del sobrecalentamiento de la cabina de un automóvil. Según [23], el interior de un automóvil suele estar compuesto por materiales

como plástico negro piano, fibra de carbono falsa, plástico duro, molduras de madera falsa, vinilo y cuero, entre otros. Estos materiales contienen sustancias químicas como polipropileno, tereftalato de polietileno, poliolefina, ácido poliláctico, sulfuro de polifenileno y acetato de celulosa, así como compuestos aromáticos. Y uno de los gases que se genera por el sobrecalentamiento dentro de la cabina es el benceno en forma de vapor, el cual es tóxico y potencialmente cancerígeno. Este tipo de gases pueden ser peligrosos cuando el vehículo está expuesto a temperaturas elevadas, ya que el calor contribuye a la liberación de estos compuestos volátiles, comprometiendo la calidad del aire en el interior del vehículo y representando un riesgo para la salud de los ocupantes [28].

1.2. Planteamiento del problema

El problema surge cuando el automóvil está estacionado con el motor apagado y el sistema de climatización no funciona. Mantener el vehículo encendido solo para que el aire acondicionado siga operando no es una solución viable, ya que resulta ineficiente y conlleva un alto consumo de combustible. Además, este enfoque incrementa la emisión de contaminantes y el desgaste del motor. Un factor crucial que contribuye a las elevadas temperaturas en México es su ubicación geográfica. Según [29], México es particularmente vulnerable a los efectos del cambio climático debido a su posición entre dos océanos, así como a su variado relieve y su latitud. Esto genera un clima caluroso, generando el problema del sobrecalentamiento en el interior de los vehículos estacionados.

Por otro lado, el crecimiento del parque vehicular tanto en zonas urbanas como rurales, ha provocado que muchos vehículos permanezcan expuestos durante largos periodos a la radiación solar directa por la escasez de espacios de estacionamiento. De igual forma, otro factor que contribuye al crecimiento del parque vehicular es el uso del automóvil privado como principal medio de transporte. Un estudio realizado por [30], demuestra que el transporte privado es más rápido y eficiente que el transporte público, ya que no está sujeto a tiempos de transbordo y permite viajar largas distancias de manera más cómoda. Esto ha incrementado el uso de vehículos privados, lo que a su vez genera mayor demanda de espacios de estacionamiento.

Esta situación provoca un aumento considerable en la temperatura dentro del habitáculo de los automóviles, lo que no solo genera incomodidad para los ocupantes, sino que también acelera el deterioro prematuro de los materiales del interior [24]. Ante estas altas temperaturas, los conductores suelen encender el aire acondicionado del vehículo para reducir el calor y mejorar la comodidad en la cabina. Sin embargo, esta práctica conlleva un incremento significativo en el consumo de combustible [20].

Dado este contexto, la exposición a altas temperaturas dentro de un vehículo puede ser extremadamente perjudicial para la salud de los ocupantes, especialmente para niños y adultos

mayores. No solo provoca incomodidad, sino que puede ocasionar un golpe de calor. Según lo mencionado en [31], esta condición es muy frecuente en lugares donde se tienen altas temperaturas climáticas. Asimismo, las mascotas que permanecen dentro de los automóviles también pueden sufrir graves problemas de salud debido a la exposición prolongada de calor [27]. El golpe de calor es potencialmente fatal y, además, frecuentemente infradiagnosticado. Si no se diagnostica y trata de manera temprana, las consecuencias pueden ser letales [32]. Por otro lado, también se debe considerar la acumulación de gases tóxicos en la cabina del vehículo, generados por el sobrecalentamiento. Este fenómeno está relacionado con los compuestos químicos presentes de los materiales del interior del automóvil [28].

Además, una práctica común entre los propietarios de vehículos es dejar las ventanas ligeramente entreabiertas, con el propósito de reducir el calor en el interior. No obstante, esta medida resulta insuficiente para mitigar significativamente las altas temperaturas generadas dentro del vehículo [21]. De manera similar, el uso de parasoles en el parabrisas delantero es una técnica ampliamente empleada para bloquear la radiación solar, pero su efectividad es limitada y no logra reducir de forma considerable la temperatura en el interior del vehículo [22]. Esto evidencia que las soluciones convencionales resultan inadecuadas para proteger el interior del vehículo de la exposición prolongada al sol.

Cabe destacar que los sistemas de aire acondicionado en los vehículos son altamente eficientes para climatizar el interior, ya que pueden generar tanto aire frío como caliente según las condiciones ambientales. No obstante, estos sistemas requieren componentes de gran tamaño, como compresor, condensador, evaporador, tuberías y gas refrigerante, además de la intervención de especialistas para su instalación y mantenimiento. Por otro lado, cuando el aire acondicionado del vehículo está en funcionamiento, genera una carga adicional en el motor de combustión interna, lo que incrementa significativamente el consumo de combustible y la emisión de gases contaminantes, impactando negativamente en el medio ambiente.

Dado lo anterior, existen pocas alternativas que igualen la eficiencia de los sistemas de aire acondicionado convencionales y, al mismo tiempo, sean de mínima invasión. Además, es un de-

safió aún mayor desarrollar un sistema capaz de mitigar las altas temperaturas en la cabina de un vehículo, especialmente considerando las condiciones climáticas particulares de nuestra región. En este contexto, una opción viable es el uso de sistemas de enfriamiento de estado sólido, como las celdas Peltier.

En [33], se destaca que la celda Peltier es un dispositivo compacto, y al ser un elemento sólido, no requiere de mantenimiento. Además, su uso como elemento de refrigeración presenta una ventaja significativa para el medio ambiente, ya que no emplea gases perjudiciales como el neón, que contribuyen al deterioro de la capa de ozono. No obstante, a pesar de estos beneficios, la celda Peltier sigue siendo un elemento poco explorado debido a la complejidad de optimizar su rendimiento. Además, su alto consumo de potencia eléctrica y el riesgo de alcanzar un equilibrio térmico si no se gestiona adecuadamente representan desafíos importantes. Por lo tanto, su aplicación en el desarrollo de un sistema de reducción de temperatura no solo contribuirá a la investigación de la tecnología termoeléctrica, sino también a la búsqueda de alternativas viables para solucionar el sobrecalentamiento en los habitáculos de los automóviles.

En este contexto, se propone el desarrollo de un sistema de reducción de temperatura para el habitáculo de un automóvil, basado en el uso de celdas Peltier e integrado con sistemas pasivos y activos. Este trabajo no tiene como finalidad alcanzar una temperatura interior específica, sino únicamente reducir la temperatura dentro del vehículo cuando se encuentra expuesto a la radiación solar sin ocupantes.

1.3. Justificación

En la actualidad, el impacto del cambio climático provocado por el calentamiento global continúa en aumento debido a la creciente presencia de gases contaminantes. Ante esta situación, se espera un mayor aprovechamiento de las energías renovables para fomentar un desarrollo sostenible [34]. Una de las principales fuentes de energías renovables es la energía solar, la cual permite la transformación de la energía solar térmica en energía eléctrica, que puede utilizarse en aplicaciones industriales, comerciales y residenciales [35].

En este trabajo de tesis, se desarrolla un sistema que forma parte de un proyecto más amplio, en el cual se plantea el aprovechamiento de la energía solar para la reducción de la temperatura en la cabina de un vehículo.

En nuestro país, se impulsa la movilidad eléctrica, ya que México es considerado uno de los principales fabricantes de la industria automotriz a nivel mundial. En este contexto, se busca fomentar la electromovilidad considerando las necesidades sociales y ambientales, promoviendo modos sustentables e incentivando la innovación tecnológica [36].

Por esta razón, la energía solar representa una fuente sustentable de energía para el sector automotriz. A través del uso de paneles solares, donde el sol es la principal fuente de energía del vehículo, es posible tener una eficiencia del 98 %. Esto implica una reducción total en la emisión de gases contaminantes, ya que el motor de combustión interna es reemplazado por un motor eléctrico [37].

Este trabajo se basa en pruebas experimentales realizadas bajo las condiciones climáticas específicas de nuestra región, las cuales son únicas. Para ello, se llevó a cabo un estudio de campo utilizando un vehículo real, con el fin de obtener resultados representativos.

Como parte de la investigación, se desarrolló un prototipo del sistema, el cual fue diseñado, construido y probado para validar su funcionamiento. Los resultados obtenidos sirven como base para el desarrollo futuro de este tipo de sistemas en condiciones locales de operación, fomentando así la electromovilidad en nuestra región y el uso de energías renovables.

1.4. Hipótesis

Para este trabajo de tesis, se desarrolla un sistema de reducción de temperatura utilizando celdas Peltier, se plantea la siguiente hipótesis:

- ¿Implementar un sistema de control de régimen de trabajo para las celdas Peltier mejorará su rendimiento y reducirá significativamente la temperatura interna del vehículo?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema de reducción de temperatura para mejorar el confort térmico en el habitáculo de un automóvil, utilizando celdas Peltier.

1.5.2. Objetivos específicos

- Medir y analizar las temperaturas máximas en el habitáculo bajo la exposición solar, para evaluar el impacto en el confort térmico.
- Implementar un control electrónico para las celdas Peltier en un microcontrolador.
- Implementar un sistema para la recolección de la temperatura fría generada por las celdas Peltier.
- Implementar un sistema de disipación de calor para las celdas Peltier.
- Obtener y analizar los resultados del sistema en diferentes escenarios de pruebas.

1.6. Metas

- Lograr una reducción significativa de la temperatura.
- Evaluar la viabilidad del sistema como una alternativa de mínima intervención.
- Controlar la temperatura en el lado caliente de la celda Peltier para evitar el equilibrio térmico, asegurando que el lado frío continúe enfriando de manera efectiva.
- Dimensionar adecuadamente las capacidades y limitaciones del sistema con base a los resultados obtenidos.

1.7. Metodología

Para llevar a cabo este proyecto de tesis, se presenta una investigación basado en el análisis experimental. Siguiendo los objetivos propuestos, se planteó una metodología fundamentada en el modelo en cascada (véase la Figura 1.14). Este modelo aborda las actividades fundamentales del proceso, como especificación, desarrollo, validación y evolución, representándolas como fases distintas del proceso [38].

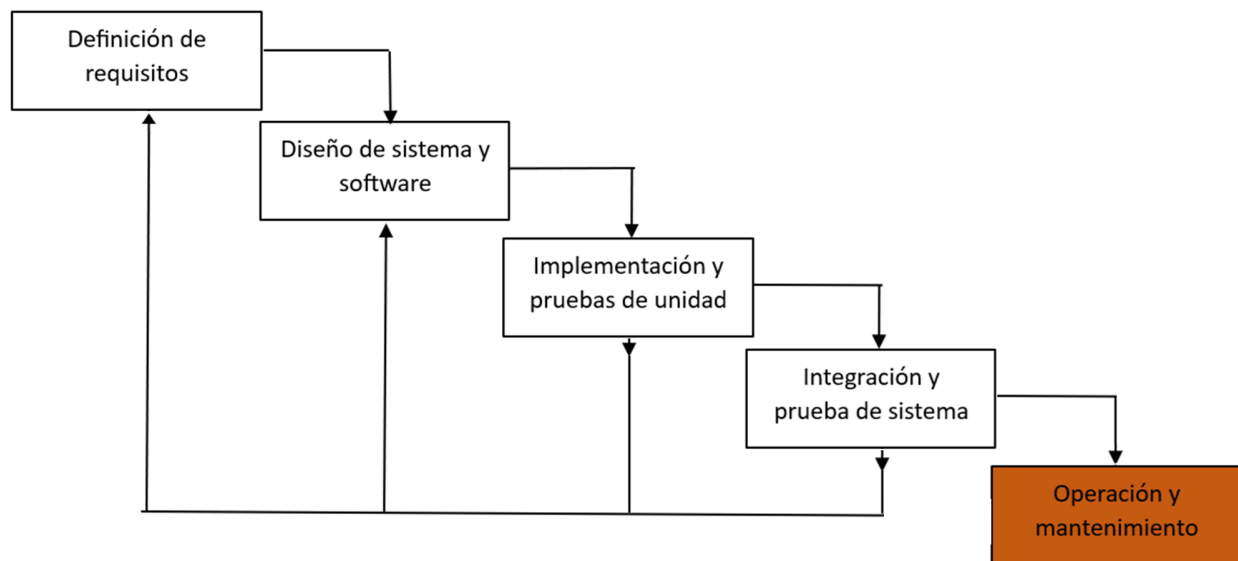


Figura 1.14: Modelo de desarrollo de cascada [38].

1. Definición de los requisitos

- Recopilación y análisis de literatura relacionada con sistemas de enfriamiento basados en celdas Peltier.
- Revisión de estudios previos sobre las temperaturas típicas en el habitáculo de un vehículo y los niveles de enfriamiento alcanzados por las celdas Peltier.
- Establecer los niveles de corriente y voltaje para el funcionamiento del sistema, incluyendo la etapa de potencia y el sistema electrónico.
- Evaluar las dimensiones del sistema para garantizar su correcta instalación y funcionamiento en el espacio disponible.

2. Diseño de sistema y software

- Diseño del sistema de medición de temperatura del habitáculo.
- Diseño del control electrónico de las celdas Peltier en un microcontrolador.
- Diseño del sistema de recolección de la temperatura fría y del sistema de disipación de calor.

3. Implementación y pruebas de unidad

- Construcción del sistema de medición de temperaturas, del sistema de recolección de temperatura fría y del sistema de disipación de calor.
- Realizar pruebas unitarias para asegurar el correcto funcionamiento de cada componente individualmente.

4. Integración y prueba de sistema

- Construcción del prototipo del sistema de reducción de temperatura.
- Pruebas del sistema en condiciones reales.

5. Operación y mantenimiento: Esta fase no se aplicara en este proyecto, ya que no se alcanzará un diseño final, sino que se mantendrá a nivel de prototipo. Esto permitirá que, en el futuro, el proyecto pueda ser mejorado y optimizado.

Capítulo 2

2. Marco teórico

Este capítulo presenta los fundamentos teóricos que sustentan el diseño y evaluación del sistema propuesto, incluyendo las leyes de la termodinámica y la transferencia de calor, que son esenciales para comprender el efecto invernadero en los automóviles. Además, se abordan los principios termoeléctricos que explican el funcionamiento de las celdas Peltier.

2.1. Leyes de la termodinámica

- **Primera ley de la termodinámica:** Conocida como el principio de conservación de la energía, sirve como base para analizar las relaciones entre las distintas formas de interacción energética. Esta ley establece que la energía no puede ser creada ni destruida durante un proceso, solo puede cambiar de forma [39].
- **Segunda ley de la termodinámica:** El enunciado de Kelvin-Planck establece que ninguna máquina térmica puede producir una cantidad neta de trabajo mientras intercambia calor, y el enunciado de Clausius afirma que ningún dispositivo puede transferir calor de un cuerpo más frío a otro más caliente. En resumen, la segunda ley de la termodinámica determina la dirección en la que ocurre un proceso [39].
- **Tercera ley de la termodinámica:** Establece que la entropía de una sustancia pura cristalina a una temperatura absoluta de cero es cero, es decir, en cualquier proceso, un sistema físico se detiene al llegar al cero absoluto [39].

2.2. Mecanismos de transferencia de calor

Existen tres mecanismos básicos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación. Además, la termodinámica constituye la base principal para el estudio de la transferencia de calor. En este contexto, la termodinámica se refiere a la cantidad de calor necesaria para que un sistema pase de un estado de equilibrio a otro o para que ocurra un cambio de estado. La transferencia de calor, por otro lado, determina la duración de dicho proceso en un sistema [1].

2.2.1. Calor

El calor se define como la energía capaz de transferirse de un sistema a otro debido a la existencia de un diferencial de temperatura. Por lo tanto, siempre que exista un gradiente térmico, se producirá la transferencia de calor [1].

2.2.2. Transferencia de calor por conducción

La transferencia de calor por conducción se manifiesta cuando la energía se transfiere de las partículas más energéticas de una sustancia a las adyacentes menos energéticas [1]. En otras palabras, la transferencia de energía tiene lugar mediante el contacto físico directo. La conducción puede tener lugar en sólidos, líquidos o gases, y la rapidez o razón de transferencia de calor por conducción en un medio específico dependerá de su configuración geométrica, espesor, tamaño y del material del cual esté hecho (véase la Figura 2.1).

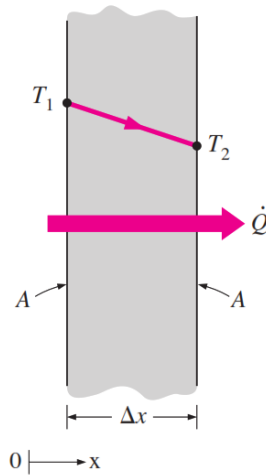


Figura 2.1: Conducción de calor a través de una pared plana grande de espesor Δx y área A [1].

La rapidez o razón de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de la misma y al área de transferencia de calor. No obstante, es inversamente proporcional al espesor de dicha capa [1]:

$$\text{Razón de conducción de calor} = \frac{(\text{Área})(\text{Diferencia de temperatura})}{\text{Espesor}}$$

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = -kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \quad (\text{W}) \quad (2.1)$$

En la ec. (2.1), la constante k se define como la conductividad térmica del material (W/mK) y Δx es la longitud. Por lo tanto, la ec. (2.1) representa la tasa de transferencia de calor a través de un espesor unitario del material por unidad de área y por unidad de diferencia de temperatura. En otras palabras, es una medida de la capacidad de un material para conducir calor. Un valor alto de conductividad térmica indica que el material es un buen conductor de calor, mientras que un valor bajo sugiere que es un mal conductor o un aislante térmico [1].

Las conductividades térmicas de los materiales pueden variar significativamente en un amplio rango dependiendo de las condiciones que estén expuestos (véase la Tabla 2.1).

Tabla 2.1: Conductividades térmicas de algunos materiales a temperatura ambiente [1].

Material	(W/m·°C)
Diamante	2,300
Plata	429
Cobre	401
Oro	317
Aluminio	237
Hierro	80.2
Mercurio	8.54
Vidrio	0.78
Ladrillo	0.72
Agua	0.607
Piel humana	0.37
Madera (roble)	0.17
Hielo (g)	0.152
Caucho suave	0.13
Fibra de vidrio	0.043
Aire	0.026
Uretano, espuma rígida	0.026

2.2.3. Transferencia de calor por convección

La transferencia de calor por convección es el proceso que tiene lugar entre una superficie sólida y un fluido en movimiento, ya sea líquido o gas. Este fenómeno comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento del fluido. En otras palabras, la transferencia de calor por convección es más significativa cuando un fluido se encuentra en movimiento rápido. Sin embargo, si el fluido permanece estático, la transferencia de calor ocurrirá principalmente a través del método de conducción. Es importante destacar que existen dos formas de convección: forzada y natural (véase la Figura 2.2) [1].

- **Convección forzada:** se refiere al movimiento inducido por medios externos, como un ventilador, que fuerza al fluido a fluir sobre una superficie [1].
- **Convección natural:** se produce cuando el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje inducidas por las diferencias de densidad debidas a la variación de la temperatura en ese fluido [1].

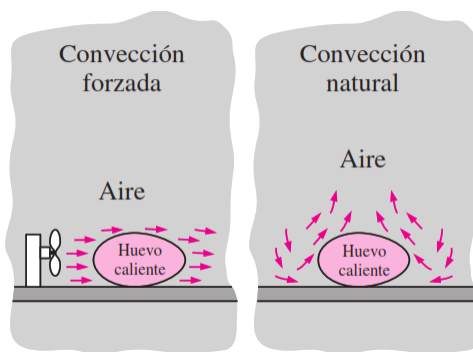


Figura 2.2: Convección forzada y natural [1].

2.2.4. Transferencia de calor por radiación

Este fenómeno implica la emisión de energía por parte de la materia en forma de ondas electromagnéticas, conocidas como fotones, como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de átomos o moléculas [1]. En otras palabras, no requiere contacto entre los medios (véase la Figura 2.3).

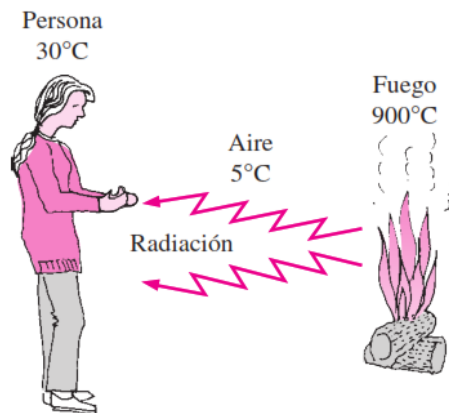


Figura 2.3: Transferencia de calor por radiación [1].

2.3. Transferencia de calor en superficies transparentes

Cuando la radiación solar incide sobre la superficie de un vidrio, aproximadamente el 8 % de ella es reflejada hacia el exterior si se trata de un vidrio transparente sin recubrimiento. Del 5 al 50 % de la radiación solar será absorbida dentro del vidrio, pero esta cifra dependerá de la

composición y espesor del vidrio. El resto de la radiación solar se transmitirá hacia el interior. Además, la radiación solar que es absorbida por el vidrio se transfiere hacia el interior y el exterior a través de procesos de convección y radiación (véase la Figura 2.4) [1].

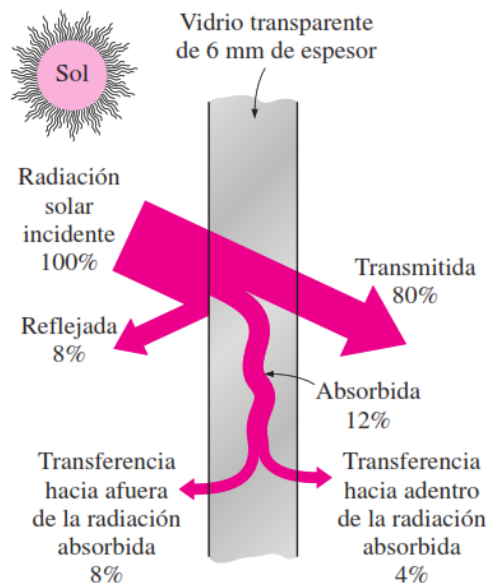


Figura 2.4: Distribución de la radiación solar que incide sobre un vidrio transparente [1].

Lo mismo ocurre con los parabrisas y las ventanas de un automóvil, ya que al estar fabricados con materiales transparentes o semi-transparentes, permiten la transferencia de calor por absorción. Este fenómeno se intensifica debido al flujo de aire dentro de la cabina, lo que genera una conducción de calor por convección (véase la Figura 2.5). Esto hace que las superficies del vidrio no solo permitan el paso de la luz solar, sino que también contribuyan al aumento de la temperatura interna del vehículo.

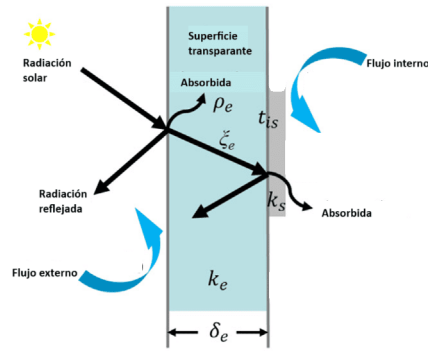


Figura 2.5: Transferencia de calor a través de las superficies transparentes del vehículo [40].

2.3.1. Absortividad, reflectividad y transmisividad

Cuando la radiación incide sobre una superficie, se presenta la absorción, reflexión y transmisión (véase la Figura 2.6). La proporción de radiación absorbida, reflejada y transmitida varía según las propiedades específicas de la superficie [1]. Donde la absortividad se representa con α , la reflectividad con ρ y la transmisividad con τ .

$$\alpha = \frac{\text{Radiación absorbida}}{\text{Radiación incidente}} = \frac{G_{\text{abs}}}{G}$$

$$\rho = \frac{\text{Radiación reflejada}}{\text{Radiación incidente}} = \frac{G_{\text{ref}}}{G}$$

$$\tau = \frac{\text{Radiación transmitida}}{\text{Radiación incidente}} = \frac{G_{\text{tr}}}{G}$$

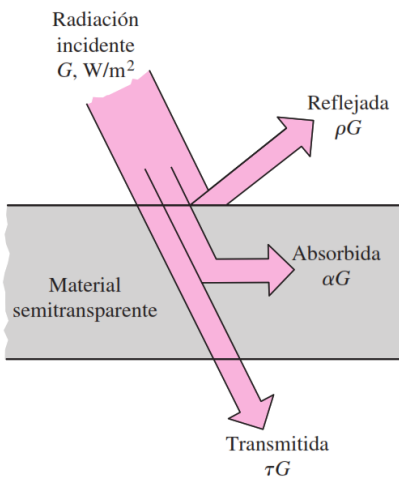


Figura 2.6: Absorción, reflexión y transmisión de la radiación incidente por un material semitransparente [1].

2.4. Efecto invernadero en un automóvil

Cuando un automóvil se estaciona bajo la luz directa del sol sin disponer de sombra, es común que la temperatura en el interior del vehículo supere las condiciones ambientales exteriores. Este fenómeno se describe como el efecto invernadero (véase la Figura 2.7a). El vidrio de las ventanas permite la entrada de radiación solar, pero a su vez, impide que escape la radiación infrarroja generada por las superficies interiores del vehículo. Esta acumulación de energía resulta en un notable aumento de la temperatura en la cabina del automóvil [1]. En la Figura 2.7b, se representa la acumulación de radiación infrarroja que no logra salir de la cabina de un vehículo.



Figura 2.7: (a) Esquema representativo [1] y (b) efecto invernadero generado en un vehículo [13].

2.5. Termoelectricidad

La termoelectricidad involucra fenómenos que combinan el calor y la electricidad, siendo el más conocido el efecto Seebeck. Este fenómeno ocurre cuando se genera un voltaje al aplicar calor a un material, especialmente en semiconductores. Al unir estos materiales y aplicar calor en la unión, los portadores de carga mayoritarios se desplazan desde el extremo caliente hacia el frío, provocando una acumulación de cargas en el extremo frío (véase la Figura 2.8). Esto genera una diferencia de potencial, conocida como voltaje Seebeck o termovoltaje [41]. Este fenómeno, descubierto por Thomas Johann Seebeck en 1821, establece que la intensidad de la corriente eléctrica generada depende del tipo de material en contacto (metálicos y semiconductores) y del diferencial de temperatura existente en una de sus uniones [42] , [43].

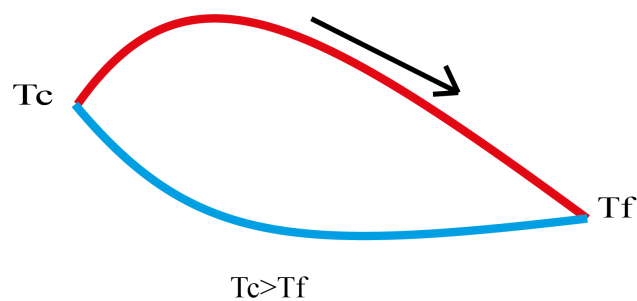


Figura 2.8: T_c es la temperatura caliente y T_f es la temperatura fría en cada unión [42].

La unión de dos materiales diferentes que experimentan una diferencia de temperatura en sus extremos constituye lo que se conoce como un termopar. En efecto, un termopar es un medio para la conversión de energía térmica en energía eléctrica (véase la Figura 2.9) [43].

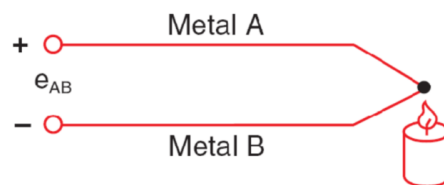


Figura 2.9: Unión termopar [44].

