

**AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL
TEXTO COMPLETO**

Puerto Colombia, **05/03/2024**

Señores

DEPARTAMENTO DE BIBLIOTECAS

Universidad del Atlántico

Ciudad

Asunto: Autorización Trabajo de Grado

Cordial saludo,

Yo, **Daniel Andrés Barreto Ramírez.**, identificado(a) con **C.C. No. 1.140.866.826** de **Barranquilla**, autor(a) del trabajo de grado titulado **Reducción del Aumento de Temperatura en los Habitáculos de Vehículos Automóviles Estacionados Bajo Influencia de la Radiación Solar** presentado y aprobado en el año **2024** como requisito para optar al título Profesional de **Ingeniero Mecánico**; autorizo al Departamento de Bibliotecas de la Universidad del Atlántico para que, con fines académicos, la producción académica, literaria, intelectual de la Universidad del Atlántico sea divulgada a nivel nacional e internacional a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios del Departamento de Bibliotecas de la Universidad del Atlántico pueden consultar el contenido de este trabajo de grado en la página Web institucional, en el Repositorio Digital y en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad del Atlántico.
- Permitir consulta, reproducción y citación a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD-ROM o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

Esto de conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Atentamente,


Daniel Andrés Barreto Ramírez.

C.C. No. 1.140.866.826 de Barranquilla

DECLARACIÓN DE AUSENCIA DE PLAGIO EN TRABAJO ACADÉMICO PARA GRADO

Puerto Colombia, **05/03/2024**

Una vez obtenido el visto bueno del director del trabajo y los evaluadores, presenté al **Departamento de Bibliotecas** el resultado académico de mi formación profesional o posgradual. Asimismo, declaro y entiendo lo siguiente:

- El trabajo académico es original y se realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, en consecuencia, la obra es de mi exclusiva autoría y detento la titularidad sobre la misma.
- Asumo total responsabilidad por el contenido del trabajo académico.
- Eximo a la Universidad del Atlántico, quien actúa como un tercero de buena fe, contra cualquier daño o perjuicio originado en la reclamación de los derechos de este documento, por parte de terceros.
- Las fuentes citadas han sido debidamente referenciadas en el mismo.
- El (los) autor (es) declara (n) que conoce (n) lo consignado en el trabajo académico debido a que contribuyeron en su elaboración y aprobaron esta versión adjunta.

Título del trabajo académico:	Reducción del Aumento de Temperatura en los Habitáculos de Vehículos Automóviles Estacionados Bajo Influencia de la Radiación Solar
Programa académico:	Ingeniero Mecánico.

Firma de Autor 1:							
Nombres y Apellidos:	Daniel Andrés Barreto Ramírez						
Documento de Identificación:	CC	X	CE	PA	Número:	1.140.866.826	
Nacionalidad:	Colombia			Lugar de residencia:	Barranquilla		
Dirección de residencia:	Cra 26a #123 - 51						
Teléfono:				Celular:	300 7368748		



FORMULARIO DESCRIPTIVO DEL TRABAJO DE GRADO

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO DE GRADO	REDUCCIÓN DEL AUMENTO DE TEMPERATURA EN LOS HABITÁCULOS DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES ESTACIONADOS BAJO INFLUENCIA DE LA RADIACIÓN SOLAR
AUTOR(A) (ES)	DANIEL ANDRES BARRETO RAMIREZ.
DIRECTOR (A)	CRISTIAN ANTONIO PEDRAZA YEPES.
CO-DIRECTOR (A)	No Aplica.
JURADOS	EUGENIO YIME RODRIGUEZ. JOSÉ DANIEL HERNANDEZ VAZQUES
TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE	INGENIERO MECÁNICO.
PROGRAMA	INGENIERÍA MECÁNICA
PREGRADO / POSTGRADO	PREGRADO
FACULTAD	INGENIERÍA
SEDE INSTITUCIONAL	SEDE NORTE.
AÑO DE PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO	2024
NÚMERO DE PÁGINAS	50
TIPO DE ILUSTRACIONES	Ilustraciones, Tablas, gráficos y diagramas, y Fotografías.
MATERIAL ANEXO (VÍDEO, AUDIO, MULTIMEDIA O PRODUCCIÓN ELECTRÓNICA)	PRODUCCIÓN ELECTRÓNICA
PREMIO O RECONOCIMIENTO	No Aplica



**REDUCCIÓN DEL AUMENTO DE TEMPERATURA EN LOS HABITÁCULOS DE
VEHÍCULOS AUTOMÓVILES ESTACIONADOS BAJO INFLUENCIA DE LA
RADIACIÓN SOLAR**

DANIEL ANDRES BARRETO RAMIREZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO

PUERTO COLOMBIA

2024



**REDUCCIÓN DEL AUMENTO DE TEMPERATURA EN LOS HABITÁCULOS DE
VEHÍCULOS AUTOMÓVILES ESTACIONADOS BAJO INFLUENCIA DE LA
RADIACIÓN SOLAR**

DANIEL ANDRES BARRETO RAMIREZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

CRISTIAN ANTONIO PEDRAZA YEPES

ING. M.Sc.

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO

PUERTO COLOMBIA

2024

NOTA DE ACEPTACIÓN

Trabajo aprobado

Nota 4.1

DIRECTOR(A)

Cristian Pedraza

JURADO(A)S

José Hernández

Eugenio Yime

*Dedicado a todas aquellas personas que ven justicia en el esfuerzo y la disciplina
para progresar y ser mejores personas.
Sin importar su condición, nunca decaigan ante sus sueños.*

AGRADECIMIENTOS

En el presente proyecto se agradece los siguientes catedráticos:

1. Al Ing. Cristian Pedraza por su constante guía e interés. Por brindar sus conocimientos, herramientas y ser la persona responsable de hacer esta investigación posible.
2. Al Ing. Oscar Higuera por la tutoría y préstamo de herramientas sin las cuales el proyecto no podría haber salido adelante.
3. A todos los docentes del programa de ingeniería mecánica de la universidad del Atlántico, sin ellos no seríamos los excelentes profesionales que somos ahora.

Y a nivel personal:

A Rosa Ramírez, por brindar todo su apoyo, entendimiento y paciencia durante estos años de carrera, este triunfo no es solo mío sino tuyo también.

A la familia Ramírez García por sus constantes fuerzas y apoyo a pesar de todas las dificultades, por siempre brindar una mano y estar allí.

A Osvaldo Barreto por nunca negar una mano ante cualquier inquietud y siempre apoyar al necesitar ayuda.

REDUCCIÓN DEL AUMENTO DE TEMPERATURA EN LOS HABITÁCULOS DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES ESTACIONADOS BAJO INFLUENCIA DE LA RADIACIÓN SOLAR

RESUMEN

En el estudio del fenómeno del incremento de temperatura en el habitáculo del automóvil causado por la incidencia de la radiación solar, se midió la temperatura en dos lugares del vehículo (en el asiento del conductor y en el asiento trasero) de dos marcas de automóvil diferentes; Se recopilaron estos datos para generar un análisis y compararlo con una simulación asistida por *SOLIDWORKS®* y *ANSYS®* para su validación. Por último, se realiza una propuesta de un mecanismo capaz de mitigar el aumento de temperatura que se genera, este se simula en el habitáculo; Este trabajo deja una ayuda en futuros estudios del fenómeno, además de soluciones a la mitigación del problema.