Cuando los electrones en el extremo caliente de un material incrementan su energía en comparación con los del extremo frío, se genera un gradiente de temperatura. Este gradiente provoca

que los portadores de carga, como los electrones o huecos, se difundan a través del conductor, estableciendo un diferencial de potencial. Este diferencial persiste hasta que el sistema alcanza su punto de equilibrio térmico [45].

2.6. Efecto Peltier

El efecto Peltier implica el enfriamiento o calentamiento de una unión entre dos metales o semiconductores distintos al circular una corriente eléctrica que atraviese la unión (véase la Figura 2.10) [46].

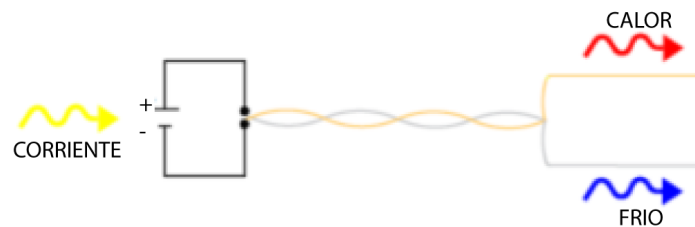


Figura 2.10: Esquema del efecto Peltier [46].

Cuando ocurre el efecto Peltier, el comportamiento de los electrones de los materiales son distinto, donde los electrones de mayor energía en el conductor pueden saltar a través de la unión al semiconductor, mientras que todos los electrones del semiconductor pueden saltar al conductor [46]. Esta dinámica se representa de forma esquemática en la Figura 2.11.

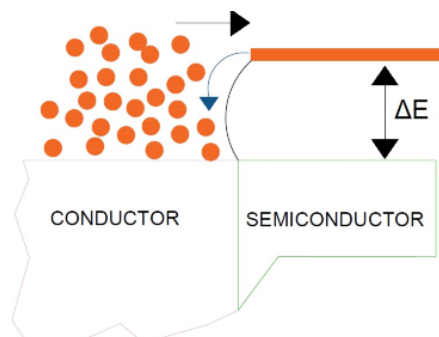


Figura 2.11: Comportamiento de los electrones [46].

2.7. Celda Peltier

En la Figura 2.12, se muestra un dispositivo Peltier dentro de un circuito eléctrico. En su primer estado, actuando como un generador eléctrico al estar expuesto a un diferencial de temperatura, el interruptor permanece cerrado. En esta configuración, se conecta una carga (R) en paralelo para medir el potencial generado (*volts*). En su segundo estado, cuando funciona como un enfriador o calentador, el interruptor permanece abierto. En este caso, la celda Peltier se alimenta con una fuente externa (V), que suministra el flujo de electrones necesario para que la celda pueda generar frío y calor en una de sus caras.

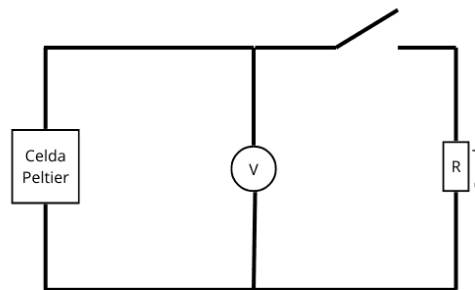


Figura 2.12: Circuito equivalente de un dispositivo Peltier en dos estados diferentes [47].

Las celdas termoeléctricas, también conocidas como bombas termoeléctricas o de calor, o celdas Peltier, están constituidas por 127 termopares. Estos termopares están conectados eléctricamente en serie y térmicamente en paralelo. Están fabricados con dos elementos semiconductores del tipo N y P, principalmente de Telurio de Bismuto [42].

En la Figura 2.13, donde se muestran los elementos semiconductores del tipo P y N, que están conectados eléctricamente en serie y térmicamente en paralelo.



Figura 2.13: Esquema de la estructura interna de una celda Peltier [5].

2.7.1. Semiconductores tipo N y tipo P

- Semiconductores tipo N: un dopante tipo n dona un electrón libre por cada átomo de impureza agregado. No se crean orificios correspondientes cuando los electrones donantes entran en la banda de conducción. Sin embargo, se crean pares electrón-orificio cuando la energía térmica hace que los electrones asciendan a la banda de conducción desde la banda de valencia (véase la Figura 2.14). Es importante señalar que el número de pares electrón-orificio es significativo solo a altas temperaturas [48].

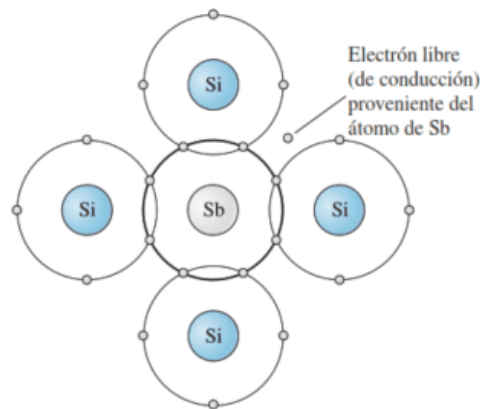


Figura 2.14: Al silicio se le agrega un átomo dopante con valencia mayor de 4, se introduce un electrón adicional y se crea un estado donador de energía. Ahora los electrones pueden pasar más fácilmente a la banda de conducción[48].

- Semiconductores tipo P: se crea un orificio en la banda de valencia al agregar una impureza, que puede llenarse con electrones de otros lugares de la banda. Es decir, los orificios actúan

como aceptantes de electrones. Estos orificios tienen una energía ligeramente más alta de lo normal y crean un nivel aceptante de energía para los electrones justo por encima de la banda de valencia (véase la Figura 2.15) [48].

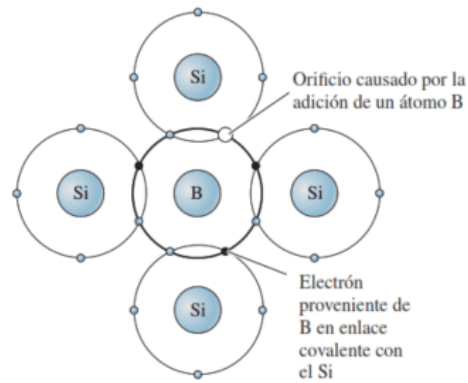


Figura 2.15: Cuando un átomo dopante con valencia menor de 4 se sustituye en la estructura de silicio, se introduce un orificio en la estructura y se crea un nivel de energía aceptante justo por encima de la banda de valencia [48].

2.7.2. Funcionamiento de las celdas Peltier

Los electrones migran hacia el lado positivo de cada uno de los extremos en los elementos semiconductores tipo N debido a la atracción de cargas de diferente signo. Por otro lado, la nube de huecos de los elementos semiconductores tipo P se desplaza hacia la terminal negativa en cada uno de sus extremos (véase la Figura 2.16). La ausencia de cargas en cada elemento semiconductor cerca de la unión metal-semiconductor provoca una disminución de cargas y, como consecuencia, un descenso de la temperatura en el área circundante [46].

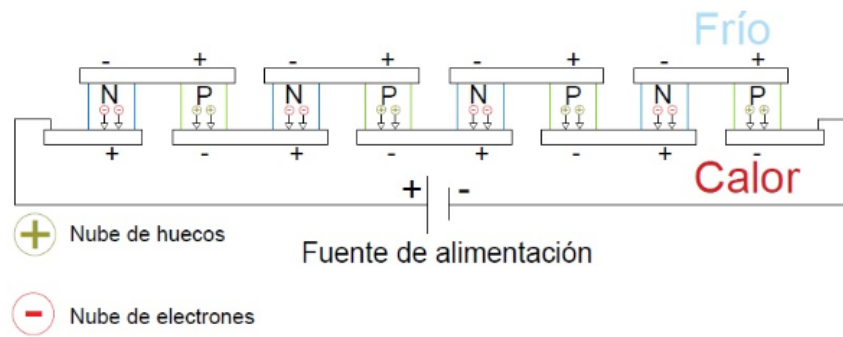


Figura 2.16: Comportamiento de los portadores de carga dentro de un arreglo de semiconductores [46].

2.7.3. Tipos de celdas Peltier

- **Celda Peltier estándar:** la celda Peltier TEC1-12706 es un dispositivo de enfriamiento termoeléctrico de estado sólido. Se usa para enfriar o calentar un objeto y es ideal para experimentos o controles de temperatura (véase la Figura 2.17).



Figura 2.17: Celda Peltier estándar TEC1-12706.

Tabla 2.2: Características de la celda Peltier TEC1-12706.

Especificaciones y características	
Dimensiones	40 x 40 x 3.6 mm
Voltaje de operación	12V
Voltaje de control	3V - 16V
Corriente	6.2A
Potencia eléctrica máxima	107.8W
Potencia calorífica máxima	60W
Resistencia	1.7 Ohm
Máxima temperatura de operación cara caliente	75 °C
Mínima temperatura de operación cara fría	-5 °C

- **Celda multi-etapas o en cascada:** diseñadas para proporcionar mayores diferencias de temperaturas. Se disponen en paralelo formando varios pisos en una estructura piramidal (véase la Figura 2.18), lo que resulta en una mayor diferencia de temperaturas en cadena. Encuentran aplicación en situaciones donde se requiere un enfriamiento moderado, como en detectores de infrarrojos, CCD, instrumentos analíticos o electro-óptica [2].

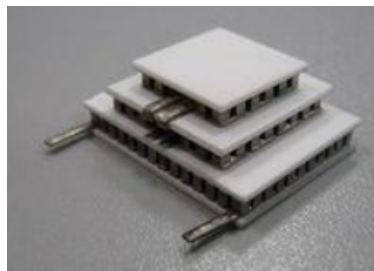


Figura 2.18: Celda Peltier multi-etapas [2].

Tabla 2.3: Características de una celda Peltier en cascada nivel 2 [2].

Especificaciones y características	
Dimensiones	20x20x6.45 mm
Tensión	8.2 - 18.20 V
Potencia calorífica máxima	18 - 37 W
Corriente	3.5 - 24 A
Diferencia de temperatura máxima	95 - 100 °C

Tabla 2.4: Características de una celda Peltier en cascada nivel 3 [2].

Especificaciones y características	
Dimensiones	20x20x9.65 - 39.7x39.7x6.8 mm
Tensión	8.6 - 18.30 V
Potencia calorífica máxima	9.70 - 22 W
Intensidad	4.5 - 6 A
Diferencia de temperatura máxima	111 °C

- **Micro-celdas:** son de tamaño reducido, en comparación con las celdas estándar (véase la Figura 2.19), tienen una capacidad de disipación o absorción de calor de aproximadamente 9 W como máximo. Estas celdas encuentran aplicación en espacios reducidos, como componentes ópticos, sensores y láseres utilizados en optoelectrónica e industria de telecomunicaciones [2].

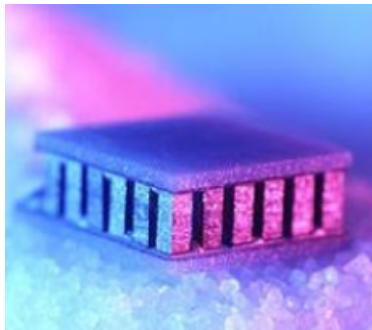


Figura 2.19: Micro celda Peltier [2].

Tabla 2.5: Características de una micro celda Peltier [2].

Especificaciones y características	
Dimensiones	4.01x4.01x2.39 - 12.10x12.01x2.34 mm
Tensión	0.96 - 8.70 V
Potencia calorífica máxima	0.63 - 8.70 W
Intensidad	1.20 - 2.50 A
Diferencia de temperatura máxima	70 °C

- **Celdas de alta potencia:** diseñadas para maximizar su capacidad de bombeo de calor, alcanzando hasta 280 W. Además, su potencia de refrigeración por unidad de superficie llega

a los 14 W/cm^2 . Estas celdas encuentran aplicación en situaciones donde se requiere la extracción eficiente de una gran cantidad de calor en espacios reducidos, como en láseres, PCR y pruebas térmicas de microprocesadores (véase la Figura 2.20) [2].



Figura 2.20: Celda Peltier de alta potencia [2].

Tabla 2.6: Características de una celda Peltier de alta potencia [2].

Especificaciones y características	
Dimensiones	30x30x3.3 - 55x55x4 mm
Tensión	8.9 - 35.8 V
Potencia calorífica máxima	85.1 - 340.5 W
Intensidad	6 - 24 A
Diferencia de temperatura máxima	68 - 71 °C

- **Celdas de alta temperatura:** la temperatura en el lado caliente puede alcanzar hasta los 150°C , manteniendo un rendimiento de refrigeración elevado (véase la Figura 2.21) [2].

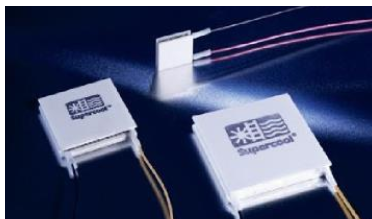


Figura 2.21: Celda Peltier de alta temperatura [2].

Tabla 2.7: Características de una celda Peltier de alta temperatura [2].

Especificaciones y características	
Dimensiones	15x15x3.6 - 40x40x4.8 mm
Tensión	3.8 - 15.7 V
Potencia calorífica máxima	8 - 77.6 W
Intensidad	2.6 - 8.5 A
Diferencia de temperatura máxima	69-74 °C

- **Celdas serie-paralelo:** proporcionan un nivel similar de capacidad de enfriamiento y calidad que las celdas estándar. La distinción radica en que estas celdas cuentan con dos circuitos eléctricos separados en su interior, lo que permite conectarlas en serie o en paralelo según la potencia requerida. La conexión en serie es necesaria cuando se necesita más potencia (véase la Figura 2.22) [2].

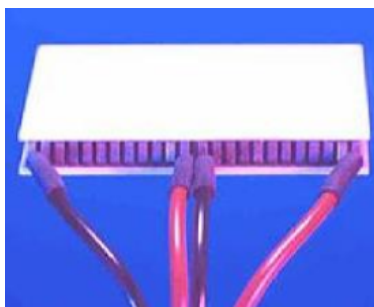


Figura 2.22: Celda Peltier serie-paralelo [2].

Tabla 2.8: Características de una celda Peltier serie-paralelo [2].

Especificaciones y características	
Dimensiones	40x40x3.6 - 40x40x4.8 mm
Tensión en serie	31.4 - 31.8 V
Tensión en paralelo	15.7 - 15.9 V
Potencia calorífica máxima	36.6 - 70 W
Intensidad en serie	1.9 - 3.6 A
Intensidad en paralelo	3.7 - 7.2 A
Diferencia de temperatura máxima	69 - 72 °C

- **Celdas con orificio central:** tienen una capacidad de refrigeración significativamente menor en comparación con las celdas Peltier estándar (véase la Figura 2.23) [2].

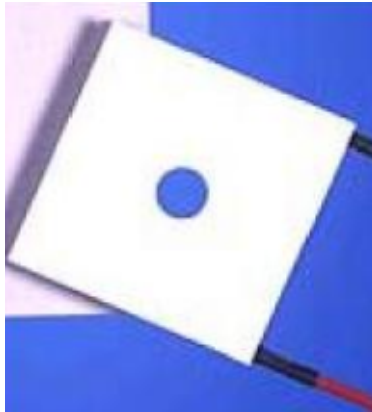


Figura 2.23: Celda Peltier con orificio central [2].

Tabla 2.9: Características de una celda Peltier con orificio central [2].

Especificaciones y características	
Dimensiones	15x15x1.8 - 39.7x39.7x4.7 mm
Tensión	3.2 - 17.2 V
Potencia calorífica máxima	5.2 - 56 W
Intensidad	3 - 6 A
Diferencia de temperatura máxima	72 °C

- **Celdas circulares:** su aplicación es en optoelectrónica, laboratorios y en situaciones donde su forma específica sea necesaria (véase la Figura 2.24) [2].



Figura 2.24: Celda Peltier circular [2].

Tabla 2.10: Características de una celda Peltier circular [2].

Especificaciones y características	
Dimensiones del diámetro exterior	14 mm
Dimensiones del diámetro interior	26 mm
Dimensiones del espesor	3.31 mm
Tensión	1.9 V
Potencia calorífica máxima	6.2 W
Intensidad	6 A
Diferencia de temperatura máxima	72 °C

2.8. Disipadores de calor

Los disipadores de calor juegan un papel fundamental en la gestión térmica de equipos y sistemas, dado que permiten intercambiar calor entre dos medios. Su funcionamiento se basa en la ampliación de la superficie de intercambio de calor, lo cual se logra mediante el uso de aletas. Estas aletas proporcionan una mayor área de contacto, lo que facilita el proceso de disipación del calor. Estos dispositivos son elementos clave cuando se trata de disipar las temperaturas en equipos que están sometidos a condiciones térmicas elevadas [49].

2.8.1. Tipos de disipadores de calor

- Pasivos: su funcionamiento se basa en la disipación de calor mediante convección natural, ya que no requieren una fuente de energía externa para operar. Y en su lugar, un fluido circula a través del disipador según el efecto de la densidad desigual del fluido causada por la fuerza de gravedad [50]. Aunque estos dispositivos son menos efectivos que los disipadores activos en cuanto a la rapidez y eficiencia de la transferencia de calor, presentan ciertas ventajas significativas. Al no tener partes móviles, los disipadores pasivos son menos propensos a fallar, lo que los convierte en una opción más confiable a largo plazo (véase la Figura 2.25). Además de su confiabilidad, los disipadores pasivos suelen ser más económicos [49].

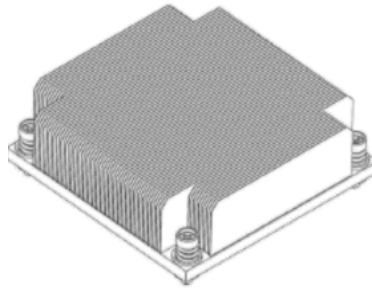


Figura 2.25: Disipador de calor pasivo [49].

- **Activos:** se basa en la disipación de calor mediante convección forzada, técnica utilizada en dispositivos con altos flujos de calor, especialmente en componentes electrónicos. En estos sistemas, se fuerza el paso de un fluido a través del disipador para optimizar la transferencia de calor, lo que permite una mayor eficiencia en la disipación térmica [50]. Estos disipadores están equipados con ventiladores que mejoran el rendimiento al acelerar el proceso de enfriamiento en comparación con los disipadores pasivos, ya que expulsan el calor de manera activa (véase la Figura 2.26). No obstante, debido a sus componentes mecánicos, son más susceptibles a fallos con el tiempo, lo que puede comprometer su rendimiento. Además, suelen ser más costosos que los disipadores pasivos. [49].

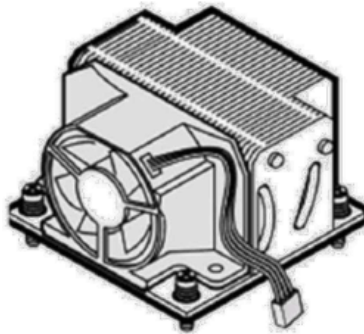


Figura 2.26: Disipador de calor activo [49].

Capítulo 3

3. Elementos para la construcción del prototipo

Este capítulo se divide en dos secciones. **La primera** presenta la descripción de los componentes seleccionados para el desarrollo del sistema de reducción de temperatura, junto con los análisis, pruebas de banco y cálculos realizados para validar el diseño del prototipo. **La segunda** sección detalla los elementos que conforman el sistema de medición de temperatura, así como el análisis y la justificación de los componentes principales seleccionados.

3.1. Componentes del sistema de reducción de temperatura

La Tabla 3.1 presenta los componentes seleccionados que conforman el sistema de reducción de temperatura, mientras que la Tabla 3.2 muestra sus datos técnicos.

Se determina el uso de celdas Peltier modelo TEC1-12706 debido a su fácil disponibilidad en el mercado y su costo accesible. Para establecer la cantidad de celdas necesarias para el sistema de reducción de temperatura, se realiza un análisis del consumo de corriente de una celda Peltier. En este caso, una celda Peltier consume aproximadamente $4.42A$. Posteriormente, con la ec. (3.1), se calcula la potencia eléctrica de una celda, donde P representa la potencia eléctrica en watts (W), V el voltaje de la celda en volts y A la corriente en amperios.

$$P = (12V)(4.42A) = 53.04W \quad (3.1)$$

Considerando que la potencia eléctrica de una celda Peltier es de $53.04W$ y que el diseño del sistema debe ser lo más compacto posible, se opta por utilizar tres celdas Peltier. Además, una de las principales limitantes para incorporar más unidades radica en la necesidad de gestionar eficientemente el consumo de potencia eléctrica. Al conectar las celdas Peltier en paralelo (véase

la Figura 3.1), se calcula el consumo total de potencia eléctrica mediante la siguiente ecuación:

$$P_{\text{total}} = (53.04W)(3) = 159.12W \quad (3.2)$$

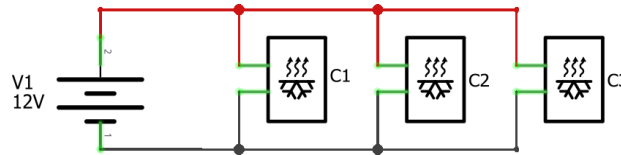


Figura 3.1: Diagrama eléctrico de las celdas Peltier.

Tabla 3.1: Componentes del sistema de reducción de temperatura

Cantidad y nombre de los componentes	
4	Sensor de temperatura DS18B20
3	Termopar tipo K con módulo max6675
30g	Pasta térmica
1	Módulo relé de 1 canal
1	ESP32-WROOM-32
2	Mosfet IRFZ44N
1	Resistencia de $4.7k\Omega$
2	Resistencia de 220Ω
2	Resistencia de $10k\Omega$
1	Convertidor de voltaje EA50-5V
1	Terminal de cuatro líneas con sujetador de tornillo
2m	Cable calibre 22
6m	Cable 14 AWG
3	Disipador con ventilador para el lado caliente de las celdas Peltier
3	Disipador con ventilador para el lado frío de las celdas Peltier
3	Ventilador de 40mmx40mmx10mm para la ventilación forzada
1	Ventilador de 40mmx40mmx10mm para el mezclador de flujos de aire
3	Celda Peltier TEC1-12706
1	Batería de litio Lampeord LiFePO4
1	Batería de ácido plomo

Tabla 3.2: Datos técnicos de elementos importantes

Especificaciones y características	
Sensor DS18B20	
Voltaje de alimentación	3v a 5v
Consumo de corriente	1.5mA
Rango de temperatura	-55°C a 125°C
Interfaz de comunicación	1-Wire
Resolución	12 bits
Termopar K con modulo max6675	
Voltaje de alimentación	3.3V a 5V
Consumo de corriente	1.5mA
Rango de temperatura	-200°C a 1024°C
Interfaz de comunicación	SPI
Resolución	12 bits
Modulo relé de 1 canal	
Voltaje de alimentación	5V
Carga máxima en DC	30V-30A
Batería de litio Lampeord LiFePO4	
Voltaje nominal	12.8V
Energía	192Wh
Capacidad	15Ah
Batería de ácido plomo	
Voltaje nominal	12V
Voltaje en reposo	13.5V a 13.8V
Voltaje de carga	14.4V a 15V
Capacidad	9Ah
Ventilador del disipador del lado caliente	
Voltaje	12V
Potencia eléctrica máxima	2.4W
Consumo de corriente	0.2A
Velocidad máxima	4000 RPM
Diámetro	5.5cm
Ventilador del disipador del lado frío	
Voltaje	12V
Potencia eléctrica máxima	0.84W
Consumo de corriente	0.07A
Velocidad máxima	5600 RPM
Diámetro	3.6cm
Reductor de voltaje	
Voltaje de entrada	10V a 35V
Voltaje de salida	5V
Corriente de salida	10A
Potencia de salida	50W

Dado que se requiere una batería capaz de suministrar una potencia eléctrica de $159.12Wh$ para las celdas Peltier, se selecciona una batería de litio Lampeord LiFePO₄ (véase la Figura 3.2). Esta batería cuenta con una capacidad aproximada de $192Wh$. Además, también se encargará de alimentar cuatro ventiladores: tres destinados a los disipadores del lado frío de las celdas Peltier y uno correspondiente al mezclador de flujos de aire. El consumo total de potencia eléctrica de estos cuatro ventiladores es de aproximadamente $3.36W$, por lo que la demanda total de energía cubierta por la batería de litio Lampeord LiFePO₄ asciende a $162.48W$.



Figura 3.2: Batería de litio Lampeord LiFePO₄.

Para verificar que la batería de litio Lampeord LiFePO₄ puede suministrar la potencia requerida de $162.48W$, se realiza una prueba experimental en la que se mide el consumo de corriente al conectar las tres celdas Peltier y los cuatro ventiladores. En esta prueba, todos los componentes se conectan en paralelo. Inicialmente, la batería se carga hasta alcanzar un voltaje de $13.73V$. Al conectar los dispositivos, se observa una caída de voltaje hasta aproximadamente $12.53V$, con un consumo de corriente de $12.67A$ y una potencia eléctrica total de aproximadamente $152.04W$. Con estos resultados, se concluye que la batería es capaz de suministrar la potencia requerida.

La batería de ácido-plomo (véase la Figura 3.3) suministra energía eléctrica a los sensores de temperatura, al módulo relé, al microcontrolador, a los ventiladores de los disipadores y a los ventiladores de la ventilación forzada.



Figura 3.3: Batería de ácido plomo.

Para validar el uso de tres celdas Peltier en el sistema de reducción de temperatura para la cabina de un vehículo, se llevó a cabo una prueba de banco. El objetivo es analizar el descenso de temperatura al utilizar una y tres celdas Peltier dentro de un volumen de prueba con cierto aislamiento térmico. Para ello, se empleó una hielera de unicel modificada, en la que se realizaron los ajustes necesarios para la instalación del sistema (véase la Figura 3.4).

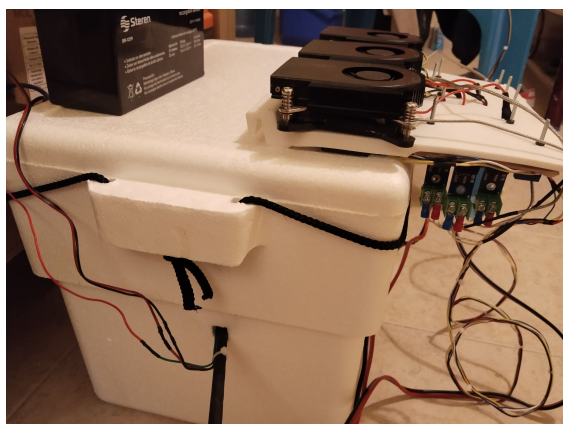


Figura 3.4: Prueba de banco de enfriamiento.

Inicialmente, se activó el sistema de reducción de temperatura utilizando una sola celda Peltier y, posteriormente, se activaron las tres celdas. La prueba se llevó a cabo durante aproximadamente 18 minutos, colocando un sensor de temperatura en el centro de la hielera y otro en la parte externa para medir la temperatura ambiente. En la Figura 3.5, se observa que, al emplear una sola celda Peltier, la temperatura en el interior de la hielera alcanza aproximadamente 23°C . No obstante, al utilizar tres celdas Peltier (véase la Figura 3.6), la temperatura en el interior descien-

de hasta aproximadamente 18°C . Estos resultados indican que el uso de múltiples celdas Peltier mejora la eficiencia en la reducción de temperatura en comparación con una sola celda.

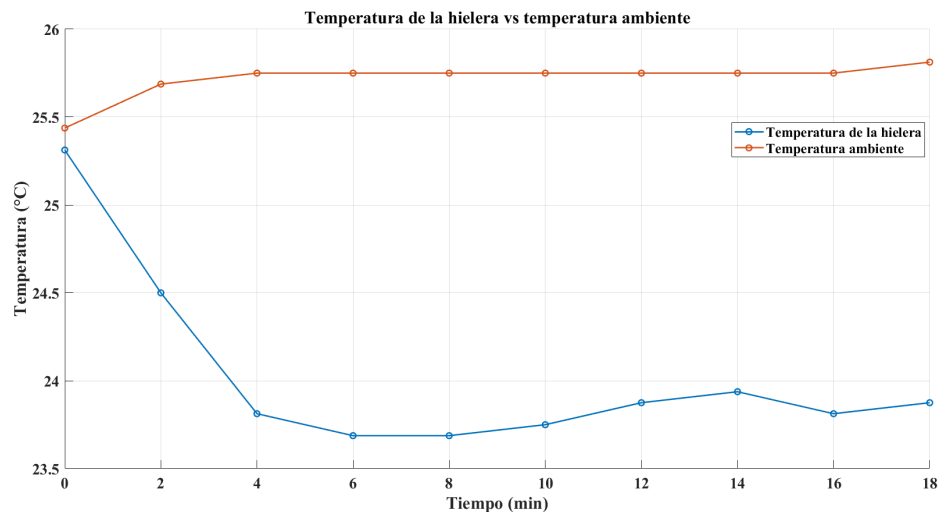


Figura 3.5: Temperatura en el interior de la hielera usando una celda Peltier.

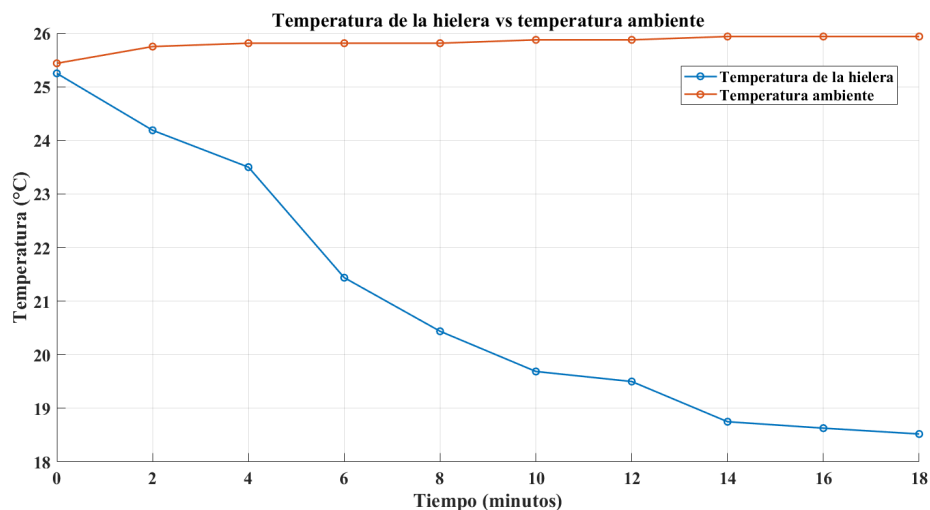


Figura 3.6: Temperatura en el interior de la hielera usando tres celdas Peltier.

Considerando que el volumen de la hielera de unicel utilizada en esta prueba de enfriamiento es de aproximadamente 0.0074375 m^3 , y que el volumen del habitáculo de un vehículo puede variar entre 2.5 m^3 y 3 m^3 , los resultados obtenidos servirán como referencia para estimar el desempeño del sistema de reducción de temperatura en un entorno significativamente mayor. Cabe destacar

que, a diferencia de la hielera, el interior de un vehículo no está completamente aislado del exterior, lo que implica una transferencia de calor más compleja debido a los mecanismos de conducción, convección y radiación. Además, al estar expuesto a la radiación solar, el habitáculo también recibe radiación infrarroja emitida por las superficies internas del vehículo.

Las celdas Peltier funcionan como dispositivos termoeléctricos que extraen calor de su entorno por el lado frío. Por lo tanto, para estimar la reducción de temperatura que podría lograrse en el habitáculo de un vehículo, primero es necesario determinar la cantidad de energía extraída en el experimento con la hielera de unicel. Según la primera ley de la termodinámica, toda transferencia de energía debe considerarse durante un proceso [1].

Para un sistema cerrado, en estado estacionario y con volumen constante, el balance de energía se expresa mediante la siguiente ecuación [1]:

$$E_{ent} - E_{sal} = \Delta U = mc_v \Delta T$$

donde ΔU representa el cambio de energía interna del sistema, m es la masa del aire contenido, c_v es el calor específico a volumen constante, y ΔT es el cambio de temperatura. En este contexto, la energía extraída o el calor removido en el experimento se puede calcular mediante la ec. (3.3):

$$Q = mc_v \Delta T \quad (3.3)$$

Para determinar el valor de m , se considera el flujo de aire dentro de la hielera como un gas ideal. Por lo tanto, su masa se obtiene a partir de la densidad (ρ). Dado que el diferencial de temperatura durante el experimento es de $5^\circ C$, se toma una densidad promedio del aire de $\rho = 1.269 \frac{kg}{m^3}$ (véase la Tabla 3.3). Asimismo, de la misma tabla se obtiene el valor del calor específico del aire $c_v = 1006 \frac{J}{kg \cdot K}$.

Sustituyendo estos valores en la ec. (3.4), se calcula la masa de aire contenida en la hielera:

$$m = \rho V = (1.269 \frac{kg}{m^3})(0.0074375 m^3) = 9.438 \times 10^{-3} kg \quad (3.4)$$

Finalmente, sustituyendo los valores correspondientes en la ec. (3.3), se obtiene que la energía extraída en el interior de la hielera es aproximadamente $Q = 47.473 \text{ J}$. En el caso del habitáculo de un vehículo, cuyo volumen es considerablemente mayor ($V = 3\text{m}^3$), se calcula la masa del aire contenido a una temperatura de 60°C . La masa resultante es $m = 3.177\text{kg}$. Con estos datos, se puede realizar una estimación del diferencial de temperatura que podría alcanzarse utilizando tres celdas Peltier, aplicando la siguiente ecuación:

$$\Delta T = \frac{Q}{mc_v} \quad (3.5)$$

Sustituyendo los valores en la ec. (3.5), se obtiene un diferencial de temperatura estimado en el habitáculo de $\Delta T = 0.0148^\circ\text{C}$. Aunque este valor es relativamente bajo, es importante señalar que el sistema de reducción de temperatura no opera de forma aislada, sino que está complementado con métodos pasivos y activos que mejoran su eficiencia térmica.

Cabe mencionar que este sistema no tiene como finalidad alcanzar una temperatura interior específica, sino lograr una disminución significativa de la temperatura dentro de la cabina del vehículo. Asimismo, los resultados obtenidos deben considerarse como aproximaciones, ya que en el presente análisis únicamente se ha considerado el volumen de aire contenido en el habitáculo. Para obtener una estimación más precisa del comportamiento térmico real, es necesario llevar a cabo un estudio detallado de la carga térmica interna del vehículo, lo cual queda fuera del alcance del presente proyecto.

Tabla 3.3: Propiedades del aire a la presión de 1 atm [1].

Tiem., $T, ^\circ C$	Densidad, $\rho, \frac{kg}{m^3}$	Calor espe- cífico, $c_p, \frac{J}{kg \cdot K}$	Conductivida térmica, $k, \frac{W}{m \cdot K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \frac{m^2}{s^2}$	Viscosidad dinámica, $\mu, \frac{kg}{m \cdot s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \frac{m^2}{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.363×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-6}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177

3.1.1. Diseño del soporte para el sistema de medición de temperatura

Un aspecto fundamental a considerar, es garantizar que el sistema de reducción de temperatura sea lo más compacto posible y minimice la intervención en el espacio de la cabina del vehículo. Esto implica diseñar una solución de fácil instalación que no requiera modificaciones estructurales en el automóvil, como perforaciones o la incorporación de elementos de gran tamaño. Con base en estos criterios, se diseña un soporte que integra todos los componentes del sistema de reducción de temperatura, a excepción de las baterías.

En la Figura 3.7 se observa el modelo CAD del soporte para el sistema de reducción de temperatura, desarrollado en el software SolidWorks, con dimensiones de 21cm de largo, 22.5cm

de ancho y de espesores de 1cm y 0.5cm .

Considerando los criterios previamente establecidos, un aspecto fundamental en la selección de este diseño es la necesidad de disipar eficientemente el calor generado por las celdas Peltier hacia el exterior, evitando su acumulación en la cabina del vehículo. Por esta razón, el sistema se instala en la ventana trasera derecha del automóvil, permitiendo la expulsión del calor generado por las celdas Peltier de manera efectiva.

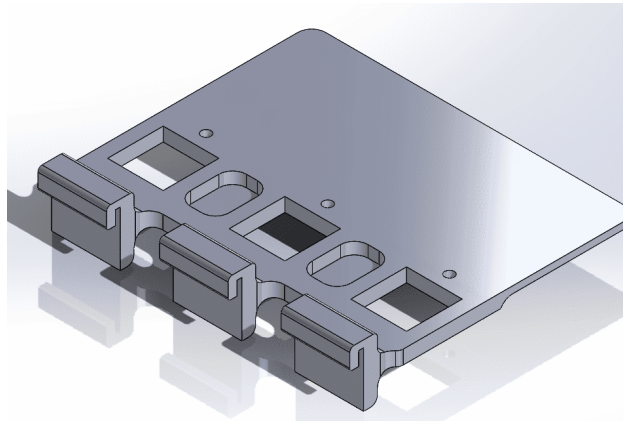


Figura 3.7: Soporte para el sistema de reducción de temperatura.

Para verificar la seguridad del diseño del soporte, se realizó una simulación en SolidWorks con el objetivo de analizar los esfuerzos y deformaciones de la pieza. Dado que esta estará anclada en la ventana del vehículo, estará sometida a esfuerzos de deformación.

Para la simulación, se utiliza el material PLA (véase la Tabla 3.4) con el fin de evaluar las deformaciones del material, ya que este es el único material disponible para la impresión de la pieza en una impresora 3D.

Tabla 3.4: Datos técnicos del material PLA

Propiedades mecánicas	Valor
Módulo elástico	$2.35 \times 10^9 \text{ Pa}$
Coefficiente de Poisson	0.36
Módulo cortante	$869.81 \times 10^6 \text{ Pa}$
Límite elástico	$49.5 \times 10^6 \text{ Pa}$
Resistencia a la rotura	$45.6 \times 10^6 \text{ Pa}$
Alargamiento a la deformación	3.3 %

En la Figura 3.8, se presenta la simulación del soporte sometido a tensión. Las flechas de color morado indican la dirección de la fuerza ejercida hacia abajo por el peso de los componentes que integra el sistema, los cuales tienen una masa total de 2.756kg , lo que equivale a una fuerza de 27.03N .

Por otro lado, las flechas de color anaranjado representan los puntos de fijación de la pieza, simulando su anclaje en la ventana del vehículo. Además, se observa que la máxima tensión obtenida en la simulación fue de aproximadamente 2.4MPa . Considerando que el límite elástico del material es de 49.5MPa , se puede afirmar que este se encuentra dentro de un rango seguro.

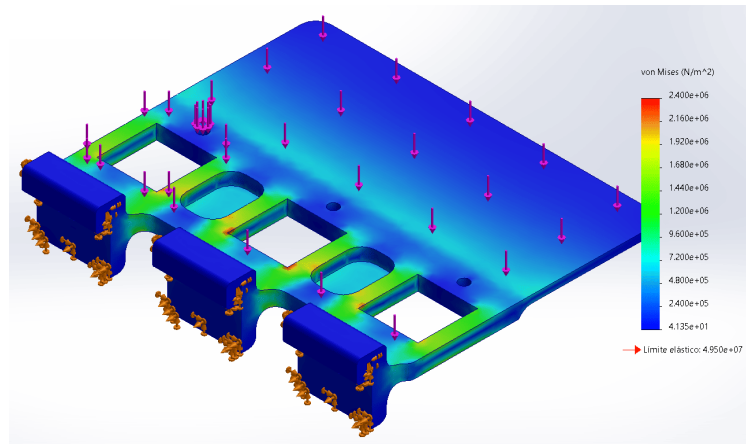


Figura 3.8: Tensiones en la pieza.

Para garantizar que el material sea confiable, se determina el valor del factor de seguridad (n). Este factor de seguridad es la razón entre la resistencia real y la resistencia requerida [51]. Entonces, para obtener el n , se determina con la siguiente ecuación:

$$n = \frac{\text{limite elástico}}{\sigma_{\text{diseño}}} \quad (3.6)$$

Donde $\sigma_{\text{diseño}}$ es el valor del esfuerzo obtenido en la simulación, en este caso, $\sigma_{\text{diseño}} = 2.4\text{MPa}$. Sustituyendo los datos correspondientes en la ec. (3.6), se obtiene un factor de seguridad de $n = 20.625$. Se asume que un factor de seguridad mayor a 1 indica un diseño seguro [51]. Para verificar este resultado, se determina el valor del factor de seguridad a través de la simulación en

SolidWorks (véase la Figura 3.9), donde se observa que el valor mínimo del factor de seguridad es de $n = 20.63$, lo que confirma la fiabilidad del diseño.

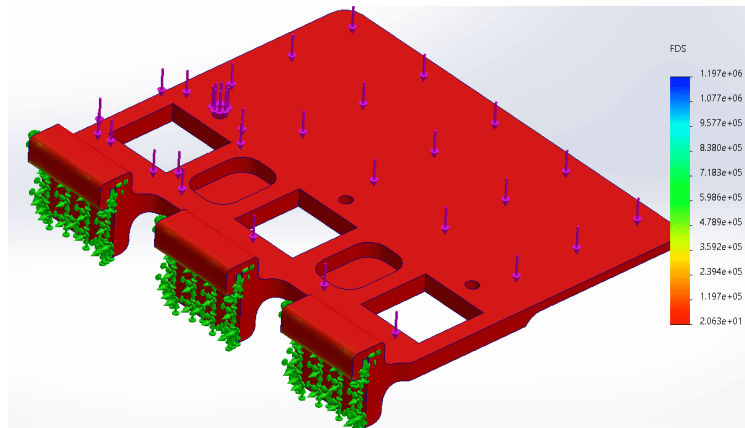


Figura 3.9: Factor de seguridad de $n = 20.63$.

En la Figura 3.10, los resultados muestran la presencia de pequeñas zonas de deformación en el material, alcanzando un valor aproximadamente de $6.336e^{-04}$, lo que indica una deformación del 0.06336 % con respecto a su forma original. Este porcentaje es bajo en comparación con el porcentaje de alargamiento a la deformación del material, que es del 3.3 %. Por lo tanto, se puede concluir que el diseño de la base del sistema es estructuralmente seguro.

No obstante, aun que el soporte sea un sólido, el hecho de estar fabricado en PLA, un material plástico, implica que no se puede garantizar una resistencia absoluta a largo plazo. Debido a las propiedades mecánicas de los plásticos, el material puede estirarse gradualmente hasta presentar deformaciones permanentes si se somete a una carga constante durante un periodo prolongado [51].

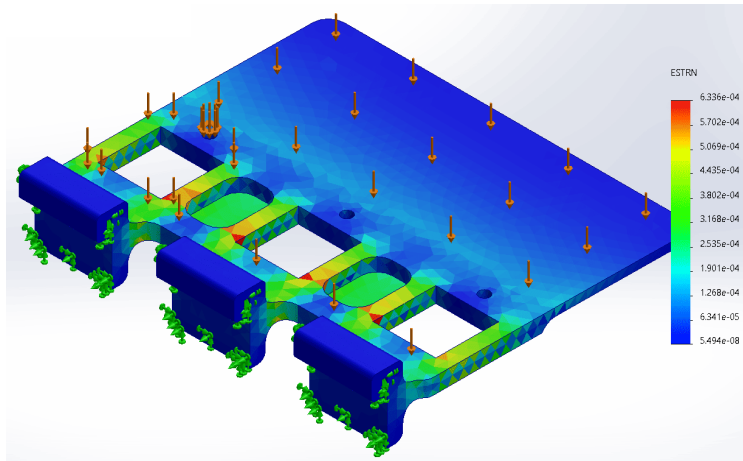
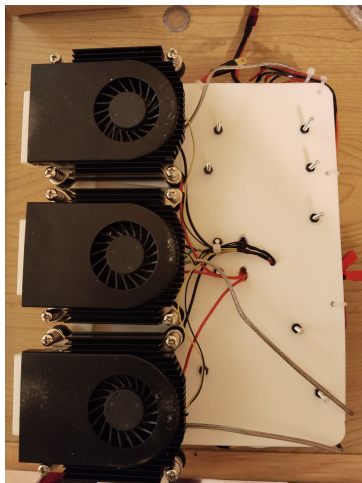
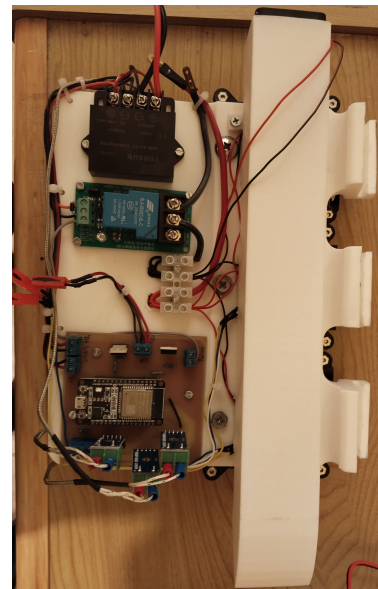


Figura 3.10: Deformaciones en la pieza.

En la Figura 3.11 se presenta el montaje de los componentes del sistema de reducción de temperatura sobre el soporte diseñado.



(a)



(b)

Figura 3.11: Prototipo del sistema de reducción de temperatura, (a) vista superior y (b) vista inferior.

3.2. Componentes del sistema de medición de temperatura

Para llevar a cabo un estudio sobre la distribución de la temperatura en el habitáculo del vehículo, es necesario recopilar y almacenar las mediciones de temperatura en distintos puntos de la cabina. Para ello, se implementa un sistema de medición de temperatura compuesto por nueve sensores de temperatura DS18B20, cables calibre 22 y cinco baterías de litio 18650.

Dado que las mediciones se realizan durante aproximadamente 3 horas y 20 minutos, es fundamental garantizar el suministro de energía necesario para el funcionamiento continuo del sistema. Por esta razón, se seleccionan cinco baterías de litio 18650, cada una con un voltaje de $4.2V$ y una capacidad de $600mAh$. Al estar conectadas en paralelo, la capacidad total es de $3Ah$ a $4.2V$, lo que resulta suficiente para alimentar el sistema de medición de temperatura.

La distribución de los sensores de temperatura en la cabina del vehículo se establece de la siguiente manera:

- Cuatro sensores se ubican en la zona de la cabecera de los asientos con el propósito de evaluar cómo el incremento de temperatura puede afectar la cabeza de los ocupantes.
- Cuatro sensores se colocan por encima de los asientos para analizar la distribución de la temperatura a la altura de las piernas de los ocupantes.
- Un sensor se sitúa en la parte externa del vehículo para medir la temperatura ambiental.

En la Figura 3.12 se observa el sistema de medición de temperatura, mientras que en la Figura 3.13 se muestra la distribución de los sensores en la cabina del vehículo.

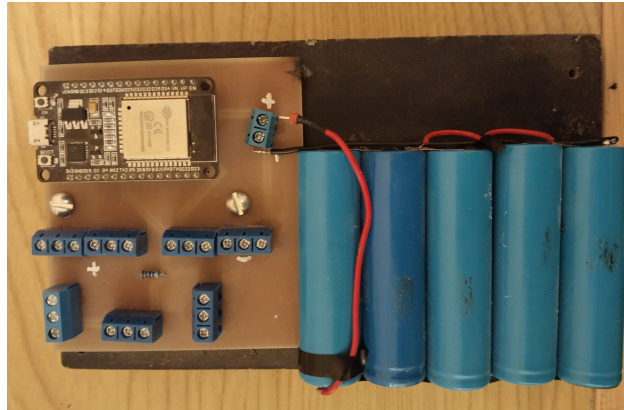
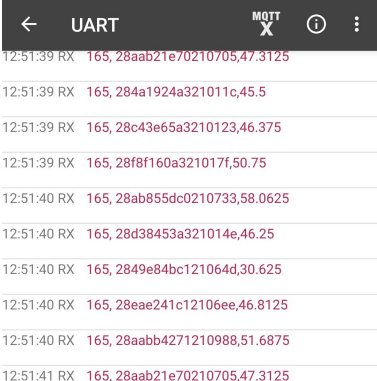


Figura 3.12: Sistema de medición de temperatura.



Figura 3.13: Sistema de medición de temperatura en funcionamiento.

Asimismo, a través de una aplicación móvil, se monitorea la medición de temperatura de cada sensor. En la Figura 3.14 se observa la transmisión de datos vía bluetooth, donde se envía el tiempo transcurrido de la medición, el código de identificación de cada sensor y la temperatura registrada.



Timestamp	Type	Data
12:51:39	RX	165, 28aab21e70210705,47.3125
12:51:39	RX	165, 284a1924a321011c,45.5
12:51:39	RX	165, 28c43e65a3210123,46.375
12:51:39	RX	165, 28f8f160a321017f,50.75
12:51:40	RX	165, 28ab855dc0210733,58.0625
12:51:40	RX	165, 28d38453a321014e,46.25
12:51:40	RX	165, 2849e84bc121064d,30.625
12:51:40	RX	165, 28eae241c12106ee,46.8125
12:51:40	RX	165, 28aabb4271210988,51.6875
12:51:41	RX	165, 28aab21e70210705,47.3125

Figura 3.14: Envío de datos del sistema de medición de temperatura vía bluetooth.

Capítulo 4

4. Esquema de control de temperatura

Este capítulo se divide en tres secciones principales. **En la primera**, se establece un control de histéresis de temperatura con el objetivo de evitar el sobrecalentamiento de las celdas Peltier y optimizar su rendimiento. **La segunda** sección aborda el análisis y los cálculos necesarios para definir los tiempos de trabajo, con el propósito de evitar el estrés térmico de las celdas Peltier debido a una activación prolongada y, al mismo tiempo, prolongar la duración de la batería que les suministra energía. Finalmente, en la **tercera sección**, se lleva a cabo una prueba de banco para evaluar el régimen de trabajo y el desempeño del sistema de reducción de temperatura.

4.1. Control de histéresis de temperatura

Para optimizar el rendimiento de las celdas Peltier, se implementa un control de temperatura basado en histéresis, estableciendo umbrales específicos para su activación y desactivación. Este control se aplica al lado caliente de las celdas, dado que es crucial evitar su sobrecalentamiento y garantizar un funcionamiento eficiente.

Se definen los rangos de temperatura para el control por histéresis basado en las especificaciones de las celdas Peltier:

- Temperatura de desactivación ($T_{apagado} \Rightarrow 70^{\circ}C$): temperatura límite para desactivar a las celdas.
- Temperatura de activación ($T_{encendido} \leq 50^{\circ}C$): temperatura mínima para la activación de las celdas.

La Figura 4.1 muestra un esquema representativo del control por histéresis de temperatura aplicado a las celdas Peltier, para optimizar su rendimiento y prevenir el sobrecalentamiento.

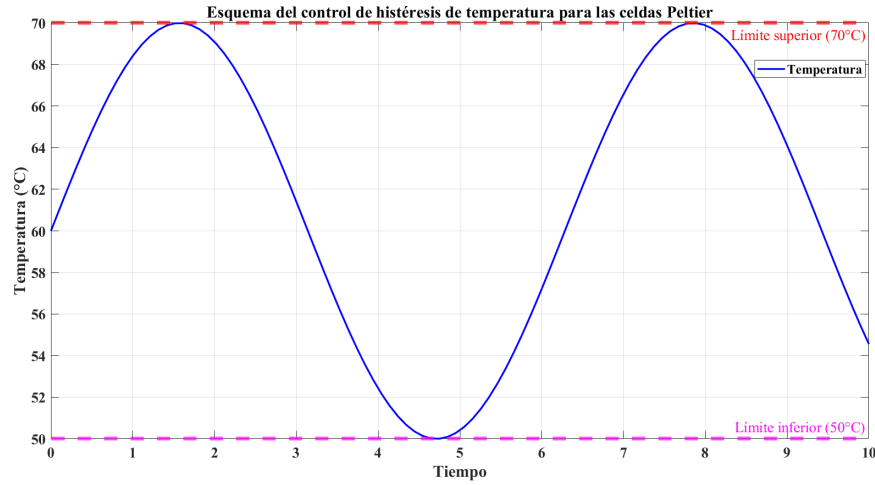


Figura 4.1: Control de histéresis de temperatura.

4.2. Tiempos de trabajo

Se llevó a cabo una prueba del sistema de reducción de temperatura con el control de histéresis a temperatura ambiente. El propósito de esta prueba fue observar el tiempo necesario para alcanzar el límite de temperatura establecido para desactivar las celdas Peltier, así como el tiempo en que estas se volvían a activar conforme al ciclo de trabajo del control de histéresis. Sin embargo, con una temperatura ambiente de aproximadamente 25°C , se observó que, durante 20 minutos de funcionamiento, la temperatura en el lado caliente de las celdas Peltier no alcanzó el límite establecido para su desactivación (véase la Figura 4.2). A partir de este resultado, se realizó una aproximación de la duración de la batería, dado que se considera que las celdas Peltier permanezcan activas de manera continua.

Utilizando la ec. (4.1), se calcula el tiempo de duración de la batería, donde V_b representa el voltaje de la batería (12V), I_b es su capacidad (15Ah), I_c corresponde a la corriente consumida (12.67A) y T_b es el tiempo de duración de la batería en horas.

$$T_b = \frac{V_b I_b}{V_b I_c} \quad (4.1)$$

Sustituyendo los valores en la ec. (4.1), se obtiene que el tiempo de duración de la batería es de aproximadamente 1 hora con 18 minutos. Este cálculo se realiza bajo condiciones ideales, es decir, sin considerar ningún tipo de pérdidas de energía.

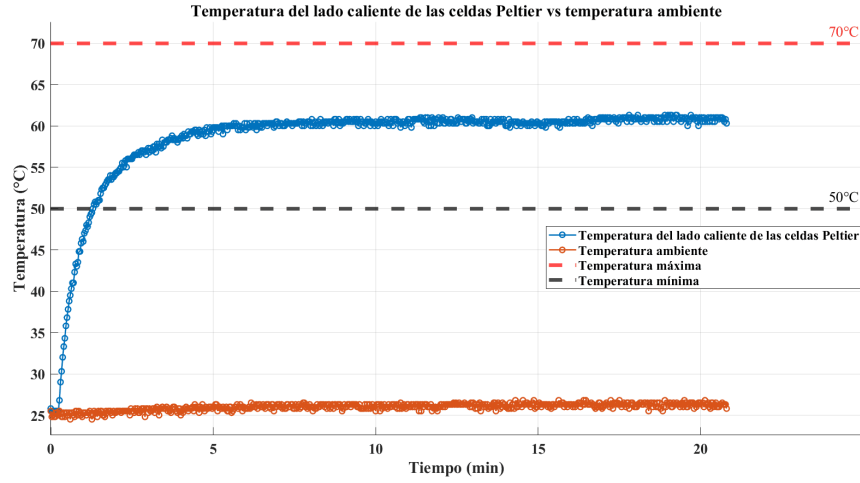


Figura 4.2: Sistema de reducción de temperatura con el control de histéresis a temperatura ambiente.