PALABRAS CLAVE: Radiación solar, Habitáculo de automóvil, mitigar aumento de temperatura.

ABSTRACT

In the study of the phenomenon of temperature increase in the passenger compartment of the car caused by the incidence of solar radiation, the temperature was measured in two places of the vehicle (in the driver's seat and in the back seat) of two different car brands; These data were collected to generate an analysis and compare it with a simulation assisted by *SOLIDWORKS®* and *ANSYS®* for validation. Finally, a proposal is made for a mechanism capable of mitigating the temperature increase that is generated, this is simulated in the passenger compartment; This work leaves a help in future studies of the phenomenon, in addition to solutions to mitigate the problem.

KEYS WORDS: Solar radiation, the passenger compartment of the car, mitigating the temperature increase.

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	1
LISTA DE FIGURAS	1
LISTA DE ECUACIONES	1
LISTA DE SÍMBOLOS	2
GLOSARIO	3
1.	4
2.	7
2.1	7
2.2	7
3.	8
3.1	8
3.2	8
4.	9
5.	13
5.1. Investigaciones del fenómeno del aumento de temperatura en habitáculos	13
5.2. Investigaciones de este fenómeno en habitáculos de vehículos	14
5.3. Investigaciones de reducción de temperatura en automóviles	18
6.	21
7.	23
7.1.	23
7.2.	24
8.	25
8.1.	25
8.2.	25
8.3.	26
8.4.	27
8.5.	29
9.	30
9.1.	30
9.2.	31

10. 35

11. 36

12. 40

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Especificaciones de la celda Peltier TEC1 - 12706</i>	29
<i>Tabla 2. Temperaturas de la cabina en los ocho puntos más la carrocería y los vidrios.</i>	32

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Progreso del almacenamiento y disipación de calor en habitáculo. Fuente: [22]</i>	14
<i>Figura 2. Distribución de temperatura de la cabina de un automóvil recién estacionado vs uno después de un proceso de enfriamiento. Fuente: [28]</i>	15
<i>Figura 3. Esquemática de la temperatura corporal bajo diferentes valores de humedad. Fuente: [32]</i>	16
<i>Figura 4. Distribución de temperatura en una cabina de un vehículo eléctrico. Fuente: [37]</i>	18
<i>Figura 5: Cobertura sugerida. Fuente: [42]</i>	19
<i>Figura 6. Car-Cool, mecanismo propuesto en el año 2013 para la reducción de la temperatura en cabinas de automóviles. Fuente: [45]</i>	20
<i>Figura 7. Metodología de trabajo.</i>	22
<i>Figura 8. Vehículos utilizados para el estudio.</i>	23
<i>Figura 9. Esquema del montaje del equipo de trabajo en el habitáculo del vehículo</i>	24
<i>Figura 10. Diseño de la cabina del automóvil en SOLIDWORKS®.</i>	25
<i>Figura 11. Submenú del motor Fluent y orden en el que debe ser usado.</i>	26
<i>Figura 12. Espectro de métricas de malla (Oblicuidad y calidad ortogonal). Fuente: [49]</i>	26
<i>Figura 13. Malla de la cabina del vehículo.</i>	27
<i>Figura 14. Parámetros generales de la simulación(A) y configuración de los modelos (B) en ANSYS®.</i>	27
<i>Figura 15. Resultado de las iteraciones al simular el fenómeno de temperatura en el sólido.</i>	28
<i>Figura 16. Posiciones de las celdas de peltier en la cabina del vehículo.</i>	29
<i>Figura 17. Proyecciones de temperatura en los últimos 6 días.</i>	30
<i>Figura 18. Temperatura del volumen de control de aire en la cabina sin enfriamiento (A) y con enfriamiento (B) .</i>	31
<i>Figura 19. Temperatura del aire cuando está en contacto con la carrocería sin enfriamiento (A) y con enfriamiento (B).</i>	31
<i>Figura 20. Planos usados en el volumen de control por la herramienta contornos de ANSYS®.</i>	32

LISTA DE ANEXOS

<i>Anexo 1. Código de Arduino para la toma de datos</i>	39
<i>Anexo 2. Certificados de calibración de los sensores.</i>	42

LISTA DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1. Razón de conducción de calor a través de una capa plana.</i>	9
<i>Ecuación 2. Ley de Fourier de la conducción del calor</i>	10
<i>Ecuación 3. ley de Newton del enfriamiento</i>	11
<i>Ecuación 4. ley de Stefan-Boltzmann</i>	12
<i>Ecuación 5. radiación emitida por todas las superficies reales</i>	12

LISTA DE SÍMBOLOS

Simbolo	Nombre	Unidad
k	Conductividad Térmica	$W/m \cdot K$
Q	Flujo de calor	W
A	Área	m^2
T	Temperatura	K
Δx	Distancia en el material	m
Q_{cond}	Flujo de calor convectivo	W
h	Coefficiente de transferencia de calor	$W/m \cdot K$
A_s	Área superficial	m^2
T_∞	Temperatura del fluido	K
T_s	Temperatura de la superficie	K
σ	Constante de Stefan-Boltzmann	
ϵ	Emisividad de la superficie	

GLOSARIO

CFD: Simulación de dinámica de fluidos computacional (Computational Fluid Dynamics) es una herramienta virtual que genera predicciones cuantitativas precisas de interacciones fluidas y compensaciones.

ITEM: Refiérase a cualquier botón en el área de trabajo del software de simulación que genere una respuesta ante una pulsación.

BLACKOUT: Cubierta protectora que se le instala al parabrisas de los automóviles para reducir la filtración de luz solar en la cabina.

PCM: Phase change material o material de cambio de fase son materiales con un alto calor latente que, a la temperatura de cambio de fase, son capaces de almacenar o liberar grandes cantidades de energía.

1. INTRODUCCIÓN

Desde la invención del automóvil se solucionaron muchos problemas de movilidad y transporte, razón por la cual se ha instaurado como el vehículo más exitoso a nivel mundial. Sin embargo, con su salida al mercado, se han implementado mejoras en su diseño, para optimizar su funcionamiento y corregir múltiples problemas que dejaban grandes inconformidades entre sus usuarios. Problemas tales como eficiencia y estética han sido los más abordados y por ende los que han recibido mayor innovación, pero en el aspecto de comodidad y confort aún se presentan algunas falencias.