Por lo tanto, se establece un intervalo de encendido y apagado que optimiza la duración de la batería y, al mismo tiempo, previene el sobrecalentamiento o el estrés de las celdas Peltier debido a una activación prolongada. Este enfoque tiene como objetivo maximizar el rendimiento de las celdas Peltier. En este sentido, se determina que el tiempo de funcionamiento de las celdas Peltier es de 1 minuto y 20 segundos, seguido de un periodo de inactividad de 15 segundos, lo que contribuye a extender la duración de la batería de manera eficiente. Para calcular el tiempo aproximado de duración de la batería, primero se determina el ciclo de trabajo (D) utilizando la ec. (4.2), donde $T_{encendido}$ es el tiempo de activación de las celdas Peltier, equivalente a 80 segundos, y $T_{apagado}$ es el tiempo de inactividad de las celdas Peltier, que es de 15 segundos.

$$D = \frac{T_{encendido}}{T_{encendido} + T_{apagado}} \quad (4.2)$$

Con la ec. (4.2), se obtiene que el ciclo de trabajo $D = 0.84$. A continuación, se procede a calcular el consumo de corriente promedio ($I_{promedio}$) utilizando la ec. (4.3), donde el consumo de corriente

durante la activación de las celdas Peltier es de $12.67A$ y cuando están inactivas es de $0A$.

$$I_{promedio} = DI_c \quad (4.3)$$

Por lo tanto, la corriente promedio $I_{promedio} = 10.64A$. Para calcular el tiempo de duración de la batería, se utiliza la ec. (4.4), donde I_b es la capacidad de la batería ($15Ah$).

$$T_b = \frac{I_b}{I_{promedio}} \quad (4.4)$$

Entonces, se obtiene que el tiempo aproximado de duración de la batería, con estos tiempos de trabajo, es de aproximadamente 1 hora con 41 minutos. Este cálculo se realiza bajo condiciones ideales, sin considerar pérdidas de energía.

4.3. Prueba de banco

En la Figura 4.3 se describe el funcionamiento general del sistema de reducción de temperatura. Este sistema cuenta con tres modos de operación, los cuales pueden ser activados a través de una aplicación móvil. La comunicación entre la aplicación y el sistema se realiza mediante bluetooth, lo que permite un control eficiente y remoto de los parámetros de funcionamiento.

Los modos de funcionamiento son los siguientes:

- Modo 0: Sistema de reducción de temperatura desactivado.
- Modo 1: Sistema de reducción de temperatura en modo extractor de aire y con ventilación forzada.
- Modo 2: Sistema de reducción de temperatura en modo extractor de aire, activación de las celdas Peltier y con ventilación forzada.

Se llevó a cabo una prueba de banco con el objetivo de verificar que el régimen de trabajo del sistema cumple con los parámetros previamente establecidos, incluyendo el control de histéresis y los tiempos de trabajo definidos. Esta prueba permite evaluar el comportamiento del sistema en condiciones controladas y validar su eficiencia en la gestión de temperatura.

En la Figura 4.4 se muestran las temperaturas en el lado caliente de las celdas Peltier. En este caso, el control de histéresis se implementa para evitar el sobrecalentamiento de las celdas Peltier, manteniendo la temperatura en el lado caliente por debajo de los 70°C . Para reactivar las celdas Peltier, la temperatura en el lado caliente debe descender por debajo de los 50°C . Es importante señalar que, en esta prueba, no se alcanzó la temperatura límite, ya que la temperatura ambiente era de aproximadamente 22°C . Sin embargo, este comportamiento puede variar cuando las celdas Peltier están expuestas a temperaturas ambiente superiores a 22°C , como ocurre en la cabina de un vehículo.

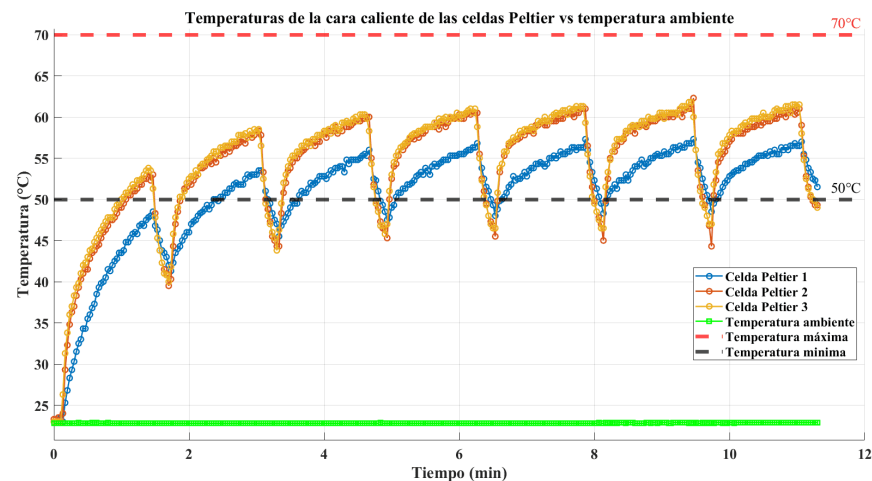


Figura 4.4: Prueba de banco del control de histéresis de temperatura.

En la Figura 4.5 se muestran los tiempos de activación y desactivación de las celdas Peltier, evidenciando que los tiempos establecidos se cumplen correctamente. En el estado *ON*, las celdas Peltier se activan, mientras que en el estado *OFF* se desactivan. Además, el comportamiento de los tiempos de activación y desactivación de las celdas Peltier depende principalmente del control de histéresis de temperatura como de la temperatura ambiente en la que se encuentran las celdas.

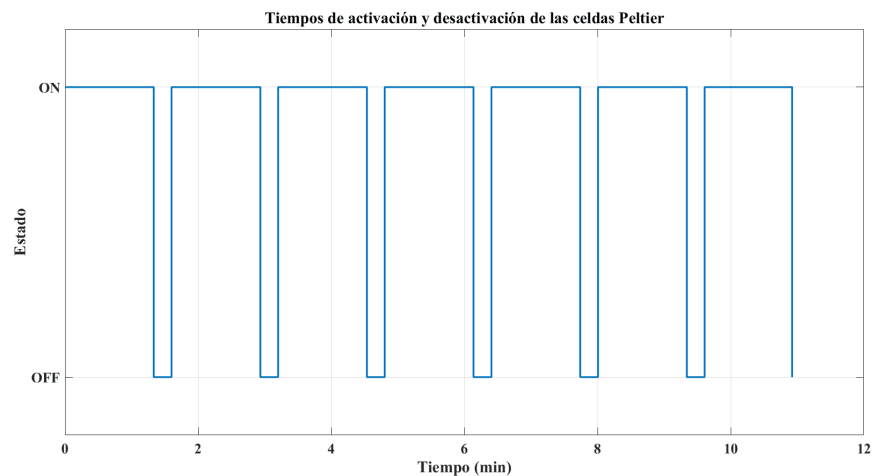


Figura 4.5: Prueba de banco de los tiempos de trabajo

En la Figura 4.6 se muestra el comportamiento de la temperatura promedio en el lado frío generada por las celdas Peltier con respecto a la temperatura ambiente. Considerando que la prueba se realizó a una temperatura ambiente de aproximadamente 22°C , se obtuvo una temperatura mínima de alrededor de 15°C en su lado frío. Además, es importante destacar que la generación de la temperatura fría no solo depende de la potencia eléctrica consumida por las celdas Peltier, sino también de la temperatura ambiente en la que se encuentran, así como de la disipación de calor en la cara caliente de las celdas Peltier.

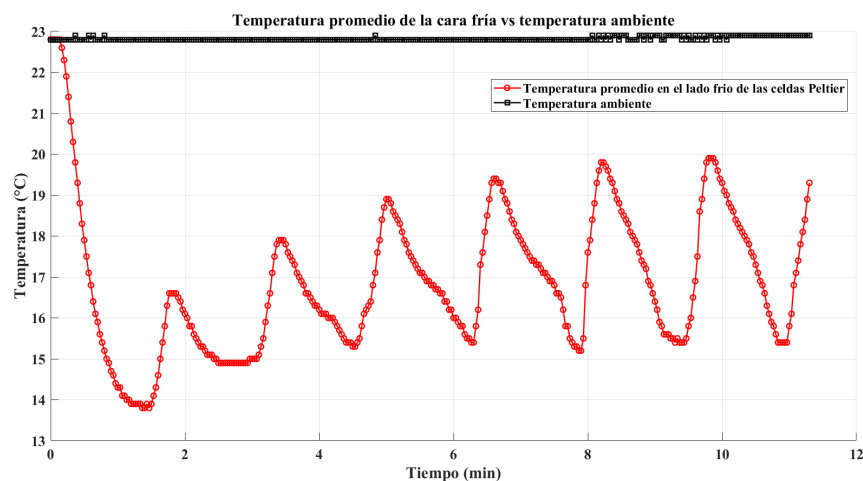


Figura 4.6: Temperatura promedio en el lado frío generada por las celdas Peltier vs temperatura ambiente.

Capítulo 5

5. Diseño de la disipación de calor y frío de las celdas Peltier

En este capítulo, se llevan a cabo diversos escenarios de prueba con el objetivo de evaluar el rendimiento térmico del disipador en el lado caliente de la celda Peltier. Es fundamental priorizar la disipación del calor generado para garantizar el funcionamiento eficiente de la celda sin alcanzar su punto de equilibrio térmico.

Las pruebas consideran tanto el enfriamiento por convección natural como el forzado, mediante simulaciones y cálculos térmicos. En el caso de la convección forzada, se desarrollan dos análisis distintos, en los cuales se estudia el impacto de la temperatura dentro de la cabina del automóvil en el desempeño del disipador de calor. Posteriormente, los resultados obtenidos se analizan y discuten.

Cabe destacar que este proyecto no abarca el diseño específico de los disipadores ni de los ventiladores, ya que dicho aspecto queda fuera del alcance del trabajo. No obstante, debido a la amplia disponibilidad de estos componentes en el mercado, la selección de los disipadores adecuados se basa en los siguientes criterios:

- Garantizar la expulsión del calor generado por las celdas Peltier hacia el exterior de la cabina. Para ello, se requiere de un disipador cuya geometría facilite la disipación lateral del calor y, además, sea compacto para contribuir a un diseño eficiente del sistema de reducción de temperatura.
- Para el lado frío de las celdas Peltier, los disipadores deben ser de dimensiones reducidas, ya que cada celda contará con su propio disipador. Esto permite mantener un diseño compacto y optimizar la recolección de la temperatura de cada celda.
- Priorizar el uso de disipadores de bajo costo para favorecer la viabilidad económica del

sistema.

En la Figura 5.1a, se muestra el disipador destinado al lado caliente de las celdas Peltier, el cual está fabricado con una aleación de aluminio y tiene una capacidad de disipación térmica de $70W$. Por otro lado, en la Figura 5.1b se presenta el disipador correspondiente al lado frío de la celda, también fabricado con aleación de aluminio.

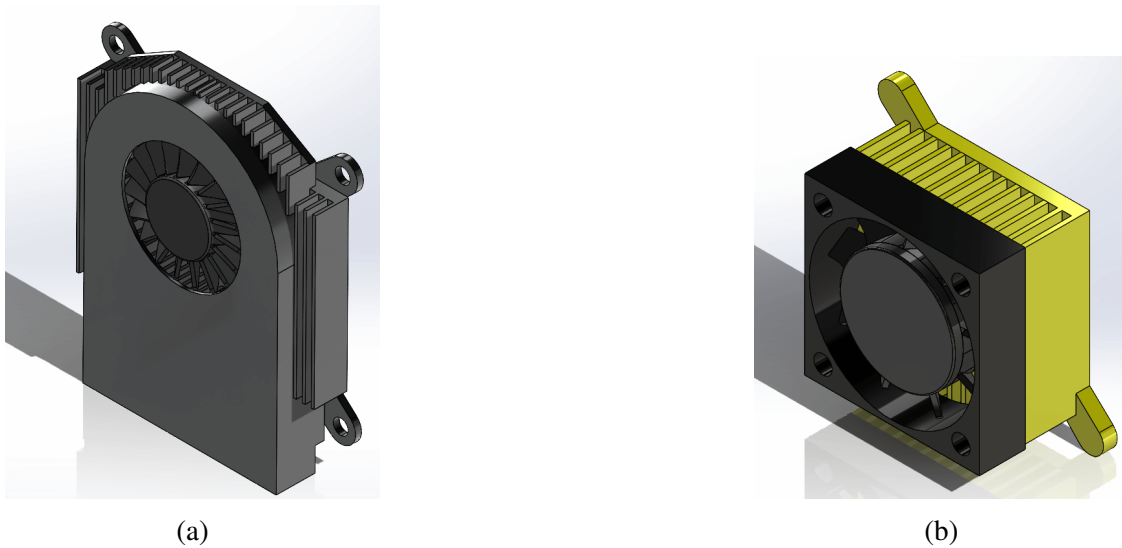


Figura 5.1: (a) Disipador para el lado caliente de la celda Peltier y (b) disipador para el lado frío de la celda Peltier.

5.1. Análisis de enfriamiento por convección natural

El disipador de calor debe evacuar una potencia térmica de $60W$ generada por la celda Peltier, considerando que la temperatura ambiente dentro de la cabina del automóvil es de aproximadamente $60^{\circ}C$. Con base en estos parámetros, se establecen las siguientes suposiciones para los cálculos térmicos:

- Se considera todo el disipador como isotérmico, es decir, a temperatura constante.
- Se evalúa las propiedades del fluido considerando una temperatura promedio y a una presión de 1 atm, en este caso, el fluido presente en el interior del vehículo es el aire.

Para calcular las propiedades térmicas del aire, se considera una temperatura promedio, el cual esta dado por la ec. (5.1). Donde T_s es la temperatura de la superficie, que es de $70^\circ C$ y T_∞ es la temperatura del fluido a $60^\circ C$.

$$T_f = \frac{(T_s + T_\infty)}{2} \quad (5.1)$$

Sustituyendo los datos en la ec. (5.1), se obtiene que la temperatura promedio del fluido es de:

$$T_f = \frac{(65 + 70)}{2} = 65^\circ C \quad (5.2)$$

La temperatura promedio del fluido es de $T_f = 65^\circ C$, se procede a determinar el valor de la conductividad térmica (K) a partir de la Tabla 3.3. Para obtener un valor aproximado de K , se realiza una interpolación de los datos con la siguiente ecuación:

$$y = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1) \quad (5.3)$$

Entonces, la conductividad térmica del aire es de $K = 0.02862 \frac{W}{m \cdot K}$. En el diseño de los disipadores, es fundamental establecer el espacio óptimo entre las aletas (S) para garantizar una transferencia de calor eficiente [1]. Este espacio óptimo se calcula utilizando la ec. (5.4), que permite determinar la distancia ideal entre las aletas, maximizando la disipación térmica y mejorando el desempeño del disipador. Donde L representa largo de las aletas y Ra el número de Rayleigh.

$$S_{opt} = 2.714 \left(\frac{S^3 L}{Ra_s} \right)^{0.25} = 2.714 \left(\frac{L}{Ra_L^{0.25}} \right) \quad (5.4)$$

En este análisis, se considera que el disipador opera bajo un proceso isotérmico, es decir, la temperatura de su superficie permanece constante en el tiempo ($T_s = constante$). Además, se asume que el diseño del disipador es óptimo, lo que implica que el espacio entre las aletas corresponde al espacio ideal ($S = S_{opt} = 0.23cm$). Bajo estas condiciones, el valor del número de Nusselt que esta en función del espacio óptimo entre las aletas del disipador de calor, se realiza

utilizando la siguiente ecuación:

$$N_u = \frac{hS_{opt}}{K} = 1.307 \quad (5.5)$$

Donde h representa el coeficiente de transferencia de calor por convección natural y K es la conductividad térmica. Entonces, para encontrar el coeficiente de transferencia de calor por convección natural, despejamos h de la ec. (5.5), y se obtiene la siguiente ecuación:

$$h = \frac{N_u K}{S_{opt}} \quad (5.6)$$

Sustituyendo los datos en la ec. (5.6), se obtiene que el coeficiente de transferencia de calor por convección natural es $h = 16.26363 \frac{W}{m^2 \cdot K}$. Con este valor, se procede a realizar la simulación en SolidWorks para analizar la distribución de calor en el disipador, verificando su desempeño térmico considerando un enfriamiento por convección natural.

Para la simulación, se consideran los siguientes parámetros:

- Material del disipador: Aleación de aluminio 1350, con una conductividad térmica de $230 \frac{W}{m \cdot K}$.
- Potencia calorífica de la celda Peltier de $60W$.
- Coeficiente de transferencia de calor por convección natural $h = 16.26363 \frac{W}{m^2 \cdot K}$.

En la Figura 5.2, el disipador de calor presenta una geometría en su parte inferior, diseñada específicamente para colocar la celda Peltier. Es en esta zona donde la parte caliente de la celda Peltier tiene contacto con la base del disipador. Durante la simulación, se selecciona la cara de la base del disipador, que será la encargada de conducir la potencia calorífica generada por la celda Peltier hacia el resto del disipador, permitiendo una distribución efectiva del calor a lo largo de las aletas.

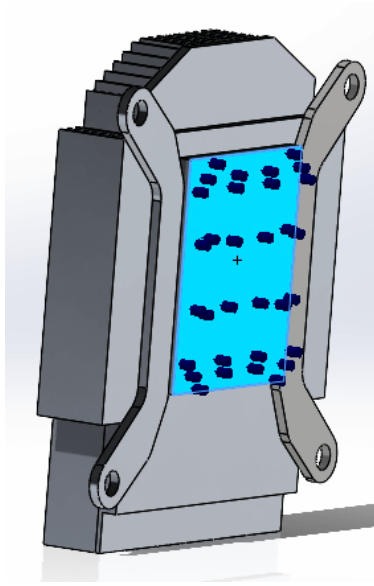


Figura 5.2: Distribución de la potencia calorífica de la celda Peltier en la base del disipador.

En la Figura 5.3, para la simulación, se seleccionan todas las superficies del disipador de calor que están expuestas a la transferencia de calor por convección natural. Estas superficies son cruciales para el análisis, ya que representan las áreas donde el calor se disipa hacia el entorno a través del fluido (aire) en la cabina del vehículo.

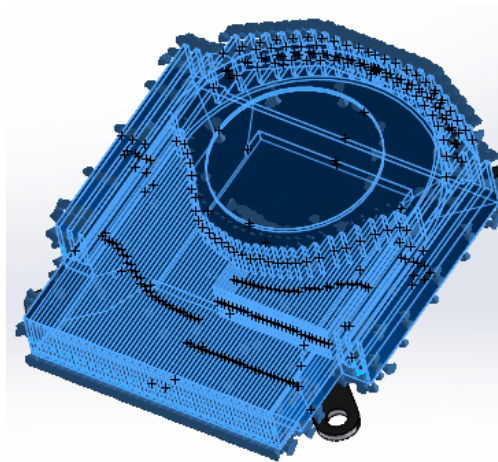


Figura 5.3: Distribución del coeficiente de transferencia de calor por convección natural en las superficies del disipador de calor.

En la Figura 5.4, se observa la distribución de la temperatura disipador, alcanzando una temperatura máxima de 123.4°C .

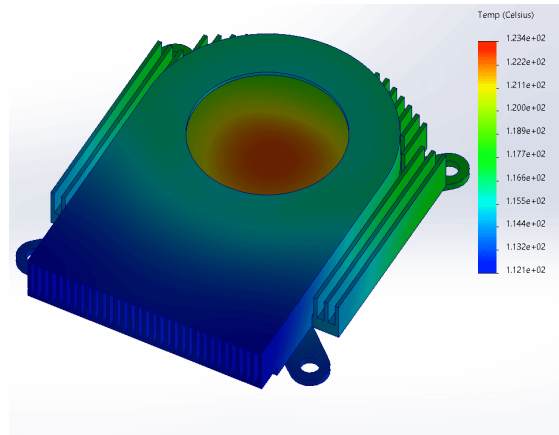


Figura 5.4: Simulación de enfriamiento por convección natural.

Con base en estos resultados, se puede concluir que, para optimizar el rendimiento en la disipación de calor, es necesario la incorporación de un ventilador que apoye en la evacuación de la potencia térmica generada por la celda Peltier.

5.2. Análisis de enfriamiento por convección forzada

Se evalúa si la velocidad del ventilador incluido por defecto en el disipador es suficiente para garantizar un enfriamiento de la potencia calorífica de la celda Peltier. Además, se analiza el impacto de la temperatura dentro de la cabina del vehículo en el rendimiento del disipador de calor. Para ello, se plantean los siguientes casos de análisis:

- Caso 1: Análisis considerando una temperatura en la cabina de 60°C .
- Caso 2: Análisis considerando una temperatura en la cabina de 50°C .

En la Figura 5.5 se presenta el modelo CAD del ventilador, el cual esta acoplado al disipador de calor.

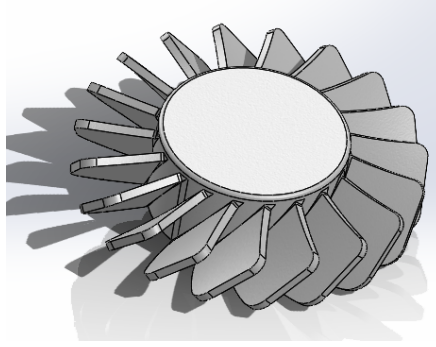


Figura 5.5: Modelo CAD del ventilador.

Para determinar la velocidad máxima del ventilador seleccionado en unidades de $\frac{m}{s}$, primero es necesario calcular la velocidad angular (ω), y posteriormente, la velocidad lineal (V). Las expresiones para ω y V se definen de la siguiente manera [52]:

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad \text{rad/s} \quad (5.7)$$

$$V = \frac{dR}{dt} \quad \text{m/s} \quad (5.8)$$

Entonces, la velocidad angular del ventilador es:

$$\omega = \frac{(RPM)(2\pi)}{60_s} = \frac{(4000RPM)(2\pi)}{60_s} = 418.87 \text{ rad/s} \quad (5.9)$$

La velocidad en un punto específico de un cuerpo que gira alrededor de un eje fijo, se expresa como:

$$V = (\omega)(r) \quad (5.10)$$

Donde r es el radio del ventilador. Al sustituir los valores correspondientes en la ec. (5.10), se obtiene que la velocidad máxima del ventilador en unidades de m/s , es $V = 11.518 m/s$.

5.2.1. Caso 1

En este análisis, se evalúa el rendimiento térmico del disipador en condiciones reales dentro de la cabina del vehículo, donde la temperatura máxima alcanza aproximadamente $60^{\circ}C$. Para ello, se toman en cuenta los siguientes criterios:

- La velocidad del ventilador es $V = 11.518m/s$.
- El disipador debe evacuar una potencia calorífica de $60W$.
- La temperatura máxima permitida en la base del disipador no debe superar $70^{\circ}C$.
- Se asume que toda la superficie del disipador es isotérmica.
- El entorno se considera en un estado estacionario en el que no hay cambios de temperatura con respecto al tiempo.
- El aire se trata como un gas ideal a una presión de 1 atm.

Se calculan las propiedades térmicas del fluido, que en este caso corresponde al aire presente en la cabina del vehículo a una presión de 1 atm. Utilizando la ec. (5.1), se determina que la temperatura promedio del fluido es de $T_f = 65^{\circ}C$. Obteniendo este dato, se procede a calcular los valores del número de Prandtl (Pr), la viscosidad cinemática (ν), y la conductividad térmica (K). Estos parámetros se obtendrán mediante una interpolación usando la ec. (5.3) y los datos de la Tabla 3.3. Entonces, el número de Prandtl es $Pr = 0.7185$, la viscosidad cinemática $\nu = 1.9455 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$, y la conductividad térmica del fluido es de $K = 0.028445 \frac{W}{m \cdot K}$.

En un análisis de ingeniería, se considera que el valor crítico del número de Reynolds es $Re_{cr} = 5 \times 10^5$ [1]. Por lo tanto, se asume que el número de Reynolds en este análisis es menor que el valor crítico ($Re < Re_{cr}$), lo que indica que el flujo dentro de la cabina del automóvil puede clasificarse como laminar. Además, debe cumplirse que $Pr > 0.6$.

Entonces, considerando un flujo laminar, el número de Nusselt se expresa como:

$$Nu = \frac{hL}{K} = 0.664Re_e^{0.5}Pr^{\frac{1}{3}} \quad (5.11)$$

Para encontrar el valor del R_e , se sustituyen los valores de la velocidad del ventilador (V), la longitud característica por donde pasa el flujo de aire ($L_c = 0.012m$) y la viscosidad cinemática (ν) en la ec. (5.12).

$$R_e = \frac{VL_c}{\nu} \quad (5.12)$$

El número de Reynolds obtenido es de $R_e = 7.104 \times 10^3$, lo que afirma la suposición de un flujo laminar en la cabina del vehículo ($R_e < R_{e_{cr}}$) [1]. Para determinar el número de Nusselt, se sustituyen los valor de R_e y P_r en la ec. (5.11), obtiene un valor de $N_u = 50.126$. Posteriormente, para obtener el coeficiente de transferencia de calor por convección forzada, se sustituye el valor de N_u en la siguiente ecuación:

$$h = \frac{N_u K}{L_c} \quad (5.13)$$

El valor del coeficiente de transferencia de calor por convección forzada es $h = 118.82 \frac{W}{m^2 K}$. De acuerdo con la teoría, un incremento en este coeficiente indica una distribución térmica más rápida en el medio [1].

Sin embargo, aunque el disipador tiene una capacidad de evacuación de potencia calorífica de $70W$, según sus especificaciones técnicas, este valor se establece bajo condiciones de temperatura ambiente relativamente bajas. En este caso, el disipador esta expuesto a una temperatura extrema de aproximadamente $60^\circ C$, por lo que es necesario recalcular la potencia térmica que será capaz de disipar en estas condiciones. Para ello, se emplea la ec. (5.14), donde h es coeficiente de transferencia de calor por convección forzada, A_s es el área superficial de transferencia de calor, T_s es la temperatura de la superficie y T_∞ es la temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie [1].

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s T_s - T_\infty \quad W \quad (5.14)$$

No obstante, es necesario determinar las áreas efectivas del disipador (A_s). Considerando que el diseño del disipador presenta una geometría irregular, se procede a calcular cada área de manera independiente, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Área de la base principal y secundaria.
- Área de las aletas.

Para calcular el área de la base principal del disipador, se toman en cuenta tanto la superficie frontal como la posterior. En la Figura 5.6, se puede observar cómo estas superficies están en contacto directo con el aire y forman parte integral de la disipación térmica.



Figura 5.6: Área de la base principal del disipador de calor, (a) vista superior y (b) vista inferior.

En el lado frontal de la base principal (véase la Figura 5.6a), se identifica un diseño compuesto por seis aletas del mismo tamaño, una altura de 1.2cm, largo de 5.5cm y un espesor de 0.1cm. Así mismo, tiene diecinueve aletas de diferentes longitudes pero con el mismo espesor y altura que las seis anteriores. Las longitudes de las diecinueve aletas son las siguientes:

- Aletas 1 y 19: $L = 2.35$ cm.
- Aletas 2 y 18: $L = 1.78$ cm.
- Aletas 3 y 17: $L = 1.35$ cm.
- Aletas 4 y 16: $L = 1$ cm.
- Aletas 5 y 15: $L = 0.8$ cm.
- Aletas 6 y 14: $L = 0.65$ cm.
- Aletas 7 y 13: $L = 0.5$ cm.
- Aletas 8 y 12: $L = 0.4$ cm.
- Aletas 9, 10 y 11: $L = 0.36$ cm.

Para calcular el área de las seis aletas, se utiliza la siguiente formula:

$$A_{aletas} = (2)(altura)(largo) \quad (5.15)$$

Sustituyendo los datos en la ec. (5.15), el área total por las seis aletas es:

$$A_{6_{aletas}} = (2)(0.012m)(0.055m) = (0.00132m^2)(6) = 0.00792m^2 \quad (5.16)$$

Para calcular el área de las diecinueve aletas, se utiliza la ec. (5.15). Entonces, se obtienen las siguientes áreas de las aletas:

- Aletas 1 y 19: $A = 0.001128 m^2$.
- Aletas 2 y 18: $A = 0.0008544 m^2$.
- Aletas 3 y 17: $A = 0.000648 m^2$.
- Aletas 4 y 16: $A = 0.00048 m^2$.
- Aletas 5 y 15: $A = 0.000384 m^2$.
- Aletas 6 y 14: $A = 0.000312 m^2$.
- Aletas 7 y 13: $A = 0.00024 m^2$.
- Aletas 8 y 12: $A = 0.000192 m^2$.
- Aletas 9, 10 y 11: $A = 0.0002592 m^2$.
- $A_{19_{aletas}} = 4.4974 \times 10^{-3} m^2$

Entonces, el área total de las aletas de la base principal en el lado frontal es de:

$$A_{aletas_{principal}} = A_{6_{aletas}} + A_{19_{aletas}} = 0.0124174m^2 \quad (5.17)$$

Para el cálculo del área de la base principal, dado que presenta geometrías distintas, se descompone en secciones y se evalúa de forma independiente. Como resultado, se obtiene un área total de la base principal de $A_{b1} = 12.848 \times 10^{-3} m^2$.

El dissipador tiene una geometría para expulsar el flujo de aire caliente de forma horizontal, lo que definimos como base secundaria. Además cuenta con diecinueve aletas. Para determinar el área total de estas aletas, se emplea la ec. (5.15), obteniendo un valor de $A_{aletas_{secundaria}} = 0.0127648m^2$. Asimismo, dado que la base secundaria presenta geometrías distintas, su área de calcula de manera independiente, obteniendo un área total de $A_{b2} = 4.745 \times 10^{-3} m^2$.

Entonces, el área total de toda la geometría del dissipador considerando las superficies y

aletas, es de:

$$A_{Total} = A_{b1} + A_{aletas_{principal}} + A_{b2} + A_{aletas_{secundaria}} \quad (5.18)$$

$$A_{Total} = 0.0428m^2 \quad (5.19)$$

Sustituyendo los valores correspondientes en la ec. (5.14), se obtiene que la potencia calorífica que puede evacuar el disipador, cuando esta expuesto a una temperatura de $60^{\circ}C$, es de aproximadamente $\dot{Q} = 61.04W$.

Dado que la potencia especificada en sus datos técnicos es de $70W$, se concluye que el disipador aun es capaz de operar bajo estas condiciones. Para validar estos resultados, se realiza una simulación en SolidWorks, con el propósito de confirmar el comportamiento teórico y evaluar la distribución de temperatura en el disipador.

En la Figura 5.7, se observar que la temperatura máxima del disipador alcanza aproximadamente $71.15^{\circ}C$. A pesar de contar con un enfriamiento por convección forzada, se evidencia que las altas temperaturas dentro de la cabina del vehículo afectan el rendimiento del disipador de calor. Además, considerando que la temperatura límite en el lado caliente de las celdas Peltier comerciales se encuentra entre $70^{\circ}C$ y $75^{\circ}C$, los resultados indican que, aunque la temperatura ambiente en la cabina es de $60^{\circ}C$, el disipador logra mantener una temperatura cercana al límite operativo permitido para el correcto funcionamiento de las celdas Peltier.

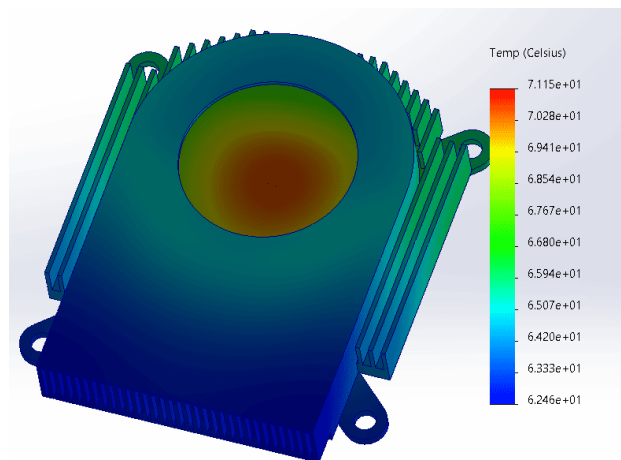


Figura 5.7: Temperatura máxima de $71.15^{\circ}C$ en la base del disipador.

5.2.2. Caso 2

En este análisis, se aplican los mismos criterios establecidos en el *Caso 1*, sin embargo, en esta estudio, se considera que la temperatura de la cabina del vehículo es de $50^{\circ}C$. A partir de esta condición, se determina la temperatura promedio del fluido utilizando la ec. (5.1), obteniendo un valor de $T_f = 60^{\circ}C$. Con este dato, se calcula nuevamente los valores del número de Prandtl (Pr), la viscosidad cinemática (ν), y la conductividad térmica (K) de la Tabla 3.3. Los valores resultantes son: número de Prandtl $Pr = 0.7202$, viscosidad cinemática $\nu = 1.896 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$, y conductividad térmica del fluido $K = 0.02808 \frac{W}{m \cdot k}$.

Para determinar nuevamente el valor del número de Reynolds (Re), se sustituyen los valores correspondientes en la ec. (5.12), obteniendo un resultado de $Re = 7.289 \times 10^3$. Del mismo modo, para calcular el número de Nusselt (N_u), se sustituyen los valores correspondientes en la ec. (5.11), obteniendo un valor del $N_u = 40.827$. Finalmente, el coeficiente de convección forzada se determina al sustituir los valores en la ec. (5.13), resultando en $h = 95.5 \frac{W}{m^2 k}$.

En la Figura 5.8, se observa que una reducción de la temperatura en la cabina del vehículo, tiene un efecto positivo en el rendimiento térmico del disipador, logrando alcanzar una temperatura máxima de $66^{\circ}C$. Bajo estas condiciones, el disipador es capaz de evacuar una potencia calorífica de $89.92W$.

Con base en estos resultados, donde se considera el enfriamiento por convección forzada, se observa que el disipador es capaz de evacuar el calor generado por la celda Peltier, permitiéndole operar cerca de su límite establecido. No obstante, la alta temperatura en el habitáculo del vehículo sigue representando un desafío considerable para el sistema de reducción de temperatura.

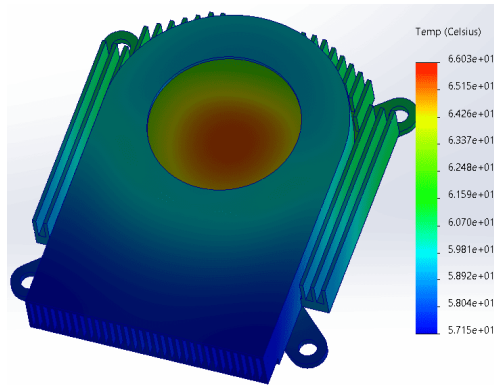


Figura 5.8: Temperatura máxima de 66°C en la base del disipador.

5.3. Sistema de recolección de temperatura fría

En la Figura 5.9 se muestra el modelo CAD del ensamblaje final, el cual incluye la celda Peltier junto con los disipadores y sus respectivos ventiladores. Este diseño refleja la integración de los componentes seleccionados para un desempeño eficiente de las celdas Peltier.

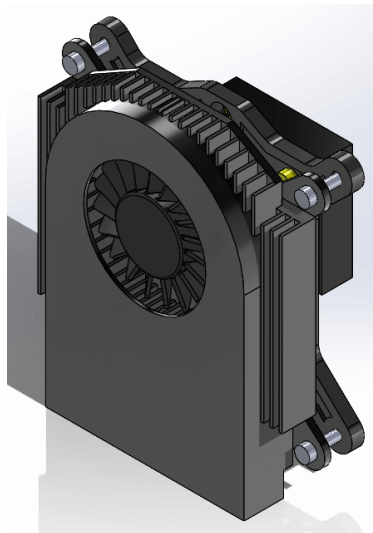


Figura 5.9: Vista isométrica.

Considerando que el sistema de reducción su ubicación es en la parte superior trasera de la cabina, anclado a la ventana derecha mediante un soporte, es necesario implementar un método eficiente para recolectar el aire frío generado por las celdas Peltier. Debido al diseño y la ubicación

del sistema, es necesario redirigir el flujo de aire frío hacia el centro de la cabina para poder distribuir dicha temperatura.

En la Figura 5.10 se muestra una pieza diseñada no solo para redirigir el flujo de aire frío generado por las celdas Peltier, sino también para funcionar como un mezclador de flujos. Su geometría incluye cuatro entradas de aire y una salida. De estas entradas, tres están destinadas al aire frío producido por las celdas Peltier, mientras que la cuarta permite la entrada del aire de la cabina, que esta a la temperatura ambiente de la misma. Gracias a la geometría de esta pieza, permitirá un intercambio de calor entre los flujos de aire a distintas temperaturas, de manera que el aire mezclado sale por la única salida de la pieza.

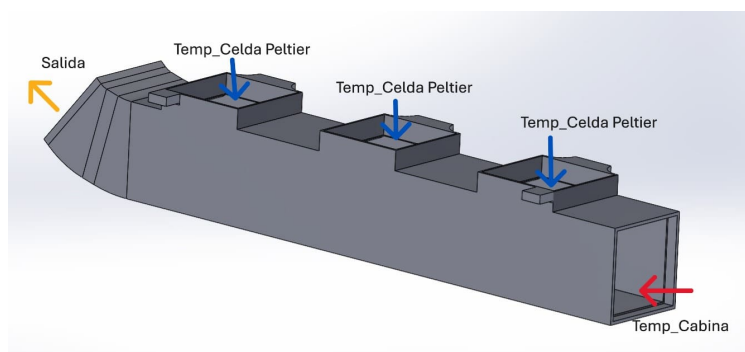
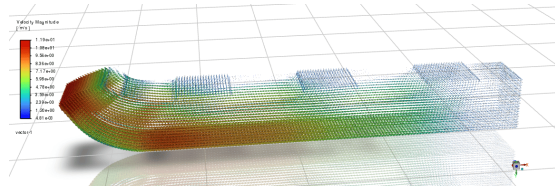
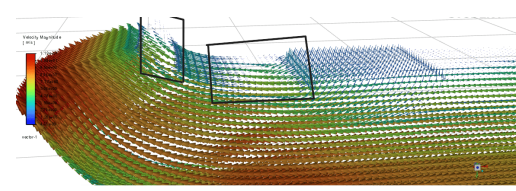


Figura 5.10: Modelo CAD del mezclador y redireccionador de flujo de aire.

El diseño final del mezclador y redireccionador de flujo de aire se desarrolló a partir de simulaciones realizadas en Ansys Fluent utilizando la versión Student. En la Figura 5.11a se presenta la simulación del comportamiento del flujo de aire dentro de la geometría de la pieza. Sin embargo, en la salida se observó un redireccionamiento del flujo, como se aprecia en la Figura 5.11b. Ante este resultado, se procedió a modificar el ángulo de salida de la pieza, con el objetivo de diseñar una curva más suave que elimine el redireccionamiento indeseado del flujo de aire. Esta mejora busca minimizar pérdidas en la salida y evitar la generación de turbulencias.



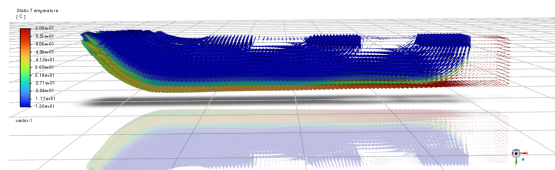
(a)



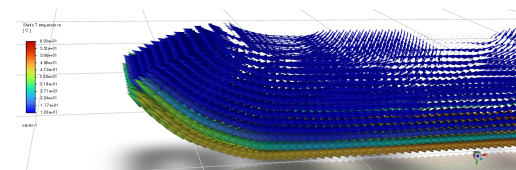
(b)

Figura 5.11: (a) Comportamiento de los flujos de aire en el interior del mezclador y (b) flujo con redireccionamiento en la salida.

En la Figura 5.12a se observa, mediante simulación, que el comportamiento del flujo de aire dentro de la geometría del direccionador y mezclador ha mejorado significativamente. En la salida de la pieza ya no se presenta el redireccionamiento del flujo (véase Figura 5.12b). Además, en la Figura 5.12a se pueden distinguir claramente la entrada del flujo de aire caliente y las entradas de los flujos de aire frío, lo que demuestra la eficacia del diseño en el manejo de los diferentes flujos.



(a)



(b)

Figura 5.12: Optimización del mezclador de flujos de aire, (a) comportamiento de los flujos de aire en el interior del mezclador y (b) flujo sin redireccionamiento en la salida.

Las condiciones establecidas para esta simulación en Ansys Fluent fueron las siguientes:

- Tipo de flujo: Laminar.
- Temperatura máxima del flujo frío generado por las celdas Peltier (entrada): $15^{\circ}C$.
- Temperatura del flujo de aire de la cabina (entrada): $60^{\circ}C$.
- Velocidad de los flujos de entrada: 0.5 m/s .

En la Figura 5.13 se observa que la temperatura máxima en la salida de la pieza se encuentra en un rango de $31^{\circ}C$ a $39^{\circ}C$, predominando un mayor flujo de aire a temperatura fría.

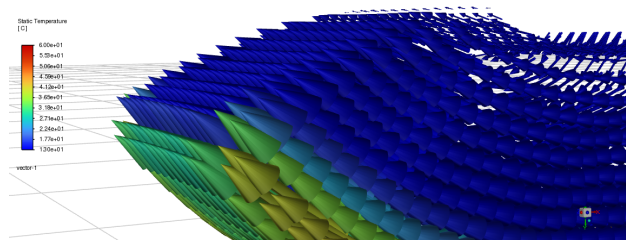


Figura 5.13: Temperatura máxima y mínima a la salida del mezclador.

Este resultado destaca la utilidad de las simulaciones realizadas con Ansys Fluent para analizar y validar si el diseño propuesto es óptimo. Estas herramientas permiten identificar áreas de mejora y rediseñar las piezas antes de su fabricación. Para garantizar resultados precisos, es fundamental emplear una malla de calidad, definir correctamente las condiciones de frontera y basarse en datos reales durante la simulación.

Capítulo 6

6. Pruebas experimentales y resultados

El período de pruebas se llevó a cabo del 16 de enero de 2025 al 24 de febrero de 2025 en las instalaciones del Laboratorio de Mecánica Automotriz de la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Para las pruebas, se utilizó un vehículo Nissan Almera color beige (véase la Figura 6.1). Es importante señalar que, durante las mediciones de temperatura, los sensores presentaron ciertas variaciones debido a la influencia de factores externos, como la velocidad y temperatura del viento, así como la presencia de nubes, las cuales pueden bloquear momentáneamente la radiación solar y, por tanto, afectar las lecturas. Por esta razón, el criterio establecido para las pruebas, fue considerar únicamente los días soleados. En los días con una presencia excesiva de viento o nubes, las pruebas no fueron consideradas válidas y se repitieron bajo condiciones más estables.



Figura 6.1: Vehículo de prueba Nissan Almera.

Por otro lado, este sistema se diseña exclusivamente para reducir la temperatura en el habitáculo, mediante la integración de métodos pasivos y activos. Se considera que el vehículo se encuentra estacionado y expuesto a la radiación solar, sin ocupantes en su interior. No se trata de un sistema de climatización, ya que no se definió una temperatura objetivo a alcanzar en el interior, ni se consideró la humedad relativa dentro de la cabina. Asimismo, no se realizó un estudio de la

carga térmica del habitáculo en función de su volumen, ni se tomaron en cuenta las cargas térmicas generadas por los ocupantes. Estos parámetros son fundamentales para el diseño de sistemas de climatización [53].

6.1. Procedimiento de las pruebas experimentales

Prueba 1: Medición de la temperatura en la cabina del vehículo.

Esta medición corresponde a la tercera semana del mes de enero, considerando que durante ese periodo aún se presentan condiciones térmicas frías en el ambiente. La medición se lleva entre las 11:00 a.m. y la 1:55 p.m. En la Figura 6.2 se presentan los valores registrados por los sensores de temperatura en comparación con la temperatura ambiente.

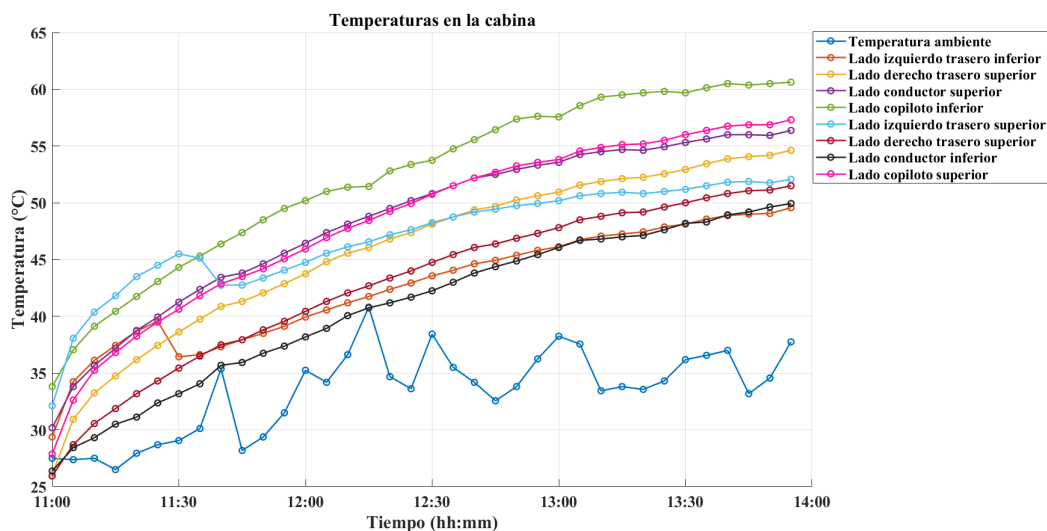


Figura 6.2: Temperaturas en la cabina con respecto a la ambiental.

En la Figura 6.3 se muestra la temperatura media de la cabina en relación con la temperatura media ambiental. Se observa que la temperatura media máxima en la cabina alcanza un valor de 54°C a la 1:55 p.m.

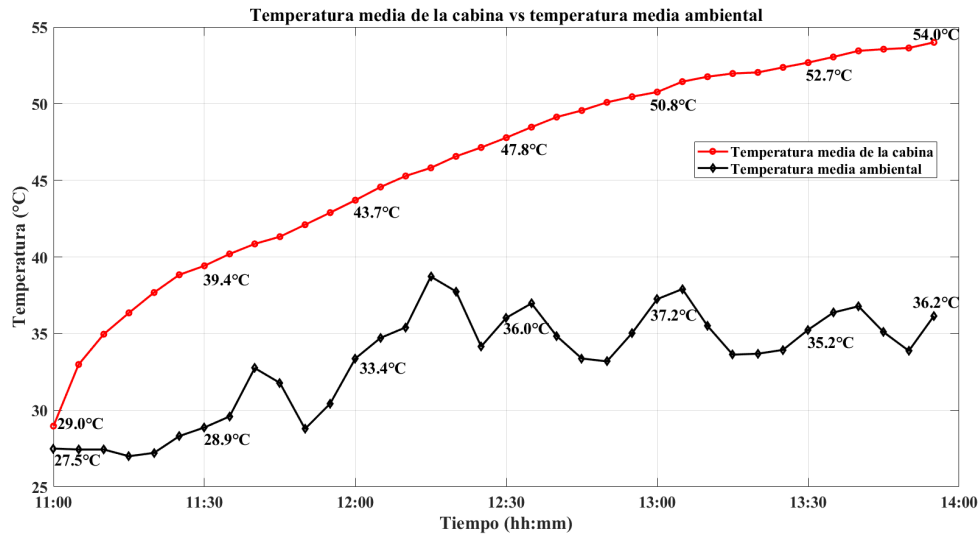


Figura 6.3: Temperatura media de la cabina vs temperatura media ambiental.

Considerando que esta medición de temperatura se realiza durante la temporada de frío, se registran temperaturas elevadas en el interior de la cabina del vehículo. Por este motivo, se lleva a cabo una segunda medición de la temperatura en la cabina, realizada en la tercera semana del mes de febrero, periodo durante el cual se presenta una sensación térmica considerablemente calurosa. El objetivo de esta medición es evaluar si se presenta alguna diferencia en la temperatura registrada dentro de la cabina del vehículo.

La medición se lleva a cabo de las 10:00 a.m. a la 1:20 p.m. (véase la Figura 6.4). En esta medición, la temperatura ambiente mostró una mayor estabilidad, ya que durante el día de prueba hubo menor presencia de viento y nubes.

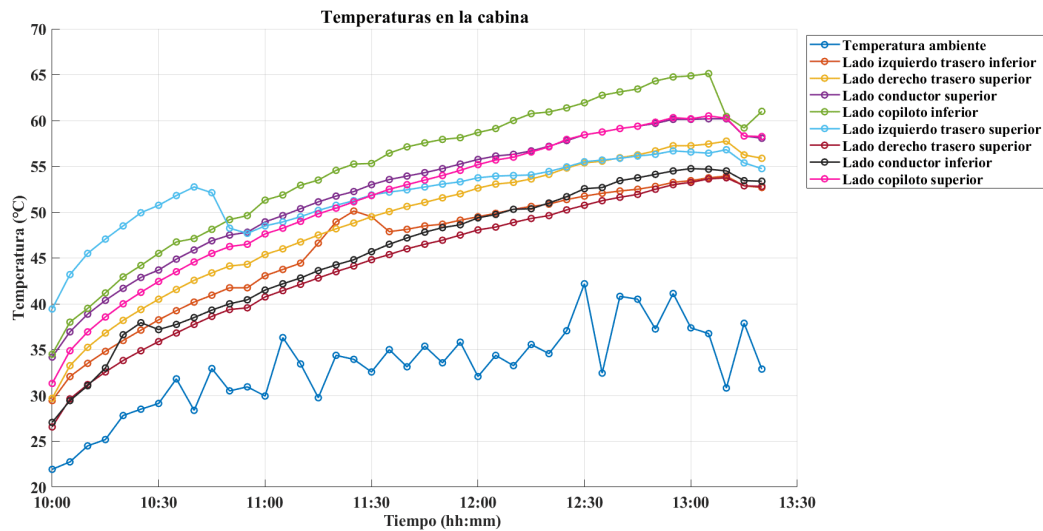


Figura 6.4: Temperaturas en la cabina con respecto a la ambiental.

En la Figura 6.5 se muestra la temperatura media de la cabina en relación con la temperatura media ambiental. Es importante destacar que, entre las 12:55 p.m. y 1:10 p.m., el cielo permanece nublado durante aproximadamente 15 minutos. Durante este período, se observa que la temperatura media en la cabina no presentó una reducción significativa. Además, la temperatura media máxima registrada fue de 57.7°C a la 1:05 p.m., siendo superior a la obtenida en la primera medición.

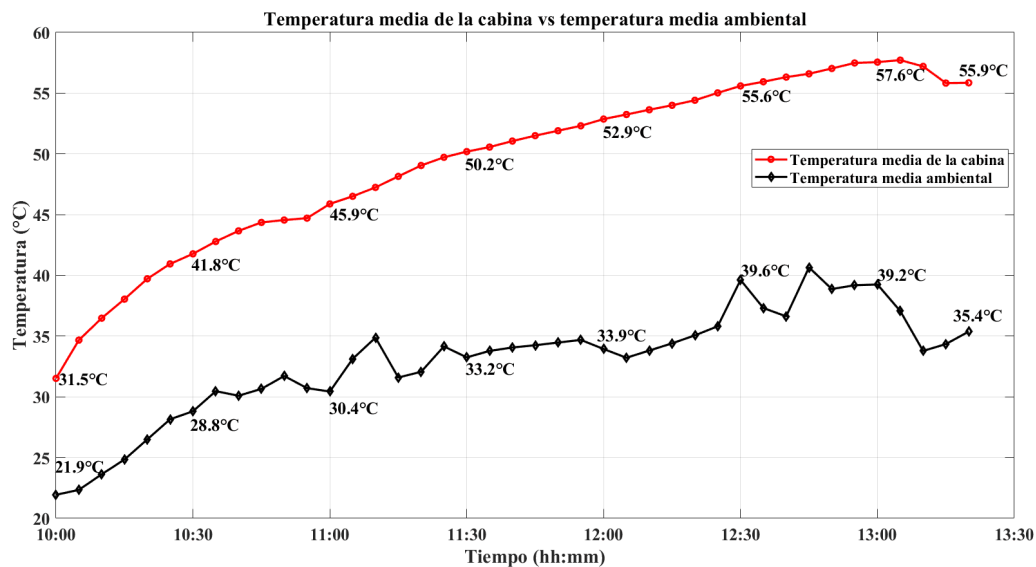


Figura 6.5: Temperatura media de la cabina vs temperatura media ambiental.

En la Tabla 6.1, se evidencia que la temperatura en el interior de la cabina de un vehículo puede presentar variaciones significativas, dependiendo de las condiciones ambientales.

Tabla 6.1: Variación térmica en la cabina según las condiciones ambientales.

Tiempo	Primera medición	Segunda medición
11:00 a.m	29°C	45.9°C
11:30 a.m	39.4°C	50.2°C
12:00 p.m	43.7°C	52.9°C
12:30 p.m	47.8°C	55.6°C
1:00 p.m	50.8°C	57.6°C

Prueba 2: Evaluación del sistema de reducción de temperatura en modo extractor.

La medición de temperatura se inicia a las 10:00 a.m. y finaliza a la 1:20 p.m. En esta prueba se evalúa el sistema de reducción de temperatura en el modo extractor, donde el sistema se ubica en la ventana trasera derecha (véase la Figura 6.6). En esta configuración, los ventiladores extraen el aire caliente de la cabina y lo expulsan al exterior, mientras que la ventana trasera izquierda se baja 5cm para permitir la entrada de aire del exterior.



Figura 6.6: Ubicación del sistema de reducción de temperatura.

El objetivo de esta prueba es analizar el intercambio de flujos de aire y determinar si la apertura parcial de las ventanas contribuye a reducir la temperatura dentro de la cabina del vehículo. El extractor se activa a las 10:00 a.m. y opera hasta la 1:20 p.m., con los ventiladores funcionando a una señal PWM del 100 %.

En la Figura 6.7, se observan las mediciones de temperatura en la cabina. En este caso, las lecturas muestran un comportamiento más estable, ya que no hubo tanta presencia de nubes.