Uno de los principales problemas relacionados al tema del confort, son las altas temperaturas que puede alcanzar el recinto dispuesto para los pasajeros y el conductor en un automóvil, especialmente cuando este no está en uso, y estacionado bajo la influencia de la radiación solar, [1] provocando lo que podría llamarse un efecto invernadero. [2] Este fenómeno térmico se ve mayormente a alta escala en nuestro planeta, y se debe a que ciertos gases retienen parte de la energía emitida por el suelo tras haber sido calentado por la radiación solar, provocando un efecto de calentamiento similar al que ocurre en un invernadero, con una elevación de la temperatura. [3] Ahora bien, si se compara el fenómeno como tal, con el aumento de temperatura en la cabina vehicular se puede hacer una similitud bastante aproximada entre ellos, esto gracias a que los accesorios e implementos presentes dentro de este recinto (tapicería, cristalería, tapetes, entre otros), funcionan como almacenadores de energía en forma de calor, la cual no podrá ser disipada fácilmente, ya que las paredes del vehículo harían el papel de retenedores, al igual que los gases presentes en la atmósfera terrestre. [4]

Diferentes soluciones se han planteado para atacar la problemática del efecto invernadero en un automóvil estacionado, la mayoría de estas proponen usar energía solar como medio de alimentación a un dispositivo capaz de reducir la temperatura en el espacio del conductor. En torno a este tema se han hecho diferentes propuestas para mitigar los efectos de este fenómeno, por ejemplo, se ha propuesto el uso de un módulo de cambio de fase a frío, o por sus siglas en inglés PCM (Phase-Change Module), el cual genera intercambio de calor entre el aire de la cabina y el módulo, lo cual genera una reducción de la temperatura de hasta 30°C; el módulo es alimentado por un súper capacitor, el cual a su vez, recibe electricidad generada a partir de la energía solar que a través de un panel fotovoltaico. [5] En otras investigaciones, también se ha considerado el uso paneles solares para la obtención energía eléctrica, la cual se almacena en un súper capacitor por vía inalámbrica, con la cual se puede activar el sistema de regulación de temperatura del automóvil, obteniendo una reducción de hasta 4.2°C. [6] En estudios similares al anterior, el súper capacitor alimenta ventiladores de corriente directa para la remoción de aire caliente en la cabina del automóvil. [7] Una última

cita nos demuestra que no es necesario usar siempre energía solar en todos los casos, ya que en este caso particular, se emplea un compresor portátil de aire líquido, el cual al ser liberado, logra una reducción de temperatura de hasta 15.2°C, pero esto luego de 60 segundos de espera. [8]

En los últimos años, la celda de Peltier ha llamado mucho la atención por su versatilidad en espacios donde se necesite enfriamiento (mayormente en espacios reducidos) y su precisión al alcanzar una temperatura deseada, sin embargo, sus eficiencias no han sido muy elevadas. Es por eso que la caracterización y el modelado de la celda ha tomado suma importancia en investigaciones para su posterior mejora. Estudios usan herramientas tanto experimentales como computacionales para este propósito. [9] Las celdas son usadas muchas veces en pequeños aires acondicionados, el análisis del efecto del flujo y parámetros termodinámicos (flujo del aire, temperatura del aire, flujo del agua, temperatura del agua, voltaje, amperaje, etc) toma importancia para su construcción arrojando, por ejemplo, curvas del rendimiento en las cuales se puede observar el rendimiento exergético al ser suministrado varios valores de voltaje que ayudan a la creación de estos sistemas. [10] Además, la optimización de estos sistemas de enfriamiento ha llevado incluso al uso de celdas fotovoltaicas como medio de alimentación para módulos de enfriamientos termo voltaicos dejando modelos teóricos y simulaciones. [11] Otras veces, pueden usarse como alternativa de refrigeración a los componentes electrónicos de máquinas demostrando ser una buena alternativa, por medio líquido para los componentes activos, y por flujo de aire para componentes más pasivos. [12] Otra de las aplicaciones es en sistemas de refrigeración magneto-calóricos, los cuales son alternativas para las tecnologías de compresión de vapor. En este caso, las celdas de Peltier son usadas como diodos termales capaces de guiar el calor desde el punto frío hasta el punto caliente asegurando que la transferencia de calor sea al punto deseado. [13]

Los paneles solares o celdas fotovoltaicas se han posicionado como el futuro de la producción de energía, tanto así, que la producción de material relacionado a estos sigue llegando a la luz diariamente y todavía está en constante mejora de la eficiencia general. Esto se debe a sus múltiples aplicaciones y provechos en campos como la construcción, sistemas de refrigeración, maquinarias entre otros. [14] En países como Colombia, ya se está investigando la viabilidad de implementar la energía fotovoltaica como una fuente principal de energía en hogares y la industria enfrentando leyes que regulan el uso de energías alternativas. Esto, porque en zonas no interconectadas (ZNI) la radiación potencial alcanza niveles extremadamente altos, haciendo abundante la recolección de energía solar en esos puntos. [15] Sabiendo entonces que esta es una fuente gratuita, limpia y abundante de energía se busca siempre cubrir o mitigar las desventajas de tiempo de vida y rendimiento que son las más fuertes que los paneles manejan. Estudios enfocados en uno o varios paneles nos ayudan a estar al tanto del progreso del rendimiento del panel, aprovechando las herramientas computacionales y validando con datos

experimentales podemos saber qué enfoque encaminar a futuras investigaciones. [16] Ahora, existen sistemas que se integran con las celdas fotovoltaicas para lograr alguna tarea aprovechando ventajas y debilidades entre ambos, como el caso de un sistema híbrido fotovoltaico-termoeléctrico en el cual la eficiencia de la celda fotovoltaica disminuye con el aumento de temperatura, pero la eficiencia del termoeléctrico aumenta lo que significa un reto de ingeniería la integración de ambos en un estado aceptable. [17]

En el presente proyecto, se propone realizar una profundización entre las opciones anteriormente mencionadas de forma analítica, con el fin de determinar la que podría ser la opción más viable para la elaboración de un nuevo dispositivo encaminado a la mitigación del aumento excesivo de la temperatura dentro del automóvil causado por la influencia del sol, teniendo criterios claros en los aspectos de comodidad, confort y conformidad de los potenciales usuarios a los que iría encaminado el producto en cuestión.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un dispositivo para la reducción de la temperatura en el habitáculo de un vehículo estacionado bajo la influencia de la radiación solar

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar el fenómeno que se presenta en el habitáculo del vehículo para cuantificar los factores que influyen en él.
- Analizar diferentes mecanismos que permitan disminuir y equilibrar la temperatura dentro del recinto.
- Seleccionar, a partir de los mecanismos analizados, la opción de mayor viabilidad para la definición de cada uno de los elementos que conforman el dispositivo.
- Simular las condiciones de operación mediante herramientas computacionales, con fin de corroborar el asertivo dimensionamiento.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DE PROBLEMAS

Con el fin de minimizar el aumento de la temperatura en el automóvil se hace necesario la creación de un dispositivo capaz de disipar las temperaturas en espacios confinados y reducidos, para ello se cuenta con la ayuda de el modelado de la cabina del automóvil en *SOLIDWORKS®*, este, nos ayuda a generar un volumen de control que luego es exportado a *ANSYS®* para simular el comportamiento de la temperatura y su disminución por causa del dispositivo propuesto.

Por consiguiente, para que exista una validación de los datos que se simulan, se realizan tomas experimentales del fenómeno, y esto, junto con la teoría valida que la información expuesta es confiable.

A su vez se tienen en cuenta factores como lo son la humedad, el tamaño de la cabina o el material de cada uno de los objetos en el automóvil en el estudio, con el fin de ver si alteran significativamente la información recolectada de temperatura.

3.2. JUSTIFICACIÓN

La finalidad de este proyecto es proponer un dispositivo capaz de reducir las temperaturas que se presentan en el habitáculo de los automóviles expuestos al sol, esto ayuda a reducir la disconformidad que presentan las personas al momento de ingresar al vehículo además de reducir lesiones causadas por la hipertermia.

Por esto, estudiar cómo se comporta este fenómeno de forma experimental y comparar estos resultados por medio de simulación se hace necesario para entender qué propuesta se puede realizar ante el problema.