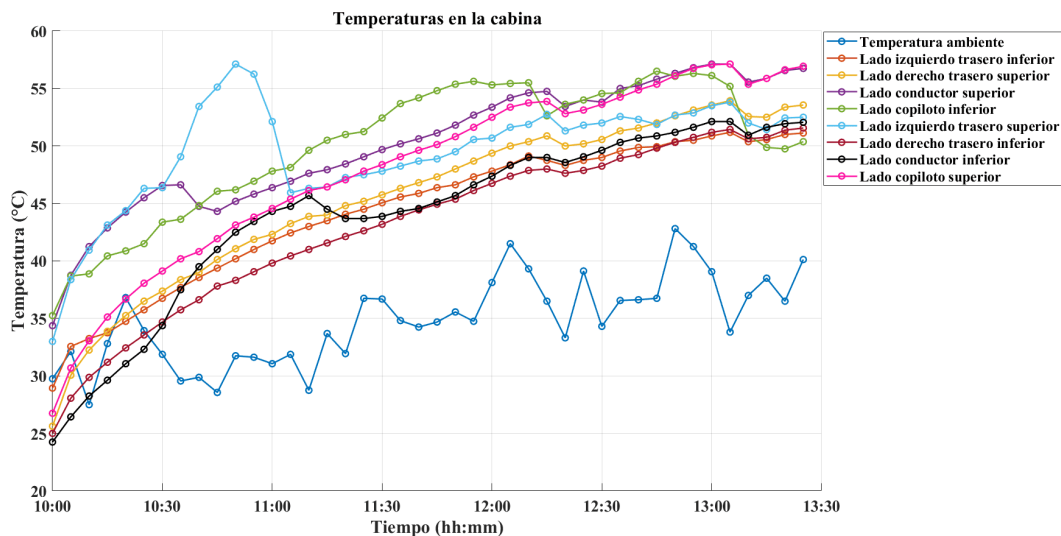


Figura 6.7: Comportamiento de las temperaturas en la cabina con el sistema en modo extractor.

En la Figura 6.8, se observa que la temperatura media máxima alcanza los $54^{\circ}C$ a la 1:05 p.m. Comparando este dato con la Prueba 1, donde a la misma hora se registra una temperatura máxima de $57.7^{\circ}C$, se puede concluir que bajar $5cm$ la ventana trasera izquierda y activar el sistema en modo extractor, permite reducir la temperatura media en $3.7^{\circ}C$. Además, se evidencia que activar el sistema desde las 10:00 a.m. ayuda a mitigar el rápido incremento de la temperatura dentro de la cabina.

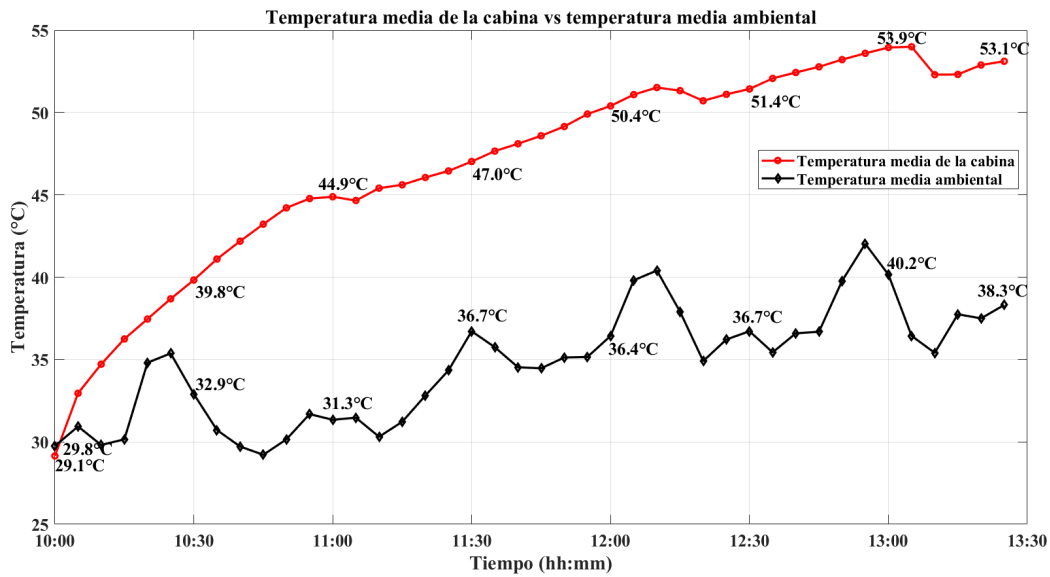


Figura 6.8: Temperatura media de la cabina vs temperatura media ambiental con el sistema en modo extractor.

Prueba 3: Evaluación del sistema de reducción de temperatura con ventilación forzada.

La medición de temperatura se inicia a las 10:00 a.m. y finaliza a la 1:20 p.m. A partir del análisis de los resultados obtenidos en la Prueba 2, se decide agregar una ventilación forzada. Para ello, se integran dos ventiladores cuya función es forzar la entrada de aire exterior hacia el interior de la cabina del vehículo, mientras que, simultáneamente, se expulsa el aire caliente del interior al exterior.

El sistema se ubica en la ventana trasera derecha, mientras que los ventiladores encargados de introducir aire fresco se instalan en la ventana trasera izquierda (véase la Figura 6.9). Además, no se sella completamente la abertura de la ventana donde se colocan los ventiladores de entrada, con el propósito de evaluar si una apertura de 4cm de alto por 40cm de largo contribuye a un mayor flujo de aire al interior de la cabina, complementando la acción de los ventiladores.



Figura 6.9: Ubicación de los ventiladores encargados de introducir aire del exterior.

La ventilación forzada se activa a las 11:00 a.m. y se desactiva a la 1:20 p.m. Se decide iniciar este modo a las 11:00 a.m., ya que es el horario en el que la temperatura dentro de la cabina comienza a incrementarse de manera acelerada. El objetivo de esta prueba es determinar si, bajo este modo de operación, el sistema puede reducir efectivamente la temperatura en la cabina (véase Figura 6.10).

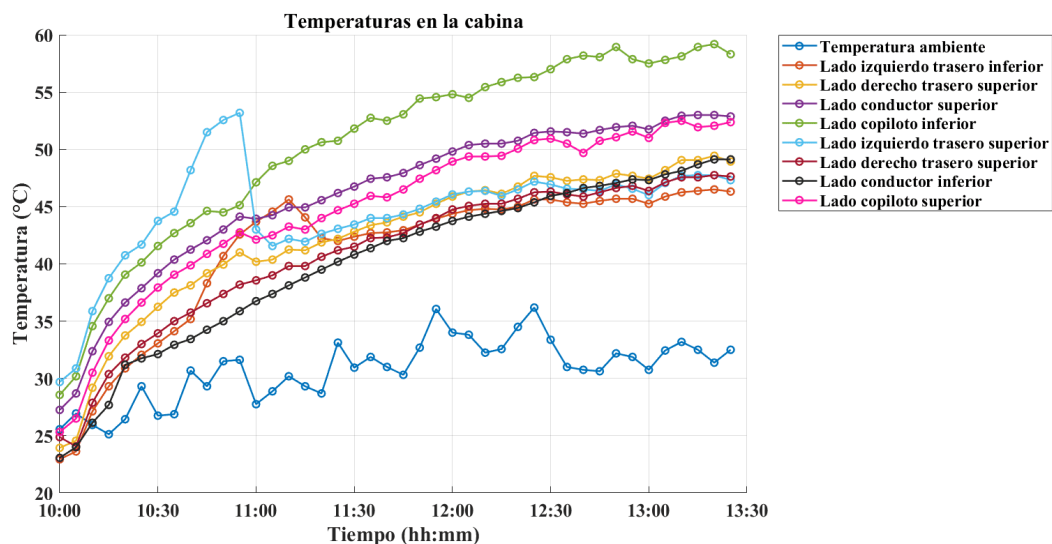


Figura 6.10: Comportamiento de las temperaturas en la cabina en modo ventilación forzada.

En la Figura 6.11, se observa que la temperatura media máxima alcanza los 50.6°C a la 1:20 p.m. Al comparar este resultado con la temperatura media máxima registrada en la Prueba 1, se

puede concluir que el sistema, operando en este modo, logra una reducción aproximada de 7.1°C .

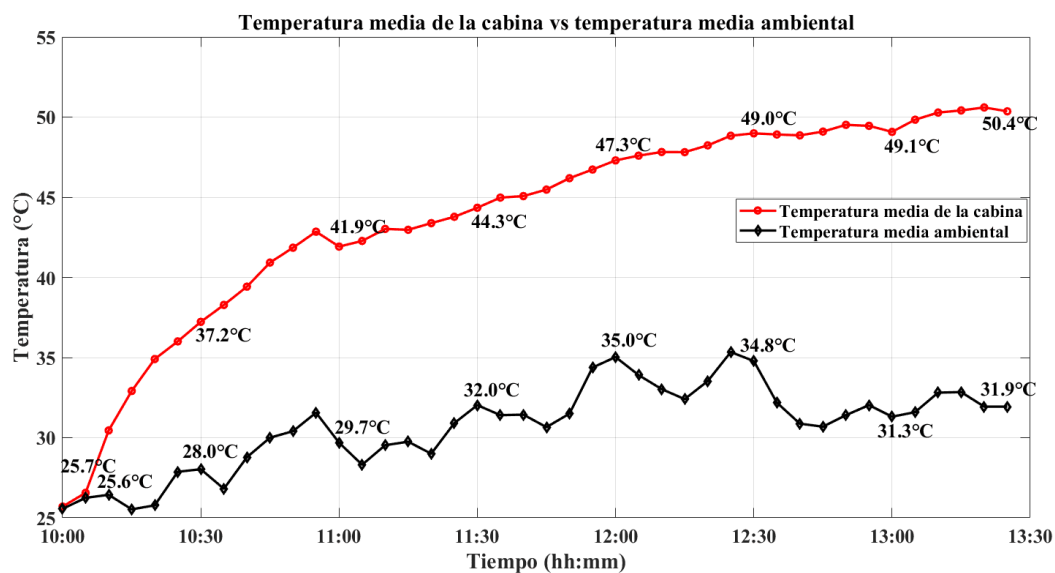


Figura 6.11: Temperatura media de la cabina vs temperatura media ambiental con el sistema en modo ventilación forzada.

Con base en los resultados obtenidos, se decide realizar nuevamente esta prueba, utilizando ahora tres ventiladores para introducir aire del exterior hacia el interior de la cabina. Además, se procede a sellar completamente la apertura que anteriormente presentaba unas dimensiones de 4cm de alto por 40cm de largo (véase la Figura 6.12a).

Tanto los ventiladores de entrada como los de extracción de aire operan a una PWM del 100 %. Un aspecto importante a destacar es que los disipadores de las celdas Peltier no solo cumplen la función de disipar el calor generado por estas, sino que también actúan como extractores de aire. Por esta razón, se ubica el sistema de reducción de temperatura en la parte superior de la ventana trasera derecha del vehículo (véase la Figura 6.12b).



(a)



(b)

Figura 6.12: (a) Ventiladores encargados de introducir aire del exterior y (b) ubicación del sistema de reducción de temperatura.

A partir de las 11:00 a.m., se activa el modo de ventilación forzada junto con el control de las celdas Peltier. El objetivo es evaluar si en este modo el sistema de reducción de temperatura, logra disminuir la temperatura en la cabina del vehículo (véase Figura 6.13).

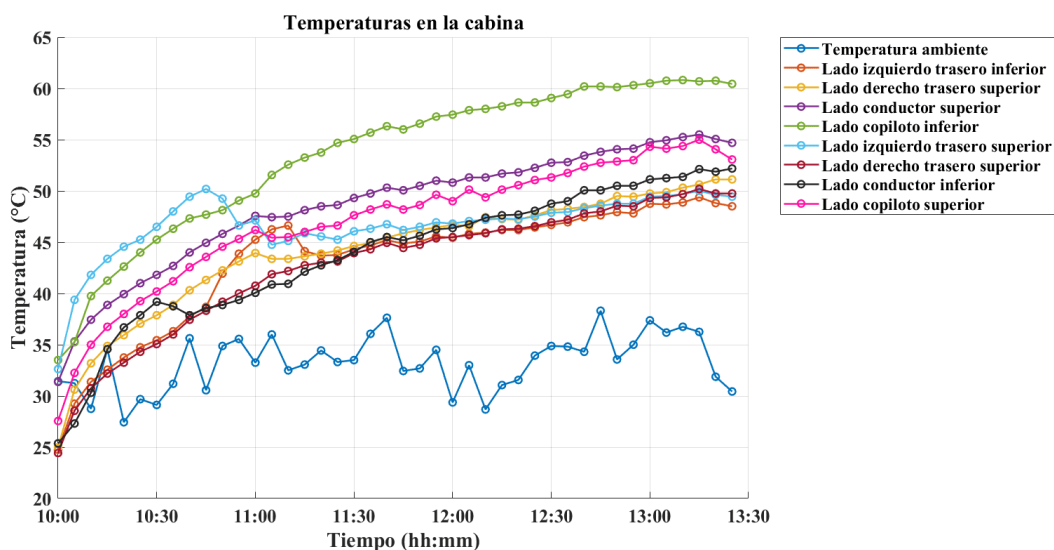


Figura 6.13: Comportamiento de las temperaturas en la cabina con ventilación forzada.

En la Figura 6.14, se observa que la temperatura media máxima registrada fue de 52.9°C a la 1:15 p.m. Además, entre la 1:10 p.m. y la 1:25 p.m., el cielo se nubló, pero durante ese período no se evidencia una disminución significativa en la temperatura dentro de la cabina.

En esta prueba, se intenta forzar la disminución de la temperatura a partir de las 11:00 a.m., momento en el que la temperatura dentro de la cabina tiende a aumentar rápidamente. Sin embargo, el sistema no logra mantener activas las celdas Peltier.

Inicialmente, las celdas operaran dentro del rango de trabajo establecido, pero al alcanzar la temperatura máxima, se desactivan. Se esperaba que se reactivaran posteriormente, pero esto no ocurrió. A pesar de que los ventiladores del disipador en el lado caliente continuaban funcionando al 100 % de PWM, no fueron capaces de reducir la temperatura caliente de las celdas. Como resultado, la cara caliente de las celdas Peltier permanece a una temperatura elevada, impidiendo su reactivación.

Esto se debe al régimen de trabajo del sistema, cuando la cara caliente de la celda Peltier alcanza los 65°C , se desactiva automáticamente para evitar sobrecalentamiento y solo vuelve a activarse cuando su temperatura desciende por debajo de los 30°C . En este caso, las celdas solo permanecieron activas durante 5 minutos antes de desactivarse definitivamente. A partir de este momento, el sistema opera únicamente en modo de extracción de aire, en conjunto con la ventilación forzada.

Se espera que la temperatura dentro de la cabina disminuya debido a la incorporación de un ventilador adicional en la entrada de aire. No obstante, al sellar completamente la apertura de la ventana, se registra una temperatura media máxima de 52.9°C . En comparación con la prueba anterior, donde se alcanza una temperatura media máxima de 50.6°C . Este comportamiento se atribuye a la diferencia de presión entre el interior y el exterior en sistemas cerrados [54]. Los ventiladores que extraen aire generan una presión negativa en el habitáculo, mientras que los que introducen aire generan una presión positiva. Al estar ambas aberturas completamente selladas, estas presiones compiten entre sí. Como los ventiladores no tienen la misma capacidad, esto impide mantener un equilibrio adecuado en la circulación del flujo de aire, lo que provoca una acumulación de calor y limita la capacidad del sistema para reducir aún más la temperatura en la cabina.

Se concluye que, para lograr una mayor reducción de temperatura, resulta preferible no sellar completamente la apertura de la ventana izquierda. Sin embargo, esta acción compromete la

seguridad del vehículo.

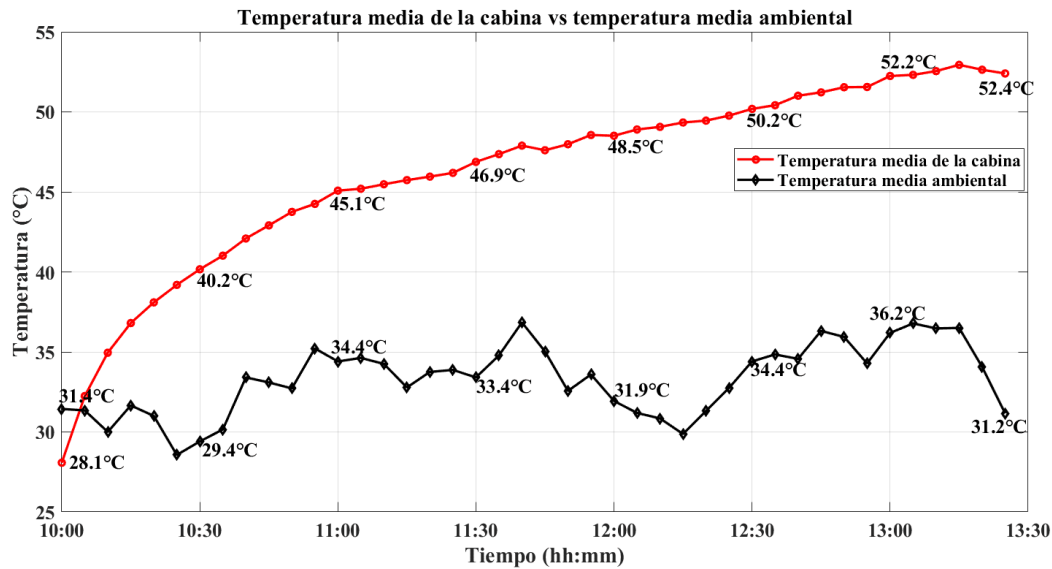


Figura 6.14: Temperatura media de la cabina vs temperatura media ambiental con el sistema en ventilación forzada.

Prueba 4: Medición de la temperatura en la cabina del vehículo usando un cubre sol.

La medición de temperatura se inicia a las 10:00 a.m. y finaliza a la 1:20 p.m. En esta prueba, se busca determinar si el uso de un cubre sol como complemento del sistema de reducción de temperatura permite mejorar su eficiencia térmica (véase la Figura 6.15).



Figura 6.15: Ubicación del cubre sol.

En la Figura 6.16, se observa el comportamiento de la distribución de la temperatura en la

cabina. A pesar del uso del cubre sol, se siguen registrando temperaturas elevadas en ciertos puntos del interior del vehículo.

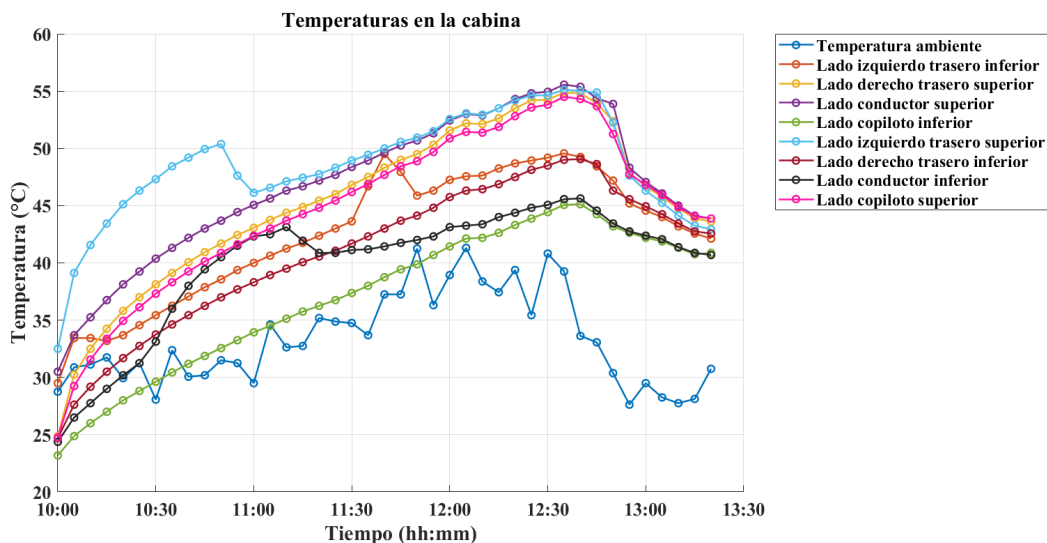


Figura 6.16: Temperaturas en la cabina con respecto a la ambiental con el uso de un cubre sol.

En la Figura 6.17, se registra que la temperatura media máxima en la cabina es de aproximadamente 51.2°C a las 12:35 p.m. Al comparar este dato con la Prueba 1, en la cual se registró una temperatura media de 57°C a las 12:35 p.m., se evidencia que el uso del cubre sol logra reducir la temperatura media de 6°C . Este resultado confirma que el cubre sol puede contribuir de manera significativa a la disminución de la temperatura en el interior del vehículo, complementando al sistema de reducción de temperatura.

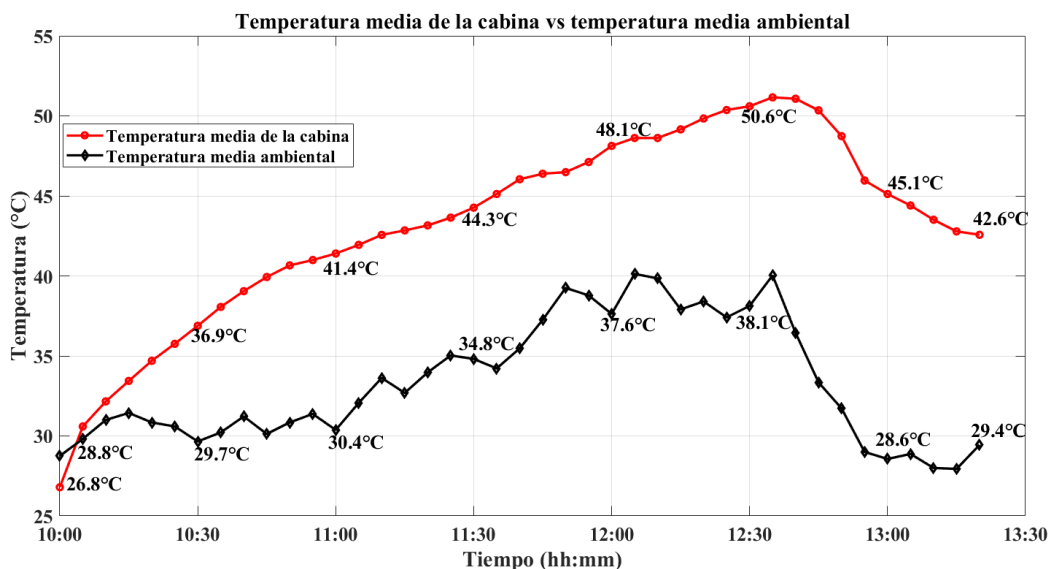


Figura 6.17: Temperatura media de la cabina vs temperatura media ambiental con el uso del cubre sol.

Prueba 5: Sistema de reducción de temperatura en modo ventilación forzada con el uso de un cubre sol.

La medición de temperatura se inicia a las 10:00 a.m. y finaliza a la 1:20 p.m.

El objetivo de esta prueba es corroborar si la combinación de la ventilación forzada y el uso del cubre sol contribuye significativamente al sistema de reducción de temperatura, y descartar la posibilidad de que la ventilación forzada sea el único factor responsable de la disminución de la temperatura en la cabina del vehículo (véase la Figura 6.18).

Para esta prueba, se mantiene el cubre sol colocado en el parabrisas delantero, el sistema de reducción de temperatura funcionó en modo extractor y los ventiladores encargados de ingresar aire al interior de la cabina permanecen en la misma ubicación.

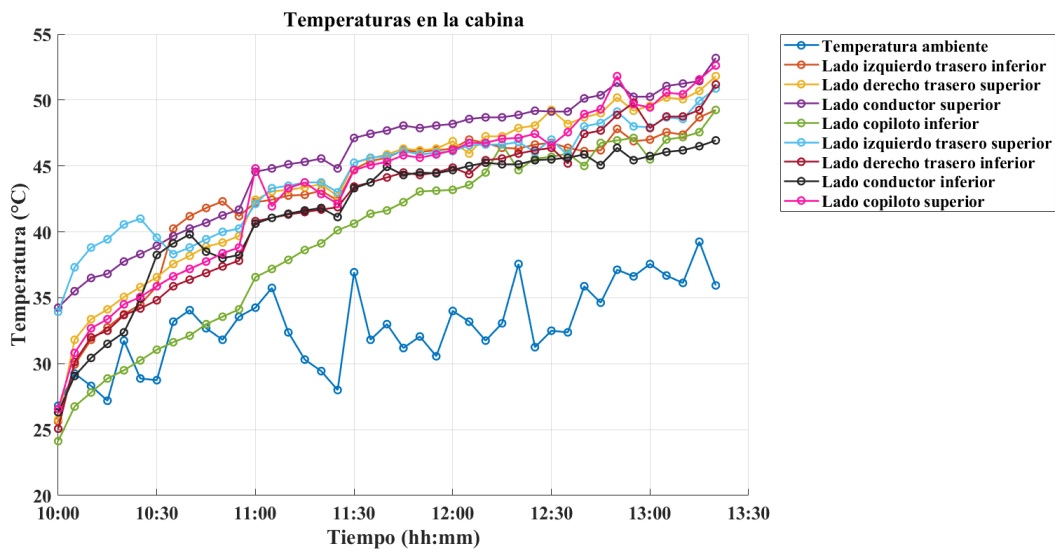


Figura 6.18: Temperaturas en la cabina con respecto a la ambiental con el uso de un cubre sol y ventilación forzada.

En la Figura 6.19, se registra que la temperatura media máxima es de 50.6°C a la 1:20 p.m. Comparado con la Prueba 1, donde se alcanza una temperatura media de 57.7°C , hay una disminución de la temperatura media de aproximadamente 7.1°C . Además, es importante indicar que esta prueba se realiza durante la segunda semana del mes de febrero, periodo en el cual se presentan días más calurosos.

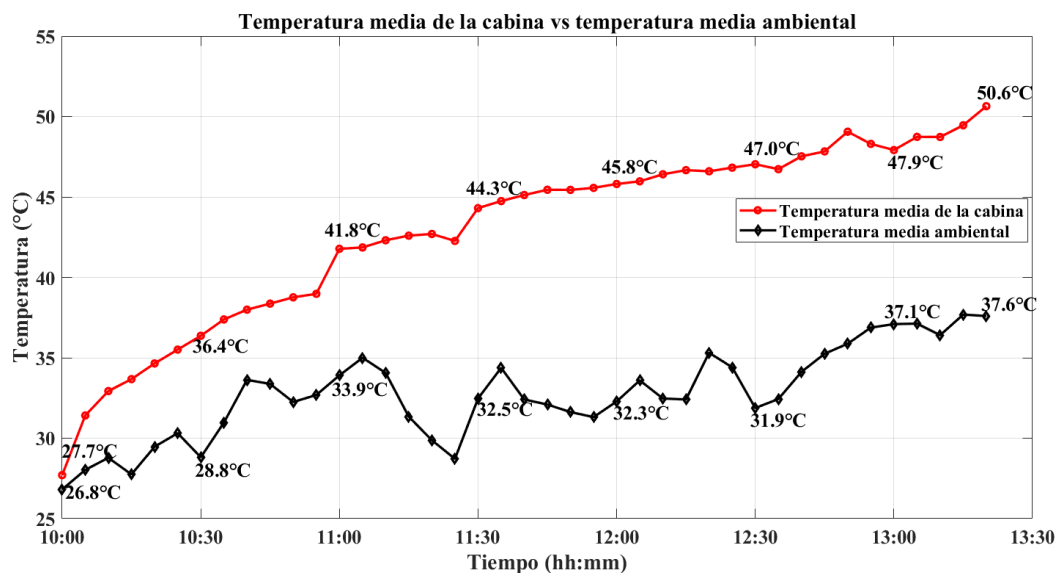


Figura 6.19: Temperatura media de la cabina vs temperatura media ambiental con el uso de un cubre sol y ventilación forzada.

Prueba 6: Evaluación del sistema de reducción de temperatura con la activación de las celdas Peltier, ventilación forzada y el uso de un cubre sol.

Considerando que, en la Prueba 3 no se activan las celdas Peltier el tiempo suficiente, se procede a modificar los rangos de temperatura máxima y mínima en el control de histeresis de las celdas, con el objetivo de mejorar el desempeño del sistema.

Para el régimen de trabajo, se establece una temperatura máxima de 70°C en la cara caliente de la celda Peltier, mientras que la temperatura mínima para su reactivación se fija en 50°C . Al utilizar un límite de 70°C , el sistema opera cerca del umbral máximo de temperatura recomendado para las celdas Peltier comerciales disponibles en el mercado, cuyo rango suele situarse entre 70°C y 75°C .

En la Figura 6.20 se puede observar el comportamiento de las temperaturas dentro de la cabina del vehículo.

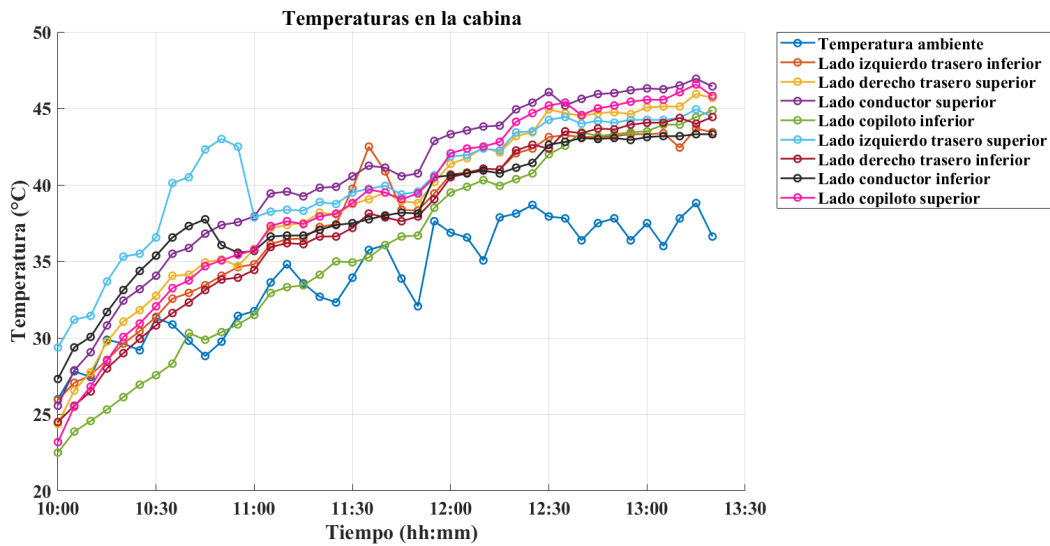


Figura 6.20: Comportamiento de las temperaturas en la cabina con el control de las celdas Peltier, ventilación forzada y el uso del cubre sol.

En la Figura 6.21 se registra una temperatura media máxima en la cabina de 45°C .

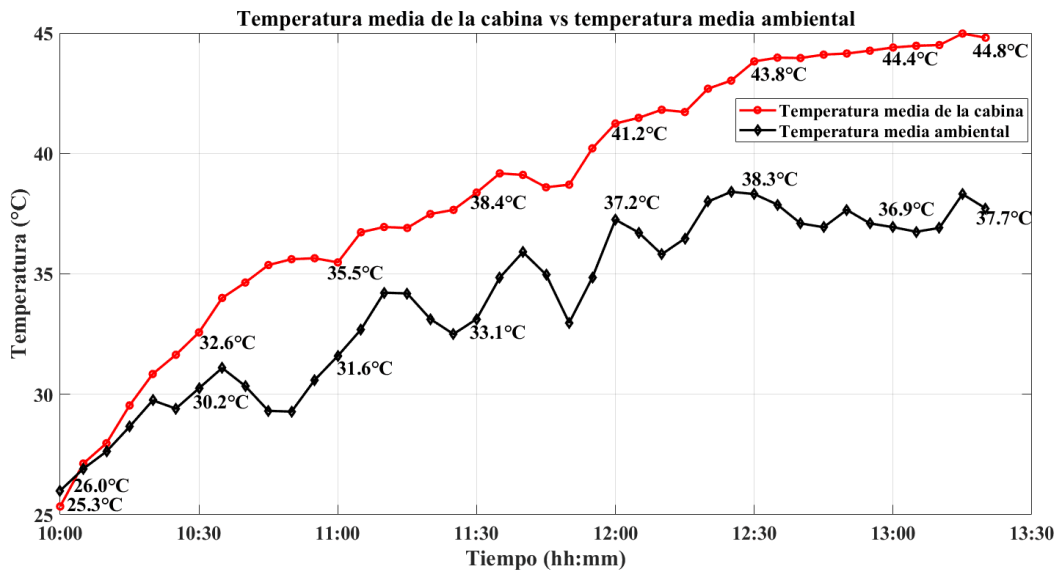


Figura 6.21: Temperatura media de la cabina vs temperatura media ambiental con el sistema en ventilación forzada, activación de las celdas Peltier, y el uso del cubre sol.

Considerando que esta primera prueba se lleva a cabo a finales del mes de enero, en un periodo en el que aún no se presentan días significativamente calurosos, se decide repetir la prueba

durante la tercera semana del mes de febrero, con el objetivo de observar el comportamiento del sistema de reducción de temperatura ante condiciones ambientales más cálidas.

En la Figura 6.22, se muestra el comportamiento de las lecturas obtenidas por los sensores de temperatura en el interior de la cabina del vehículo.

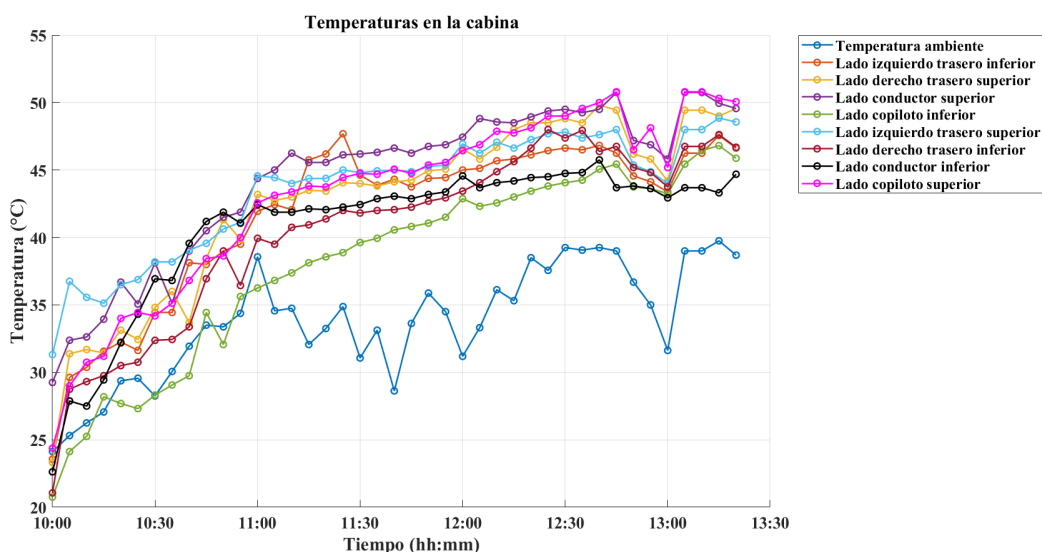


Figura 6.22: Comportamiento de las temperaturas en la cabina con el control de las celdas Peltier, ventilación forzada y el uso de un cubre sol.

En la Figura 6.23, se observa que la temperatura media máxima en la cabina alcanza aproximadamente los 48°C a la 1:15 p.m. Considerando que, en la prueba anterior y en el mismo horario, se registra una temperatura media de 45°C , se infiere que las condiciones ambientales más calurosas influyen negativamente en el rendimiento del sistema de reducción de temperatura.

Estos resultados indican que el sistema de reducción de temperatura, complementado con el uso de un cubre sol en el parabrisas y la ventilación forzada, mejora la eficiencia operativa del sistema.

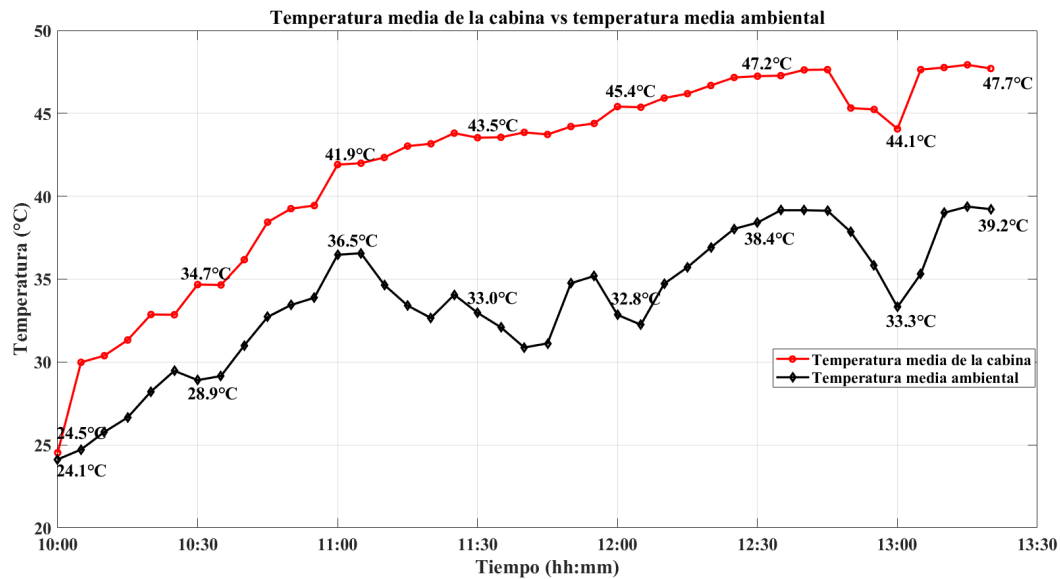


Figura 6.23: Temperatura media de la cabina vs temperatura media ambiental con el sistema en ventilación forzada, activación de las celdas Peltier, y el uso de un cubre sol.

Se evalúa el cumplimiento el régimen de trabajo de las celdas Peltier. El tiempo de operación se cumple correctamente desde las 10:00 a.m. hasta las 11:00 a.m. Sin embargo, a partir de las 11:00 a.m., el tiempo de activación deja de seguir el régimen de trabajo establecido. La principal causa de esta variación es el aumento de la temperatura en la cara caliente de las celdas Peltier, la cual alcanza con mayor rapidez el umbral máximo permitido, provocando la desactivación anticipada del sistema. Además, se registra un mayor tiempo de espera para alcanzar la temperatura mínima requerida para la reactivación, lo cual afecta negativamente la generación de temperatura en la cara fría de las celdas Peltier.

En la Figura 6.24 se presentan las temperaturas registradas en la cara caliente de las celdas Peltier. En este caso, se verifica que el control de histéresis de temperatura funciona correctamente, ya que evita que las temperaturas de las celdas superen el límite máximo permitido. Adicionalmente, se registra la temperatura del flujo de aire que ingresa del exterior al interior de la cabina a través de la ventilación forzada.

Es importante destacar que, a partir de las 12:30 p.m., se registra que las temperaturas en la cara caliente de las celdas Peltier alcanzan aproximadamente 40°C. Este descenso de temperatura

se debe a la descarga completa de la batería que alimenta a las celdas Peltier.

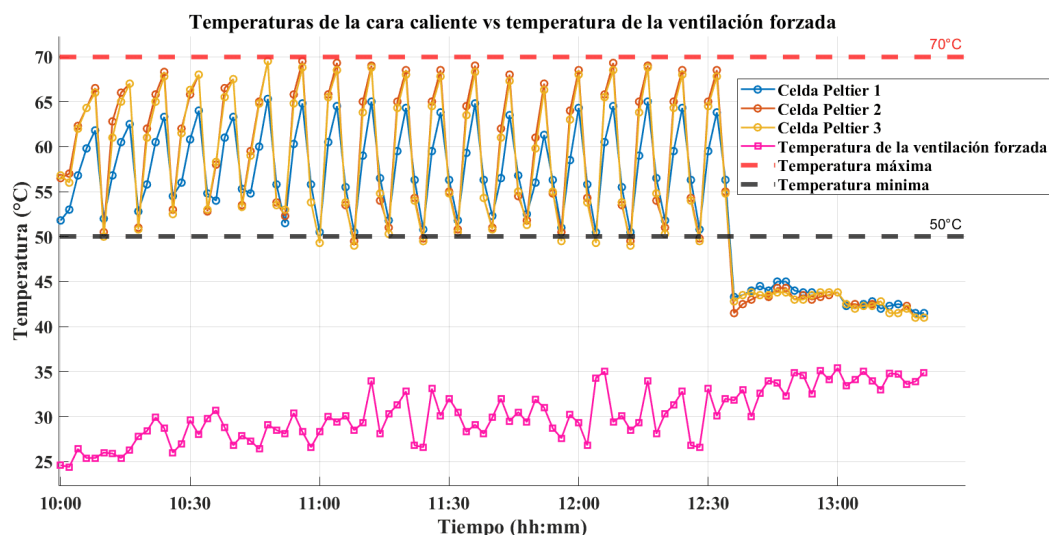


Figura 6.24: Comportamiento del control de histéresis de temperatura.

En la Figura 6.25 se registra la temperatura promedio de la cara fría de las celdas Peltier, junto con la temperatura del flujo de aire que ingresa del exterior al interior de la cabina a través de la ventilación forzada. Se observa que la eficiencia de las celdas Peltier se reduce al exponerse a temperaturas elevadas.

A medida que pasa el tiempo, la temperatura dentro de la cabina aumenta, lo que afecta la generación de frío en las celdas Peltier. Cuando las celdas se desactivan, la temperatura en la cara fría tiende a igualarse con la temperatura de la cabina. Este efecto se puede apreciar a partir de las 12:30 p.m., cuando la temperatura de la cara fría de las celdas Peltier se igualan a la temperatura del interior del vehículo, alcanzando aproximadamente 45°C . Este comportamiento se debe a la descarga completa de la batería que alimenta a las celdas Peltier.

Además, el ingreso de aire exterior no resulta suficiente para mitigar el aumento de temperatura dentro de la cabina, dado que la temperatura del aire es similar a la del ambiente.

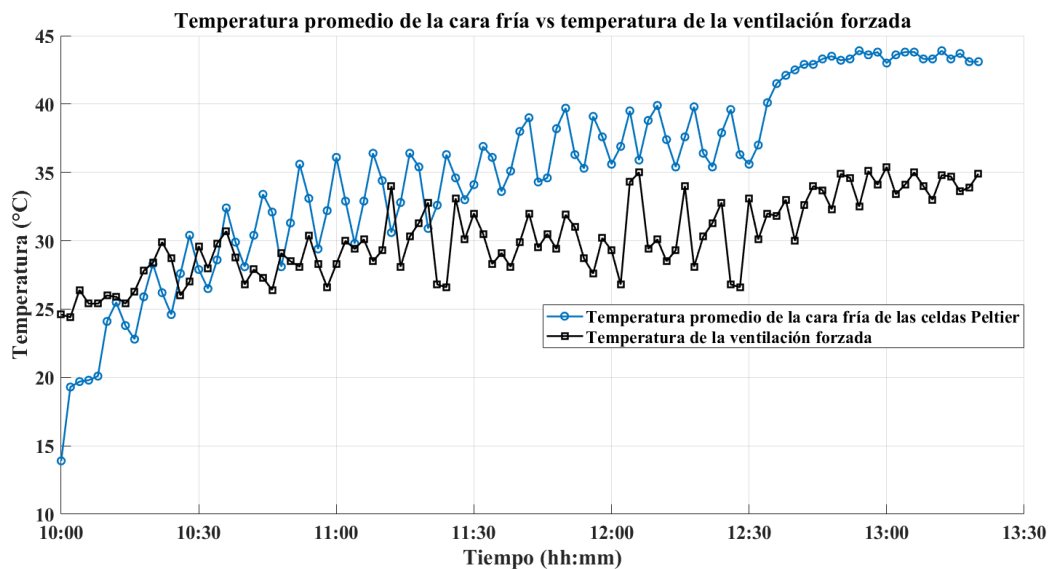


Figura 6.25: Comportamiento de la temperatura en la cara fría de las celdas Peltier.

En la Figura 6.26 se observa el control de los tiempos de activación y desactivación del control de las celdas Peltier. En este caso, se evidencia que durante aproximadamente 20 minutos el control de tiempo se cumple correctamente. Sin embargo, después de ese periodo, deja de hacerlo, ya que el tiempo de activación de las celdas Peltier se ve reducido. Esto ocurre porque las temperaturas límite del control de histéresis se alcanzan más rápidamente, lo que afecta a los tiempos de trabajo de las celdas Peltier.

En este caso, como solo se considero medir el tiempo de activación y desactivación del relé que controla las celdas Peltier, no es posible identificar con precisión el momento en que la batería que alimenta a las celdas se descargó. Sin embargo, a partir del minuto 150, se observa que el control de los tiempos de trabajo de vuelve más estable. Esto indica que el sistema sigue cumpliendo con la programación establecida, pero el control de histeresis deja de actuar, ya que las celdas Peltier han dejado de funcionar debido a la falta de energía eléctrica.

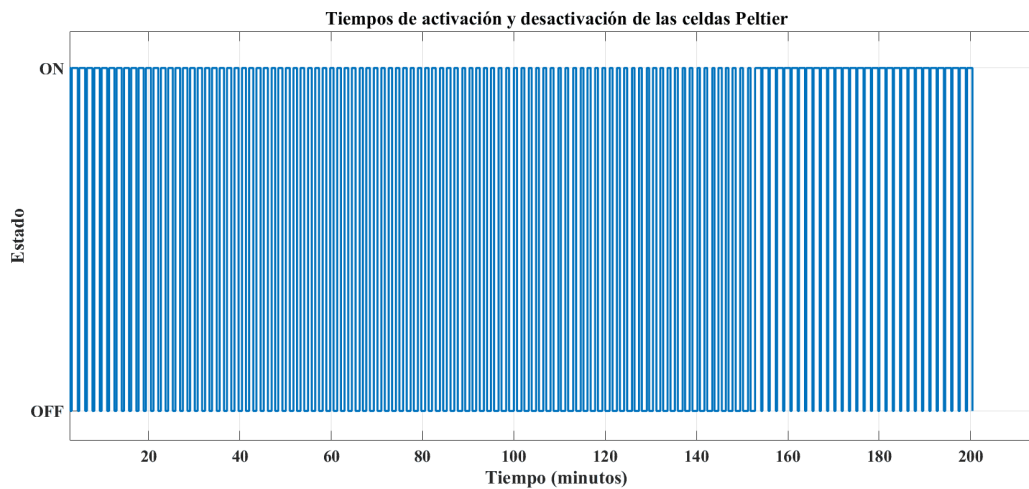


Figura 6.26: Comportamiento del control de los tiempos de trabajo.

6.2. Análisis de los resultados experimentales

En la Tabla 6.2 se presenta la comparación de las temperaturas medias obtenidas en las pruebas realizadas.

- Prueba 1: Medición de la temperatura en la cabina del vehículo.
- Prueba 2: Evaluación del sistema de reducción de temperatura en modo extractor.
- Prueba 3: Evaluación del sistema de reducción de temperatura con ventilación forzada.
- Prueba 4: Medición de la temperatura en la cabina del vehículo usando un cubre sol.
- Prueba 5: Sistema de reducción de temperatura en modo ventilación forzada con el uso de un cubre sol.
- Prueba 6: Evaluación del sistema de reducción de temperatura con la activación de las celdas Peltier, ventilación forzada y el uso de un cubre sol.

Tabla 6.2: Temperaturas media de las pruebas.

Tiempo	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
10:00 a.m	31.5°C	29.1°C	26.9°C	26.8°C	27.7°C	24.9°C
10:30 a.m	41.8°C	39.8°C	38.7°C	36.9°C	36.4°C	33.65°C
11:00 a.m	45.9°C	44.9°C	43.5°C	41.4°C	41.8°C	38.7°C
11:30 a.m	50.2°C	47°C	45.6°C	44.3°C	44.3°C	40.95°C
12:00 p.m	52.9°C	50.4°C	47.9°C	48.1°C	45.8°C	43.3°C
12:30 p.m	55.6°C	51.4°C	49.6°C	50.6°C	47°C	45.5°C
1:00 p.m	57.6°C	53.9°C	50.65°C	45.1°C	47.9°C	44.25°C
1:20 p.m	55.85°C	53.1°C	51.34°C	42.5°C	50.6°C	46.25°C

En la Figura 6.27 se registran las temperaturas medias obtenidas en las distintas pruebas realizadas. Se observa que, en la Prueba 6, para obtener el máximo rendimiento del sistema de reducción de temperatura, resulta preferible complementarlo con el uso de un cubre sol y ventilación forzada. Esto se debe a que representar una disminución significativa de la temperatura en el habitáculo de un vehículo constituye un reto considerable, especialmente bajo las condiciones climáticas extremas que caracterizan nuestra región.

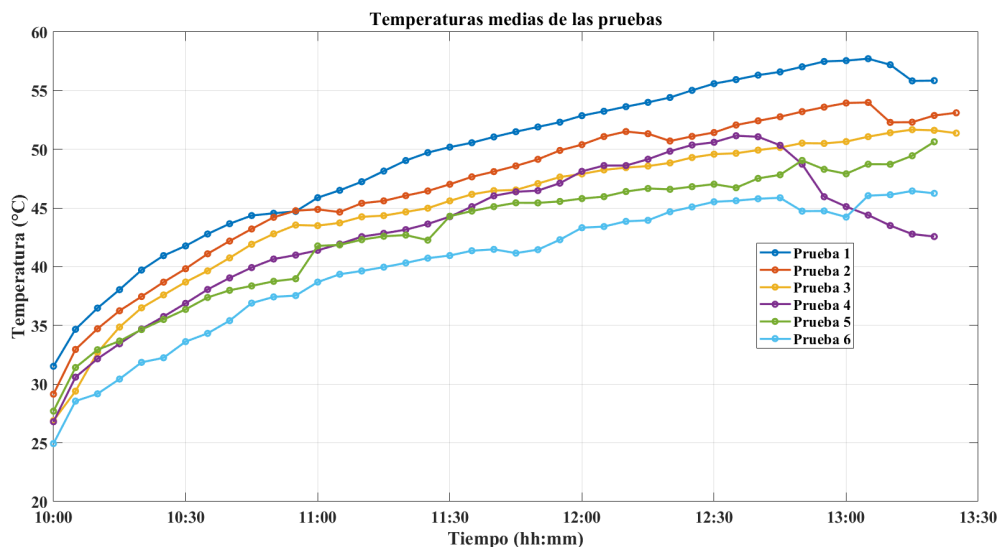


Figura 6.27: Temperaturas medias de las pruebas.

Capítulo 7

7. Conclusiones

Mediante las investigaciones y análisis experimentales realizados, se puede concluir que el uso de celdas Peltier para mitigar las altas temperaturas en el habitáculo de un vehículo contribuye significativamente a la reducción del calor acumulado. En este trabajo, el desarrollo del sistema de reducción de temperatura basado en celdas Peltier ha demostrado ser eficaz para ralentizar el incremento térmico en la cabina del vehículo, particularmente en el horario de 10:00 a.m. a 12:30 p.m., logrando una disminución aproximada de $10^{\circ}C$.

Además, se cumple con el objetivo de diseñar un sistema de mínima invasión para la cabina del vehículo, de fácil instalación y que no depende de la batería del automóvil para su funcionamiento. Sin embargo, dadas las condiciones climáticas de la región, caracterizadas por altas temperaturas, este contexto representa un gran reto para el sistema, el cual afecta su eficiencia en comparación con los sistemas propuestos por [5], [6], [8], [10], [12] y [13], donde la temperatura ambiental es relativamente inferior a la registrada en nuestra región.

Los resultados experimentales confirman que las temperaturas en el interior del habitáculo del vehículo superan considerablemente la temperatura ambiente, alcanzando valores cercanos a los $60^{\circ}C$. Esta condición representa un riesgo para la salud de los ocupantes al comprometer el confort térmico. Asimismo, se verifica que la aplicación de técnicas pasivas de reducción de temperatura, como el uso de un cubre sol o la ventilación mediante la apertura parcial de las ventanas, resulta insuficiente para mitigar de manera eficaz las elevadas temperaturas dentro del vehículo.

En este sentido, el uso de un cubre sol y la ventilación forzada constituyen como complementos fundamentales, ya que permiten prolongar el tiempo de operación del sistema. Para evaluar su efectividad, se llevaron a cabo pruebas específicas que permitieron determinar de forma objetiva la contribución de ambos elementos. Los resultados obtenidos confirman que tanto el cubre sol

como la ventilación forzada aportan de manera significativa al sistema.

Estos hallazgos permiten concluir que el uso de tecnología termoeléctrica para la reducción de temperatura en la cabina de un vehículo es una solución viable. Sin embargo, aún existen limitaciones en la implementación de celdas Peltier, principalmente debido a su elevado consumo de energía y la necesidad de disipar eficientemente el calor generado durante su operación.

Además, se concluye que la implementación de un régimen de trabajo adecuado, que integra tanto el control de histéresis de temperatura como el control de tiempos de operación, mejora notablemente la eficiencia del sistema. Como resultado, se determina que el sistema opera de manera óptima durante aproximadamente 2 horas con 30 minutos. No obstante, este tiempo de funcionamiento está condicionado por la disponibilidad del suministro eléctrico. Cabe destacar que el sistema de reducción de temperatura basado en celdas Peltier forma parte de un diseño más amplio, en el que se contempla la incorporación de paneles fotovoltaicos para incrementar la autonomía energética.

7.1. Trabajos futuros

El diseño de este sistema puede ser optimizado en futuros trabajos, recomendándose la implementación de un método alternativo para la disipación del calor generado por las celdas Peltier. Esto implicaría un sistema más invasivo para la cabina del vehículo, lo cual requeriría un diseño más voluminoso y modificaciones estructurales en el interior del automóvil, permitiendo así una mayor eficiencia térmica.

Asimismo, este desarrollo forma parte de un proyecto más amplio que contempla la incorporación de un sistema mecánico de sombrilla automática, diseñado para cubrir los parabrisas y ventanas del vehículo. Esta medida tiene como finalidad de proteger el interior de la cabina de la radiación solar directa y mitigar, de manera significativa, el efecto invernadero que se genera al mantener el vehículo expuesto al sol.

Referencias

- [1] Y. Çengel, *TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA*. McGraw-Hill Interamericana de España S.L., 2011, ISBN: 9786071505408. dirección: <https://books.google.com.mx/books?id=HiSRZwEACAAJ>.
- [2] E. Romero Delgadillo, «Diseño e Implementación del sistema del Sistema de Climatización para un automóvil Honda Civic por Efecto Peltier,» 2017.
- [3] E. J. A. Silva Montenegro, «Propuesta de diseño de un sistema de aire acondicionado basado en termoelectricidad para mejorar el confort térmico de la cabina del interior de un automóvil mitsubishi mirage 2017 en zonas calurosas,» 2023.
- [4] E. Caruajulca Rimarachin, «Diseño de un sistema de aire acondicionado utilizando celdas Peltier para climatizar cabina de camión Hino 2626 en Ingesa Norte,» 2019.
- [5] F. Ramadhan, «Rancang Bangun Sistem Pendingin Sekunder Untuk Kabin Mobil Dengan Memanfaatkan Thermoelektrik (TEC),» *JTM-ITI (Jurnal Teknik Mesin ITI)*, vol. 3, n.º 1, págs. 18-22, 2019.
- [6] R. Rifky e Y. S. Gaos, «Pengembangan Model Pendingin Kabin City Car Bertenaga Surya Menggunakan Photovoltaics (PV) dan Thermoelectric (TEC),» *Teknobiz: Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, vol. 10, n.º 1, págs. 34-40, 2020.
- [7] D. A. Barreto Ramírez, «Reducción del aumento de temperatura en los habitáculos de vehículos automóviles estacionados bajo influencia de la radiación solar,» 2024.
- [8] S. Shams, K. Poon, A. Aljunaibi, M. Tariq, F. Salem y D. Ruta, «Solar powered air cooling for idle parked cars: Architecture and implementation,» en *2015 11th International Conference on Innovations in Information Technology (IIT)*, IEEE, 2015, págs. 239-243.
- [9] M. Mansor, U. Abd Rahman, M. Z. Abidin, M. M. Zain y M. M. Yusof, «Variation of car cabin temperature influenced by ventilation under direct sun exposure,» *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, vol. 6, págs. 1014-1023, 2014.