Estos hallazgos contribuyen a futuros estudios del fenómeno y resalta cómo esto afecta a las personas a diario. Más estudios de este caso serán necesarios para llegar a conclusiones que de verdad generen cambios en materia a estos temas.

4. MARCO CONCEPTUAL

Se define el calor como la forma de energía que se puede transferir de un sistema a otro, como resultado de la diferencia de temperatura. Un análisis termodinámico se interesa en la cantidad de transferencia de calor conforme un sistema pasa por un proceso, de un estado de equilibrio a otro. La ciencia que trata de la determinación de las razones de esas transferencias de energía es la transferencia de calor. La transferencia de energía como calor siempre se produce del medio que tiene la temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja, y el proceso se detiene cuando los dos medios alcanzan la misma temperatura.

El calor se puede transferir en tres modos diferentes: conducción, convección y radiación. Todos los modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja. En seguida se da una breve descripción de cada modo.

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres. La rapidez o razón de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de éste, su espesor y el material de que esté hecho, así como de la diferencia de temperatura a través de él. Entre más grueso sea el aislamiento de un cuerpo, menor será la pérdida de calor.

La razón de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de ésta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa, como representa en expresión,

$$Q = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = kA \frac{\Delta T}{\Delta x},$$

Ecuación 1. Razón de conducción de calor a través de una capa plana.

donde la constante de proporcionalidad k es la conductividad térmica del material, que es una medida de la capacidad de un material para conducir calor. En el caso límite de $\Delta x \rightarrow 0$, la ecuación que acaba de darse se reduce a la forma diferencial

$$Q_{cond} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x},$$

Ecuación 2. Ley de Fourier de la conducción del calor

la cual se llama ley de Fourier de la conducción del calor, en honor de J. Fourier, quien la expresó por primera vez en su texto sobre transferencia de calor en 1822. Aquí, dT/dx es el gradiente de temperatura, el cual es la pendiente de la curva de temperatura en un diagrama T-x (la razón de cambio de T con respecto a x), en la ubicación x. La relación antes dada indica que la razón de conducción del calor en una dirección es proporcional al gradiente de temperatura en esa dirección. El calor es conducido en la dirección de la temperatura decreciente y el gradiente de temperatura se vuelve negativo cuando esta última decrece al crecer x. El signo negativo en la ecuación anteriormente presentada garantiza que la transferencia de calor en la dirección x positiva sea una cantidad positiva.

La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. En ausencia de cualquier movimiento masivo de fluido, la transferencia de calor entre una superficie sólida y el fluido adyacente es por conducción pura. La presencia de movimiento masivo del fluido acrecienta la transferencia de calor entre la superficie sólida y el fluido, pero también complica la determinación de las razones de esa transferencia.

La convección recibe el nombre de convección forzada si el fluido es forzado a fluir sobre la superficie mediante medios externos como un ventilador, una bomba o el viento. Como contraste, se dice que es convección natural (o libre) si el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje que son inducidas por las diferencias de densidad debidas a la variación de la temperatura en ese fluido. La transferencia de calor entre el bloque y el aire circundante será por conducción si la diferencia de temperatura entre el aire y el bloque no es suficientemente grande como para vencer la resistencia de ese aire al movimiento y, por consiguiente, para iniciar corrientes naturales de convección.

Los procesos de transferencia de calor que comprenden cambio de fase de un fluido también se consideran como convección a causa del movimiento de ese fluido inducido durante el proceso, como la elevación de las burbujas de vapor durante la ebullición o la caída de las gotitas de líquido durante la condensación.

A pesar de la complejidad de la convección, se observa que la rapidez de la transferencia de calor por convección es proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa en forma conveniente por la ley de Newton del enfriamiento.

$$Q_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty),$$

Ecuación 3. ley de Newton del enfriamiento

donde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección, en $W/m^2 \cdot ^\circ C$ o $Btu/h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F$, A_s es el área superficial a través de la cual tiene lugar la transferencia de calor por convección, T_s es la temperatura de la superficie y T_∞ es la temperatura del fluido suficientemente alejado de esta superficie. Note que en la superficie la temperatura del fluido es igual a la del sólido. El coeficiente de transferencia de calor por convección h no es una propiedad del fluido. Es un parámetro que se determina en forma experimental y cuyo valor depende de todas las variables que influyen sobre la convección, como la configuración geométrica de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido, las propiedades de éste y la velocidad masiva del mismo.

La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor. De hecho, la transferencia de calor por radiación es la más rápida (a la velocidad de la luz) y no sufre atenuación en un vacío. Ésta es la manera en la que la energía del Sol llega a la Tierra. En los estudios de transferencia de calor es de interés la radiación térmica, que es la forma de radiación emitida por los cuerpos debido a su temperatura.

Es diferente de las otras formas de radiación, como los rayos X, los rayos gamma, las microondas, las ondas de radio y de televisión, que no están relacionadas con la temperatura. Todos los cuerpos a una temperatura arriba del cero absoluto emiten radiación térmica.

La radiación es un fenómeno volumétrico y todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o transmiten radiación en diversos grados. Sin embargo, la radiación suele considerarse como un fenómeno superficial para los sólidos que son opacos a la radiación térmica, como los metales, la madera y las rocas, ya que las radiaciones emitidas por las regiones interiores de un material de ese tipo nunca pueden llegar a la superficie, y la radiación incidente sobre esos cuerpos suele absorberse en unas cuantas micras hacia adentro de dichos sólidos.

La razón máxima de la radiación que se puede emitir desde una superficie a una temperatura termodinámica T_s (en K o R) es expresada por la ley de Stefan-Boltzmann como

$$Q_{(emitida,máx)} = \sigma A_s T_s^4$$

Ecuación 4. ley de Stefan-Boltzmann

donde $\sigma = 5.67 \times 10^8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$, o bien, $0.1714 \times 10^8 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{R}^4$ es la constante de Stefan-Boltzmann. La superficie idealizada que emite radiación a esta razón máxima se llama cuerpo negro y la radiación emitida por éste es la radiación del cuerpo negro. La radiación emitida por todas las superficies reales es menor que la emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura y se expresa como

$$Q_{(emitida,máx)} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4$$

Ecuación 5. radiación emitida por todas las superficies reales

en donde ε es la emisividad de la superficie. La emisividad cuyo valor está en el intervalo $0 \leq \varepsilon \leq 1$, es una medida de cuán próxima está una superficie de ser un cuerpo negro, para el cual $\varepsilon = 1$. [18]

5. ESTADO DEL ARTE

5.1. Investigaciones del fenómeno del aumento de temperatura en habitáculos

Desde hace unos años, existe la preocupación por investigar fenómenos de incremento de temperatura en recintos confinados además de simular como es la distribución de aire para así tener una idea más acertada de cómo funciona el fenómeno, esto lo demuestra H. Xue simulando un modelo CFD de un edificio residencial de diez y seis pisos, en el cual la transferencia de calor ocasionada por las paredes es la clave para un buen resultado. [19].

Estos estudios no son solamente con enfoque en cualquier época del año, E. Bourdakís, para garantizar las condiciones más críticas de temperatura optó por esperar estaciones que garanticen las temperaturas más altas y así entregar resultados críticos ante el incremento de temperatura presentado, en su caso durante el verano en la ciudad de Danish; por eso preparo un espacio con diferentes temperaturas que se presentan en la estación antes dicha, con el objetivo de, a través de un muestreo con veinticinco personas, observar el confort que estas tenían en su espacio de trabajo. [20]

Sin embargo, las investigaciones que más se parecen al fenómeno trabajado, son las que se refieren al efecto invernadero, a pesar que este sea un efecto estudiado a gran escala [2] debido al cómo afecta este fenómeno a nivel global al deterioro del planeta y la disconformidad de los seres en el mismo [21]. Existen investigaciones en ambientes y usos más específicos que datan del año 1987 y son importantes porque ayudan a una mayor producción de alimentos, si se llegan a las condiciones idóneas de temperatura, incluso se puede llegar a cultivar frutas y verduras que no están en estación gracias a este ambiente controlado que se genera. Pero esto no es fácil, como se demuestra en un estudio, donde en la Figura 1, se muestra su conclusión ante ciertas condiciones de la energía almacenada en un habitáculo y como esta se disipa a lo largo del día, para posteriormente analizarlo en como esta beneficia a la agricultura. [22]

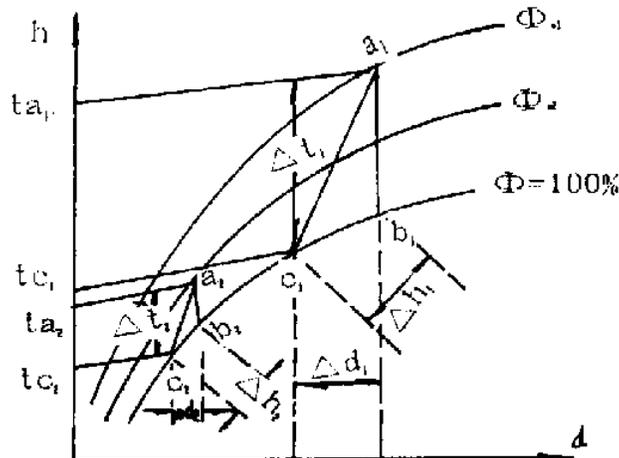


Figura 1. Progreso del almacenamiento y disipación de calor en habitáculo. Fuente: [22]

M. Omid basado en estos estudios, en 2005 realiza entonces un análisis de los softwares, creados hasta esa fecha, que regulan la temperatura en un domo de efecto invernadero, es entonces que se puede llegar a observar que, a pesar de no tener muchos avances tecnológicos, por la teoría realizada se llega a un control eficiente del fenómeno, llegando a la finalidad de incrementar la temperatura por encima de la temperatura ambiente un monto específico. [23] Este estudio posteriormente abre la posibilidad de implementar simulaciones y herramientas más sofisticadas ante esta situación.

Al ver entonces que el efecto invernadero es un sistema no lineal, en estudios del 2017, D. M. Atia propone el uso de un sistema de control basado en energía geotérmica donde se usan cuatro técnicas de control: control PI. Lógica de control fuzzy, control neuro artificial y control adaptativo neuro-fuzzy. [24] Estas técnicas son usadas para ajustar la temperatura interna del habitáculo al requerir un valor específico; este estudio se simuló por medio de MATLAB/SIMULINK.

Vemos reflejado el uso de herramientas más modernas para el estudio de fenómenos relacionados con el incremento de temperatura, D. Lalmi en su artículo [25] usa ANSYS® y su herramienta computacional para la dinámica de fluidos para estudiar de manera térmica y óptica el fenómeno de transferencia de calor y radiación usando el método de volúmenes finitos. Se presenta una recolección de datos diaria de la radiación solar en el objeto de estudio en cuestión, tanto de día como de noche. Estudios como este, validan el uso de softwares para la aproximación a fenómenos como los que se presentan en el estudio abordado en este documento.

5.2. Investigaciones de este fenómeno en habitáculos de vehículos

Para entender la importancia del estudio realizado en el presente documento, se debe partir de la base de que esto es un problema que afecta de manera significativa

a toda persona que tiene un vehículo automotor. J. Horak arroja datos muy interesantes sobre el cómo las temperaturas alcanzadas por dejar automóviles estacionados y expuestos a la influencia directa de la radiación solar pueden afectar la salud de niños y mascotas, si estos se dejan dentro del vehículo sin posibilidad de recirculación de aire. Se expone que existen casos que han afectado severamente la salud por consecuencia de este golpe de calor. [26] Se concluye que para que la persona se sienta disconforme con la temperatura esta debe ser mayor a 37°C, y para que sufra hipertermia, la cual es una condición que puede llevar a la persona a daño neuronal permanente a largo plazo [27], debe estar a 40°C. Esto comparando la producción metabólica de calor corporal del ser humano contra el cómo este lo disipa.

Es entonces cómo sobresale la importancia de estudiar este fenómeno, específicamente en automóviles con exposición directa o indirecta a la radiación solar, y como esta, a través de la convección de la carrocería y las ventanas, aumenta la temperatura en su interior como se muestra en la Figura 2, donde se puede apreciar la distribución de temperatura en las superficies de la cabina. [28] Artículos como el de J. Vanos, nos muestran que se necesitan 2.4 horas en vehículos estacionados en sombra y 1 hora en vehículos con exposición directa al sol para que se alcancen los niveles críticos de temperatura necesarios para causar hipertermia. [29]

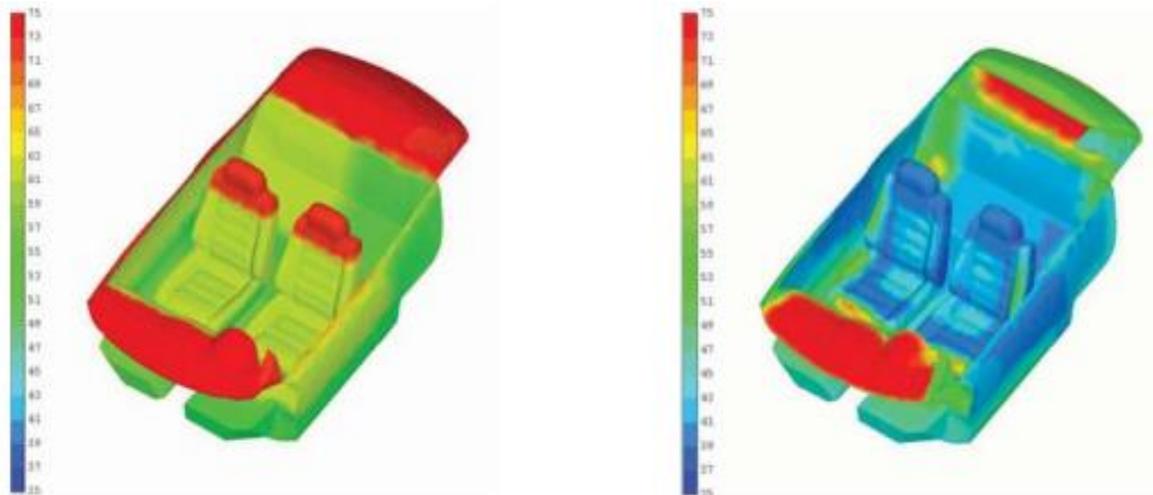


Figura 2. Distribución de temperatura de la cabina de un automóvil recién estacionado vs uno después de un proceso de enfriamiento. Fuente: [28]