- [10] I. M. Mishal, M. S. Abubakar y R. H. Hiasat, «Solar Powered Ventilation System for Parked Car,» *International Journal of Computer Applications*, vol. 975, pág. 8887,
- [11] H. Al-Rawashdeh, A. O. Hasan, H. A. Al-Shakhanbeh, M. Al-Dhaifallah, M. R. Gomaa y H. Rezk, «Investigation of the effect of solar ventilation on the cabin temperature of vehicles parked under the sun,» *Sustainability*, vol. 13, n.º 24, pág. 13 963, 2021.
- [12] Q. T. Dylan Jesus y J. A. Zemanate Muñoz, «Desarrollo de un sistema de ventilación autónomo para controlar la temperatura interna en la cabina de un automóvil expuesto a la radiación solar directa,» Tesis doct.
- [13] A. Lahimer, M. Alghoul, K. Sopian y N. Khrit, «Potential of solar reflective cover on regulating the car cabin conditions and fuel consumption,» *Applied thermal engineering*, vol. 143, págs. 59-71, 2018.
- [14] I. M. A. Aljubury, A. A. Farhan, M. A. Mussa et al., «Experimental study of interior temperature distribution inside parked automobile cabin,» *Journal of Engineering*, vol. 21, n.º 3, págs. 1-10, 2015.
- [15] M. A. Jeffers, L. Chaney y J. P. Rugh, «Climate control load reduction strategies for electric drive vehicles in warm weather,» National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), inf. téc., 2015.
- [16] A. E. ROMO-GONZALEZ y M. d. I. Á. VILLALOBOS-ALONZO, «Prototipo para el análisis del crecimiento vehicular y de estaciones de monitoreo atmosférico,»
- [17] S. M. Pérez, J. S. Reátegui y A. S. Mendoza, «Contaminación ambiental producida por el tránsito vehicular y sus efectos en la salud humana: revisión de literatura,» *Inventum*, vol. 16, n.º 30, págs. 20-30, 2021.
- [18] S. J. Salih, R. B. Weli y H. D. Lafta, «Effect of a parked car orientation on a temperature distribution and cooling load calculation: experimental study,» *Journal of Engineering*, vol. 29, n.º 03, págs. 98-116, 2023.

- [19] Y. Lv, A. Huang, J. Yang, J. Xu y R. Yang, «Improving cabin thermal environment of parked vehicles under direct sunlight using a daytime radiative cooling cover,» *Applied Thermal Engineering*, vol. 190, pág. 116 776, 2021.
- [20] M. Ahmad, J. A. Turi et al., «Study of air temprature propagation of parked car,» *International Journal of Scientific & Engineering Research Volume*, vol. 9, págs. 1503-1514, 2018.
- [21] P. U. MICHAEL, «Effects of Temperature on a Closed Parked Cabin in a Shaded Area: A Comparative Analysis,» 2021.
- [22] S. Singh, A. Mehta y V. Gupta, «Car Cabin Thermal Accumulation Analysis of At Various Points,» *International Journal of Scientific and Technical Advancements*, vol. 2, n.º 4, págs. 151-154, 2016.
- [23] S. Balakrishnan, J. Paul, A. K. Mahibalu y C. Pauly, «Analysis of temperature rise in a car parked under sunlight its effects and possible solutions,» *International Journal of Automobile Engineering*, vol. 1, n.º 1, 2020.
- [24] Z. Tong y H. Liu, «Modeling in-vehicle VOCs distribution from cabin interior surfaces under solar radiation,» *Sustainability*, vol. 12, n.º 14, pág. 5526, 2020.
- [25] D. L. Longo, «Yoram Epstein, Ph. D., and Ran Yanovich, Ph. D.,» *N Engl J Med*, vol. 380, págs. 2449-59, 2019.
- [26] T. Hifumi, Y. Kondo, K. Shimizu e Y. Miyake, «Heat stroke,» *Journal of intensive care*, vol. 6, págs. 1-8, 2018.
- [27] J. I. B. Álvarez, «Sobre los golpes de calor en “hot cars” como atentado contra animales no humanos, a propósito de dos casos penales en Chile,» en *Derecho Animal. Forum of Animal Law Studies*, vol. 12, 2021, págs. 121-135.
- [28] M. Setiyo, B. Waluyo, N. Widodo, M. L. Rochman, S. Munahar y S. D. Fatmaryanti, «Cooling effect and heat index (HI) assessment on car cabin cooler powered by solar panel in parked car,» *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 28, pág. 101 386, 2021.

- [29] J. García-Santos, L. A. I. Castillo, R. Arteaga-Ramírez y M. Carrillo-García, «Tendencias de los valores de temperatura y lluvia en la cuenca del Río Atoyac, Oaxaca.,» *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, vol. 21, n.º 4, 2024.
- [30] G. Hitge y M. Vanderschuren, «Comparison of travel time between private car and public transport in Cape Town,» *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, vol. 57, n.º 3, págs. 35-43, 2015.
- [31] A. P. T. Zarate, J. A. G. Rojas, S. C. F. Martínez, A. R. Moreno, A. R. Castillo y K. G. B. Vicencio, «Golpe de calor. Reporte de un caso,» 2024.
- [32] C. D. Yic, D. Gindel, J. Pontet y M. Cancela, «Golpe de calor,» *Revista Argentina de Terapia Intensiva*, vol. 33, n.º 4, 2016.
- [33] C. R. Ramírez, G. M. Lizarazo y E. V. Duarte, «Termoelectricidad: uso de las celdas peltier en el campo de la refrigeración y sus principales aplicaciones,» *INVENTUM*, vol. 12, n.º 22, págs. 9-16, 2017.
- [34] C. Nullis, «El IPCC publica el Informe especial sobre el calentamiento global de 1, 5 C,» *Oficina de Comunicación y de Relaciones Públicas de la Organización Meteorológica Mundial*, vol. 67, n.º 2, págs. 1-3, 2018.
- [35] J. I. Osornio-Cárdenas, O. Domínguez-Barreto, A. Miranda-Hernández, F. A. Reyes-Sandoval, E. M. Vargas-Rosas et al., «Energía Solar Térmica,» *TEPEXI Boletín Científico De La Escuela Superior Tepeji Del Río*, vol. 9, n.º 18, págs. 41-43, 2022.
- [36] J. Carrillo, J. Saúl de los Santos Gómez y J. Briones, «Hacia una electromovilidad pública en México,» 2020.
- [37] A. M. Constante, J. B. Ruiz y D. B. Soto, «Automóviles impulsados por energía solar: una revisión,» *Investigación Tecnológica IST Central Técnico*, vol. 2, n.º 2, 2020.
- [38] Olivera, L. D. L. C. D y Alonso, L. M. D, «Modelos de Desarrollo de Software,» *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, vol. 15, n.º 1, 2021.

- [39] Y. A. Çengel et al., «Termodinámica,» 2019.
- [40] Y. Mao, J. Wang y J. Li, «Experimental and numerical study of air flow and temperature variations in an electric vehicle cabin during cooling and heating,» *Applied Thermal Engineering*, vol. 137, págs. 356-367, 2018.
- [41] I. d. J. Soní Castro, A. B. López Oyama y E. Rodríguez González, «La termoelectricidad: convirtiendo el calor en electricidad,» *Revista digital universitaria*, vol. 22, n.º 4, 2021.
- [42] J. A. G. Samaniego, F. T. Romero, J. M. V. Arcos y R. T. H. López, «La Termodinámica Fuera de Equilibrio No Lineal y las Celdas Termoeléctricas,»
- [43] D. Pollock, *Thermocouples: theory and properties*. Routledge, 2018.
- [44] L. F. Melo, «Sensores de Temperatura: Termopares,» *Universidade Estadual de Londrina (UEL)*. Disponível em: < <http://www.uel.br/pessoal/leonimer/termopares.pdf>>. Acesso em, vol. 19, 2018.
- [45] P. J. Quílez Azuara y P. Cea Mingueza, «Fundamentos, perspectivas presentes y futuras de la utilización de moléculas para la conversión de calor en electricidad,»
- [46] Azorín Penalva, A, «Efecto Peltier y desarrollo de posibles aplicaciones técnicas,» Tesis doct., Universitat Politècnica de València, 2018.
- [47] W. R. Fernandes, Z. Á. Tamus y T. Orosz, «Characterization of peltier cell for the use of waste heat of spas,» en *2014 55th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTU CON)*, IEEE, 2014, págs. 43-47.
- [48] W. D. Callister y D. G. Rethwisch, *Ciencia e ingeniería de materiales*. Reverté, 2019.
- [49] F. J. R. Gil y W. M. Rubio, «Diseño de disipadores de calor con el método de optimización topológica,» en *VII Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica, V de Ingeniería Mecatrónica y V Congreso Internacional de Materiales, Energía y Medio*, 2015, págs. 2-5.
- [50] J. Li y L. Yang, «Recent Development of Heat Sink and Related Design Methods,» *Energies*, vol. 16, n.º 20, pág. 7133, 2023.

- [51] J. Gere y B. Goodno, *Mecánica de Materiales* (Ciencias e ingenierías). CENGAGE Learning, 2009, ISBN: 9789708300407. dirección: <https://books.google.com.mx/books?id=DaDfwAEACAAJ>.
- [52] R. Norton, *DISEÑO DE MAQUINARIA* (Elibro Catedra). McGraw-Hill Interamericana de España S.L., 2009, ISBN: 9789701068847. dirección: <https://books.google.com.mx/books?id=XOvPQwAACAAJ>.
- [53] M. Weng, Y. Zhang, F. Liu, A. Liu y H. Zhang, «Optimization of airflow organization in the passenger cabin of special vehicles based on human thermal sensation,» *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 65, pág. 105 678, 2025.
- [54] T. Cuerdo-Vilches, «El aire acondicionado y la COVID-19 en espacios interiores: recomendaciones para generar entornos más seguros,» 2020.

Apéndice A

A. Circuito de control del sistema de reducción de temperatura

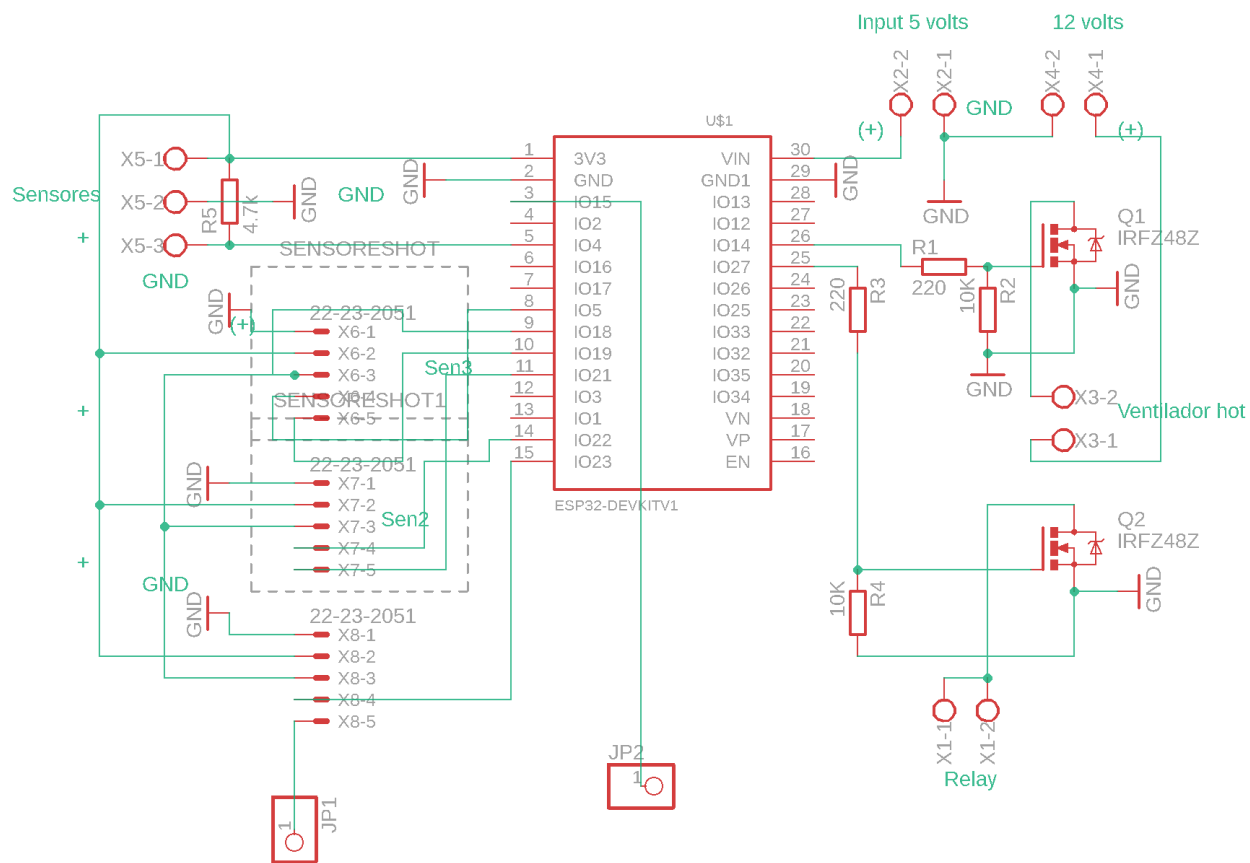


Figura 7.1: Circuito de control.

Apéndice B

B. Circuito del sistema de monitoreo de temperaturas

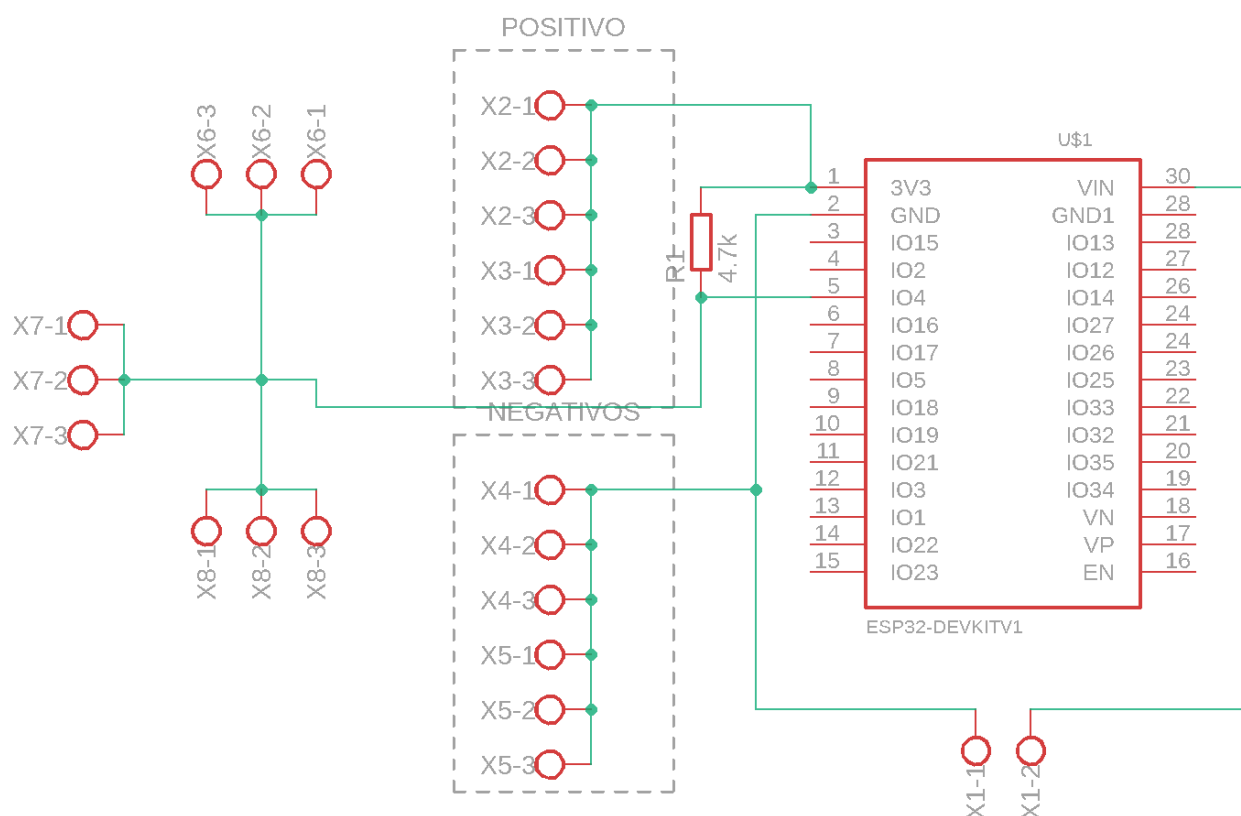
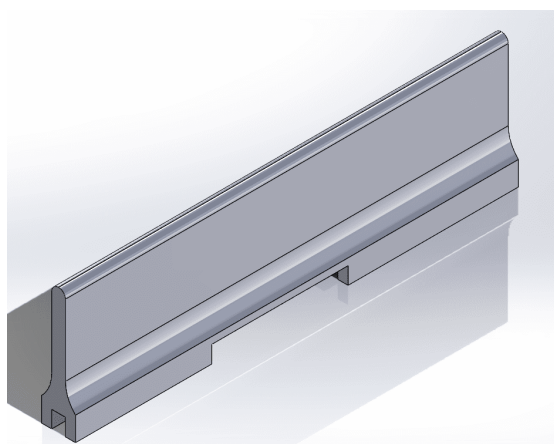


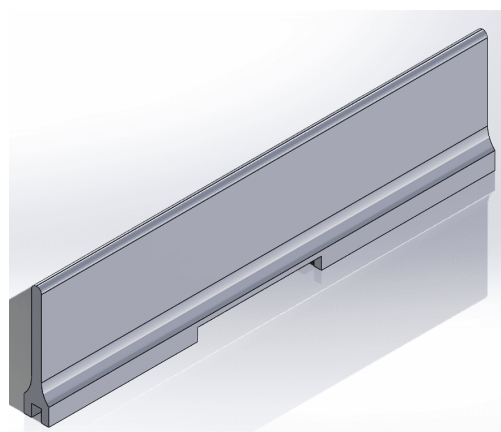
Figura 7.2: Circuito del sistema responsable de registrar las temperaturas dentro de la cabina del vehículo.

Apéndice C

C. Piezas diseñadas para cubrir las aberturas del sistema



(a)



(b)

Figura 7.3: (a) Pieza de sellado para la sección del sistema. (b) Pieza de sellado para la sección de la ventilación forzada.

Apéndice D

D. Base de la ventilación forzada

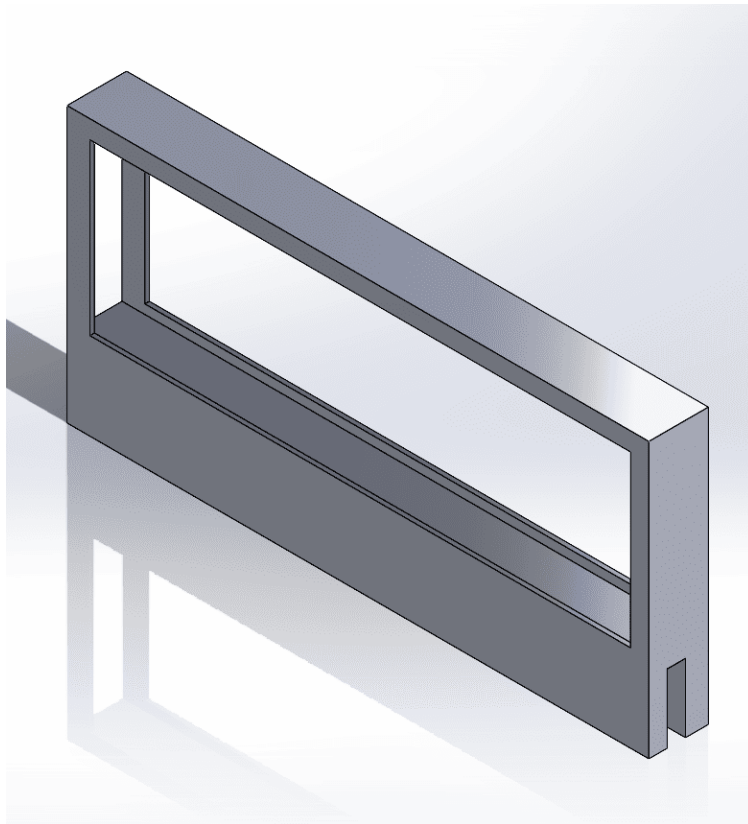


Figura 7.4: Base de los ventiladores de la ventilación forzada.

Apéndice E

E. Código de programación del sistema de reducción de temperatura

```
from machine import I2C, Pin, PWM, Timer
from max6675 import MAX6675
from BLE import BLEUART
import gc
import bluetooth
import onewire
import ds18x20
import time
T_MAX=70
T_MIN=50
ban=0
timer1 = Timer(-1)
timer2 = Timer(-1)
contador_iteraciones = 0
contador_minutos = 0
tiempo_encendido = 0
tiempo_apagado = 0
tiempo_inicio = 0
estado_relay =
relay = Pin(27, Pin.OUT)
```

```

so3 = Pin(19, Pin.IN)
so2 = Pin(21, Pin.IN)
so1 = Pin(15, Pin.IN)
sck = Pin(18, Pin.OUT)
cs3 = Pin(5, Pin.OUT)
cs2 = Pin(22, Pin.OUT)
cs1 = Pin(23, Pin.OUT)
max3 = MAX6675(sck, cs3 , so3)
max2 = MAX6675(sck, cs2, so2)
max1 = MAX6675(sck, cs1, so1)
pwmHOT = PWM( Pin(14), freq=20000)
BUS=Pin(4,Pin.IN)
sensores=ds18x20.DS18X20(OneWire(BUS))
roms=sensores.scan()
Time_C_On = 80000
Time_C_Off  = 15000
name = "SISTEMA"
ble=bluetooth.BLE()
uart=BLEUART(ble,name)
relay.value(0)
pwmHOT.duty(0)
run_cycle = False

def enviar_guardar_temperaturas(timer):
    global contador_iteraciones, contador_minutos
    tempC3 = max3.read()
    tempC2 = max2.read()
    tempC1 = max1.read()

```

```

uart.write("HOT_T1: {:.1f}\n".format(tempC3))
uart.write("HOT_T2: {:.1f}\n".format(tempC2))
uart.write("HOT_T3: {:.1f}\n".format(tempC1))
sensores.convert_temp()

for rom in roms:
    temp=sensores.read_temp(rom)
    CodRom=''.join('{:02x}'.format(b) for b in rom)[-4:]
    if CodRom == "48e2":
        uart.write("T_Int: {:.1f}\n".format(temp))
    else:
        uart.write("COLD_T: {:.1f}\n".format(temp))
contador_iteraciones += 1
if contador_iteraciones >= 60:
    with open("/datos_sensores.txt", "a") as archivo:
        archivo.write("{} , HOT_T1, {:.1f}\n".format(
            contador_minutos, tempC3))
        archivo.write("{} , HOT_T2, {:.1f}\n".format(
            contador_minutos, tempC2))
        archivo.write("{} , HOT_T3, {:.1f}\n".format(
            contador_minutos, tempC1))
        sensores.convert_temp()
        for rom in roms:
            temp = sensores.read_temp(rom)
            CodRom = ''.join('{:02x}'.format(b) for b in rom)[-4:]
            if CodRom == "48e2":
                archivo.write("{} , T_Int, {:.1f}\n".format(
                    contador_minutos, temp))
            if CodRom == "1b2f":

```

```

        archivo.write("{}," + COLD_T + " {:.1f}\n".format(
            contador_minutos, temp))

    contador_iteraciones = 0
    contador_minutos += 2
    if contador_minutos > 210:
        timer.deinit()
timer1.init(period=2000, mode=Timer.PERIODIC, callback=
    enviar_guardar_temperaturas)

def on_rx():
    while uart.any():
        dato = uart.read().decode().strip()
        SCP(dato)
uart.irq(handler=on_rx)

def guardar_tiempos(estados, tiempo):
    with open("/tiempos_relay.txt", "a") as archivo:
        archivo.write(f"{estados}, {tiempo:.2f}\n")

def SCP(Act):
    global ban, run_cycle
    if Act=="1":
        ban=1
        uart.write("Extractor_ON\n")
    if Act=="2":
        ban=2
        run_cycle = True
    elif Act=="0":

```

```

        uart.write("OFF%\n")

        relay.value(0)

        pwmHOT.duty(0)

        ban=0

        run_cycle = False

def C_CP():

    global run_cycle, tiempo_inicio, estado_relay, tiempo_encendido,
        tiempo_apagado,ban

    con_t=0

    T_inicio = time.ticks_ms()

    pwmHOT.duty(1000)

    while time.ticks_diff(time.ticks_ms(), T_inicio) < Time_C_On:

        gc.collect()

        tempC3=max3.read()

        tempC2=max2.read()

        tempC1=max1.read()

        if run_cycle == False:

            break

        if (tempC3>=T_MAX or tempC2>=T_MAX or tempC1>=T_MAX ):

            if estado_relay == "ON":

                tiempo_encendido = time.ticks_diff(time.ticks_ms(),
                    tiempo_inicio) / 1000.0

                guardar_tiempos("ON", tiempo_encendido)

                relay.value(0)

                estado_relay = "OFF"

            if con_t==1:

                tiempo_inicio = time.ticks_ms()

```

```

        con_t=0

    if (tempC3<=T_MIN and tempC2<=T_MIN and tempC1<=T_MIN):
        relay.value(1)

        if estado_relay == "OFF":
            tiempo_apagado = time.ticks_diff(time.ticks_ms(),
                                                tiempo_inicio) / 1000.0
            guardar_tiempos("OFF", tiempo_apagado)
            estado_relay = "ON"

            if con_t==0:
                tiempo_inicio = time.ticks_ms()
                con_t=1

            time.sleep(0.1)
        if estado_relay == "ON":
            tiempo_encendido = time.ticks_diff(time.ticks_ms(),
                                                  tiempo_inicio) / 1000.0
            guardar_tiempos("ON", tiempo_encendido)
        if estado_relay == "OFF":
            tiempo_apagado = time.ticks_diff(time.ticks_ms(), tiempo_inicio
                                                ) / 1000.0
            guardar_tiempos("OFF", tiempo_apagado)
        relay.value(0)
        estado_relay = "OFF"

        if ban==0:
            guardar_tiempos("Modo2_OFF", 0)
        else:
            tiempo_inicio = time.ticks_ms()

def CP_OFF():

```

```

global run_cycle

T_inicio = time.time()

pwmHOT.duty(1000)

while time.time()-T_inicio < Time_C_Off:

    if not run_cycle:

        break

    time.sleep(0.1)

while True:

    if ban==1:

        pwmHOT.duty(900)

    if ban==2:

        C_CP()

        CP_OFF()

    if ban==0:

        relay.value(0)

        pwmHOT.duty(0)

        ban=0

        run_cycle = False

    time.sleep(1)

```