Se destaca un artículo realizado el 2015, en este se aborda una reseña del material científico hasta la fecha referente a el control de temperatura de la cabina de automóviles estacionados de una manera general. El cual ayuda a entender cuales, en parte, son las maneras más viables hasta la fecha de reducir la temperatura del habitáculo (mostrando cómo las tres más viables los reflectores solares, la ventilación de la cabina y las ventanas cromáticas) y aclara que esto ayuda a la reducción de combustible además de garantizar el confort de las personas. [30]

Además de un problema para la salud, se busca el estudio del fenómeno como método para garantizar la comodidad del pasajero en la cabina del automóvil, es entonces donde se compara la humedad relativa contra la temperatura para saber su influencia en la persona y se puede extraer información valiosa de cómo esta afecta al incremento de la temperatura en el habitáculo. [31] Es entonces donde en la tesis de A. Alahmer, cómo se logra observar en la Figura 3, que a mayores niveles de humedad la temperatura corporal es mucho menor, esto último ayuda a tener en cuenta que se necesita una medición y estabilidad de la humedad en la cabina para datos más exactos. [32]

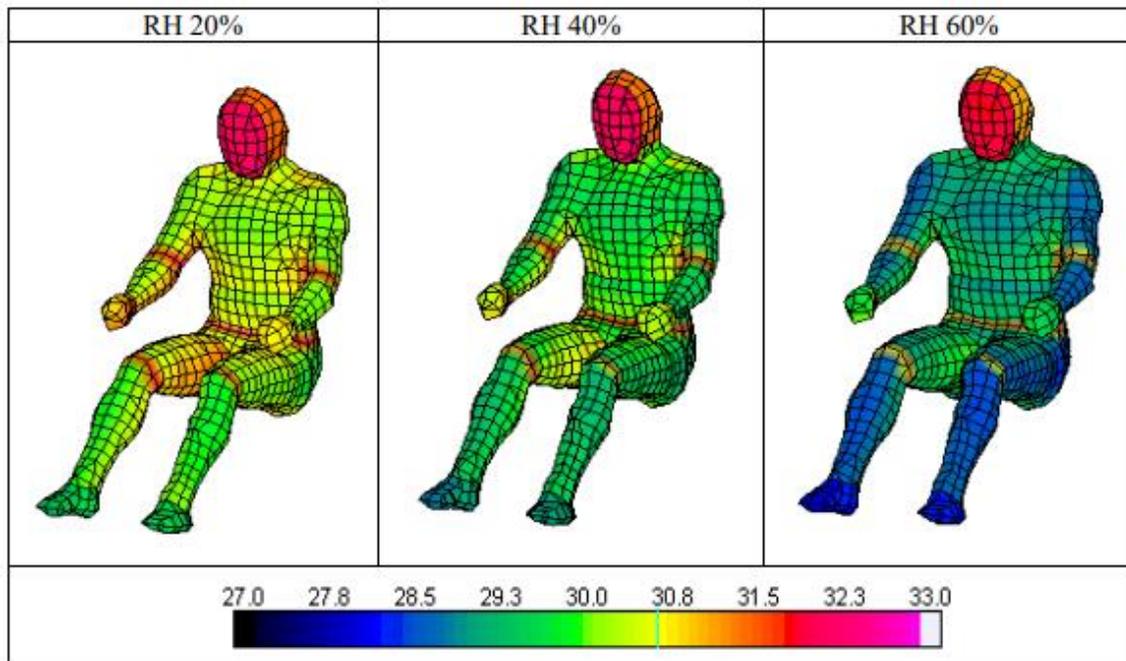


Figura 3. Esquemática de la temperatura corporal bajo diferentes valores de humedad. Fuente: [32]

Otros estudios se enfocan específicamente en el fenómeno y como este, dependiendo de la condición meteorológica, afecta la temperatura de la cabina del automóvil. A. Grundstein llega a la conclusión que las temperaturas en las cabinas varían de 41 a 76 grados centígrados, con temperaturas de hasta 68°C en verano y 61°C en primavera y asumiendo el cielo despejado; de no estar despejado la temperatura es 10 grados menor en ambos casos. Este advierte que inclusive se puede llegar a temperaturas peligrosas para el ser humano en la cabina del vehículo en días nublados con la menor temperatura registrada en el ambiente. [1] I. Dadour, al año siguiente, estudia este fenómeno y destaca que en la cabina siempre va a existir temperaturas 20 grados superiores a las temperaturas del ambiente, además de señalar que el color del vehículo es de influencia al momento del aumento de la temperatura de la cabina, llegando a decir que en automóviles negros existen 5 grados de temperatura mayores que en vehículos blancos en días de sol templado. Por último, destaca que dejar las ventanas del automóvil 2.5 centímetros abajo solo reduce la temperatura del vehículo estacionado 3°C, lo que no es suficiente si no se

quiere atender contra la salud de niños y mascotas en vehículos estacionados y con influencia directa del sol. [33]

Para entender aún más el fenómeno, T. Orzachowski y Z. Skrobacki evaluaron las condiciones térmicas y físicas del aire dentro de la cabina de un automóvil, concluyendo que la turbulencia del aire es mayor al 20% en ciertas partes de la cabina, y de 10% a 20% en otras, este a su vez puede alcanzar un flujo laminar dependiendo si el aire mantiene una velocidad constante que por lo regular es inferior a 0,4 m/s. [34] Este estudio facilita el entender cómo funciona el régimen de aire de la cabina más que el cómo está la temperatura en la carrocería, lo que ayuda a entrar más en materia de lo que se estudia en el documento presente. Adicionalmente, M. Fayazbakhsh y M. Bahrami Estudian la cabina del vehículo desde la perspectiva de cómo son las cargas térmicas con respecto a el aire acondicionado, por el método de balance de masas, el estudio nos da la idea de cómo puede llegar a influir el dispositivo disipador de calor donde dé este volumen de aire presente en la cabina. [35]

Por otro lado, la globalización solo indica que todo va en pos de métodos que reduzcan el consumo de recursos no renovables en el planeta, por ello existe un incremento en el mercado de vehículos eléctricos como forma alternativa para la reducción de emisiones. [36] J. C. Leong y su equipo consideran las variaciones de temperatura en la cabina debido a la diferente geometría que estos presentan en carrocería, cabina y ventanas además de los materiales de los cuales estos están compuestos con respecto a un automóvil tradicional [37] y lo evalúan a diferentes horas del día y diferentes condiciones de flujo de aire.(Figura 4) Concluyen que las diferencias no son significativas, lo que resulta pertinente para las investigaciones posteriores, cuando el mercado se sature de estos modelos eléctricos. Complementar esto con estudios que evalúan el consumo de energía en el vehículo, con la finalidad de modelar un sistema de control de temperatura más óptimo, nos abre la puerta a observar inclusive mayor viabilidad de realizar dispositivos que reduzcan la temperatura en estos modelos eléctricos. [38]

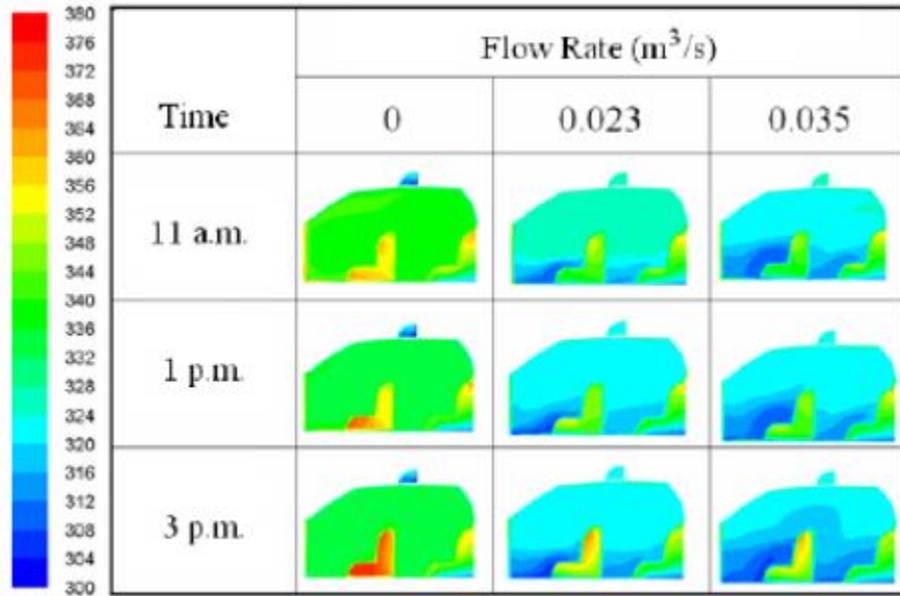


Figura 4. Distribución de temperatura en una cabina de un vehículo eléctrico. Fuente: [37]

Alternativamente, este fenómeno se ha estudiado como método de recolección de energía eléctrica, a través de generador termoeléctrico eTEG HV37, donde se puede generar alrededor de 6mW de poder. Esto, con la viabilidad de instalar un termo eléctrico en el techo del carro (lo que genera 280 W de poder), lo cual nos puede llevar a aprovechar al máximo estas fuentes de energía para ser usadas como alternativa de ahorro de energía. [39]

5.3. Investigaciones de reducción de temperatura en automóviles

Investigaciones muy generales se han realizado con la finalidad de evaluar cómo se puede abordar el fenómeno para reducir su temperatura, tanto interna como externamente en el vehículo, un artículo publicado en 2019 recopila información del que se le puede hacer a un automóvil y cómo esto influye en la reducción de la temperatura interna. [40] Esta información es expuesta a manera de reseña en un recopilatorio de la mayoría de artículos publicados en cada área investigada del auto, desde modificaciones en carrocería hasta implementación de blackouts y alternativas ya en el mercado.

M. Mansor y otros, sugieren el movimiento constante del aire almacenado en la cabina del automóvil como método ideal para la disipación del calor presente en la cabina, esto a través de un estudio en el cual se exponen diferentes régimen de aire después de dejarla a la exposición del sol y con variaciones en la apertura de la ventanilla. [41]

Al cubrir el automóvil con una manta protectora, como lo muestra la Figura 5, y partiendo de temperaturas al interior del vehículo de 70°C (100°C para el tablero),

I. Mohammed llegó a la conclusión que se tiene un buen control en el aumento de temperatura del tablero, el volante, las sillas y el aire al interior del automóvil, con reducciones de hasta un 70% en temperatura, por el contrario solo cubrir el parabrisas disminuye la temperatura del tablero en un 40% más no la temperatura del aire al interior, y por último, si se cubre como en la Figura 5 y se dejan los vidrios 1 cm abajo, la temperatura al interior resulta ser la del ambiente más 3°C. [42]



Figura 5: Cobertura sugerida. Fuente: [42]

Las celdas de peltier están siendo muy llamativa para utilizar ante problemas en espacio cerrado, debido a su precio de producción y su capacidad de ser amigable al medio ambiente [11], estudios realizados en base a esta demuestran que, aunque no están bien optimizadas, se les puede sacar un gran provecho tanto para un uso de generador termoeléctrico [43] como para lo pertinente al documento actual, lo cual es refrigeración. Referente a esto último, estudios con software de simulación como *MATLAB*® demuestran que es una excelente opción de control de temperatura de usarse de una manera adecuada [44].

Teniendo en cuenta el problema de aumento de temperatura en Asia, M. Basar propone en el año 2013 un dispositivo portable para la reducción de temperatura, Car-Cool (Figura 6), este se trata de un motor eléctrico impulsado por una batería recargable, que alimenta una celda de peltier y un abanico. A pesar de no realizar simulaciones, esta investigación asegura que el mecanismo propuesto es suficiente para generar confort en al pasajero debido a su capacidad de mejorar la calidad y humedad del aire en la cabina. Usar este mecanismo implica sin embargo la compra constante de baterías ya que para su efectividad este debe mantenerse encendido todo el tiempo. [45]

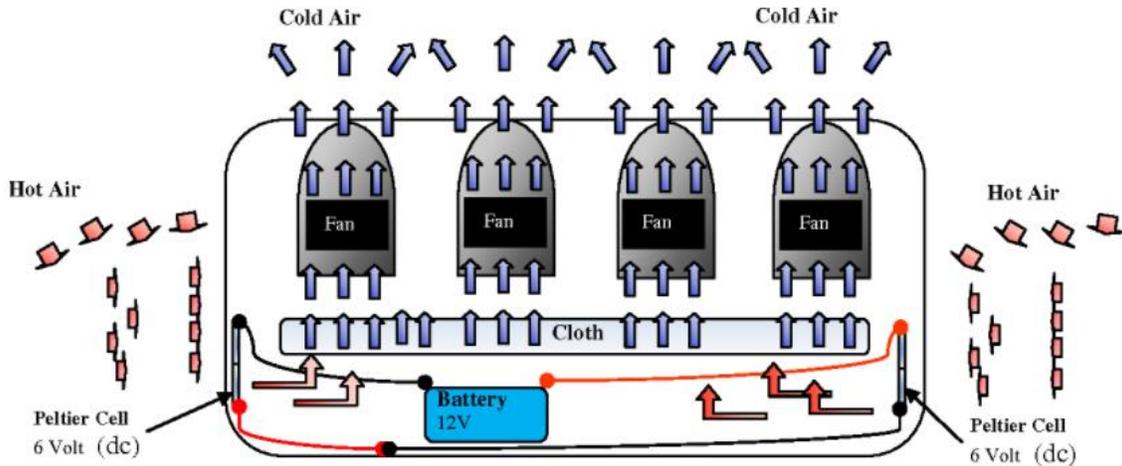


Figura 6. Car-Cool, mecanismo propuesto en el año 2013 para la reducción de la temperatura en cabinas de automóviles. Fuente: [45]

Otra propuesta implementada es el uso de celdas que reflejaban la mayor cantidad de rayos de sol en el techo del vehículo para que el calor no ingrese por convección a la cabina, a su vez, alimentar con esta energía una celda de enfriamiento; en esta, más que estudiar el impacto de un dispositivo propuesto, se analiza lo que se necesita para que la cabina del automóvil llegue a 25 o 30 grados. Se concluye que para llegar a la temperatura requerida se necesita de 3.83 kW a 3.34 kW de alimentación al sistema de enfriamiento con las celdas fotovoltaicas propuestas. [46] Adicionalmente el estudio concluye que el mecanismo puede ahorrar combustible y reducir emisiones contaminantes. Similar a lo anterior se propone el uso de un techo con un material de cambio de fase (PCM) [47] con este se obtiene una reducción de hasta 10°C con respecto a un techo convencional, [48] sin embargo, implica la reestructura y/o reinstalación del techo en la carrocería del vehículo automotor.

6. METODOLOGÍA

El presente trabajo presenta una investigación de tipo Cuasi-Experimental, debido a que al obtener una variable dependiente como lo es la temperatura en el habitáculo de un automóvil le comparamos una variable independiente la cual es el dispositivo disipador de temperatura para así ver cómo afecta esta segunda variable a la primera.

En base a los objetivos propuestos, se planteó la siguiente metodología de trabajo como la ideal para llegar a conclusiones sólidas referentes al problema a tratar, en orden, estas son:

- 6.1. Recolección de información bibliográfica, búsqueda de artículos, libros, entre otros, bases de datos de la universidad, tales como science direct, en torno al efecto invernadero, enfocado hacia los automóviles, y cómo influye la estética de estos ante este fenómeno (color, cojinería, 6.2. Selección de un vehículo entre otros). Adicionalmente, se indagará sobre los diferentes dispositivos capaces de disipar calor rápidamente, o bien puedan mantener la temperatura en un punto estable de confort en el recinto del vehículo.
- 6.2. Selección de un vehículo (modelo y marca), definiendo las condiciones a las que estará expuesto, con el fin de realizar el estudio físico adecuado para la obtención de datos, tales como variación de temperatura, transferencia de calor y potencial de energía disponible, determinados a partir de instrumentos de medición adecuados para esta actividad.
- 6.3. Determinar las variables que influyen en el fenómeno térmico, y así determinar un procedimiento y equipo adecuado para su medición a partir de sensores instalados al interior del automóvil. Al adquirir los valores de la medición, se organizan en tablas y gráficas para así analizar su perfil de comportamiento con respecto a factores como el tiempo y la humedad relativa.
- 6.4. Evaluación y análisis de diferentes mecanismos, estos mecanismos deben tener la capacidad de refrigerar o reducir la temperatura dentro del automóvil. Luego de discriminar las posibilidades encontradas, se selecciona la más adecuada por medio de la implementación de una matriz de criterio, tomando como factores críticos de selección el costo, la disponibilidad y el rendimiento del mismo, en base a los datos obtenidos en el estudio metrológico realizado al automóvil.

- 6.5. Selección de los componentes que constituirán el dispositivo disipador de calor, buscando en estos un ensamblaje sencillo y practico que supla de manera práctica las necesidades planteadas.
- 6.6. Elaboración de un diseño asistido por computador en el cual se moldea la cabina del vehículo y las piezas que componen el dispositivo, estas debidamente dimensionadas, empleando herramientas tecnológicas de simulación tales como *SOLIDWORKS®* y *ANSYS®*, con el fin de observar de manera más detallada su comportamiento funcional y así determinar factores relevantes, tales como su comportamiento térmico, su rendimiento y su eficacia.
- 6.7. Organización de la información, esto a partir del uso de tablas y gráficas brindadas por la parte experimental y los valores obtenidos a partir de las herramientas tecnológicas, garantizando la adecuada comprensión de estos para así identificar las posibles mejoras en el diseño e implementación del sistema.

En la *Figura 7* se puede apreciar un esquema de la metodología que se menciona en los pasos anteriores con el fin de hacer una idea rápida del cómo se abordará el estudio.

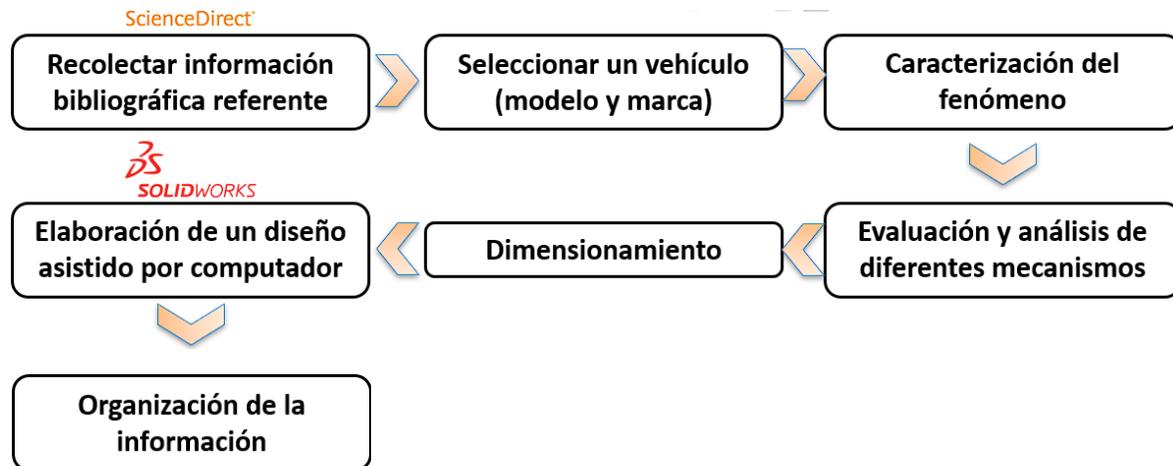


Figura 7. Metodología de trabajo.

7. ANÁLISIS EXPERIMENTAL

7.1. Condiciones iniciales para el estudio del fenómeno

Para analizar el fenómeno que se presenta en el habitáculo del automóvil, se tiene en cuenta como variable principal de análisis y medición la temperatura, ya que el comportamiento que está presente en el área cerrada, que es la cabina del automóvil, es la responsable del problema inicial. Esto entonces nos permite plantear interrogantes del que factores afectan a la variación de la misma, independiente al suministro de calor que genera el sol:

- ❖ ¿Influye el tamaño de la cabina en el aumento de la temperatura?
- ❖ ¿Influye el material del que está hecho la carrocería y el interior del automóvil?
- ❖ ¿Se poseerá una distribución uniforme de temperatura en todos los puntos dentro de la cabina?
- ❖ ¿Influye la humedad en el estudio del fenómeno?
- ❖ ¿El color del automóvil afecta en el aumento de temperatura?

Es por esto que se decidió medir el fenómeno en dos vehículos, un Hyundai creta 2017 y un Mazda 2 modelo 2016 (Figura 8. Vehículos utilizados para el estudio.) y ver si existen discrepancias significativas en el estudio ya que estos dos son muy diferentes en tamaño de cabina, color y material.



Figura 8. Vehículos utilizados para el estudio.

A su vez se instalaron cuatro sensores; dos termocuplas tipo k para censar la variación de la temperatura en diferentes áreas del habitáculo, un sensor de humedad en la parte interna para ver la influencia de la humedad en el sistema y un

sensor de temperatura en la parte externa para la medición de la temperatura del ambiente.

7.2. Equipo de medición y montaje

El equipo necesario para la toma de los datos se muestra en la Figura 9, el cual consiste en dos termocuplas tipo K de rango de trabajo -50 a 260 °C y un sensor de humedad, conectados a un Arduino el cual guarda la información en una memoria SD. La energía necesaria para que el sistema opere la suministra una batería de 5 voltios.

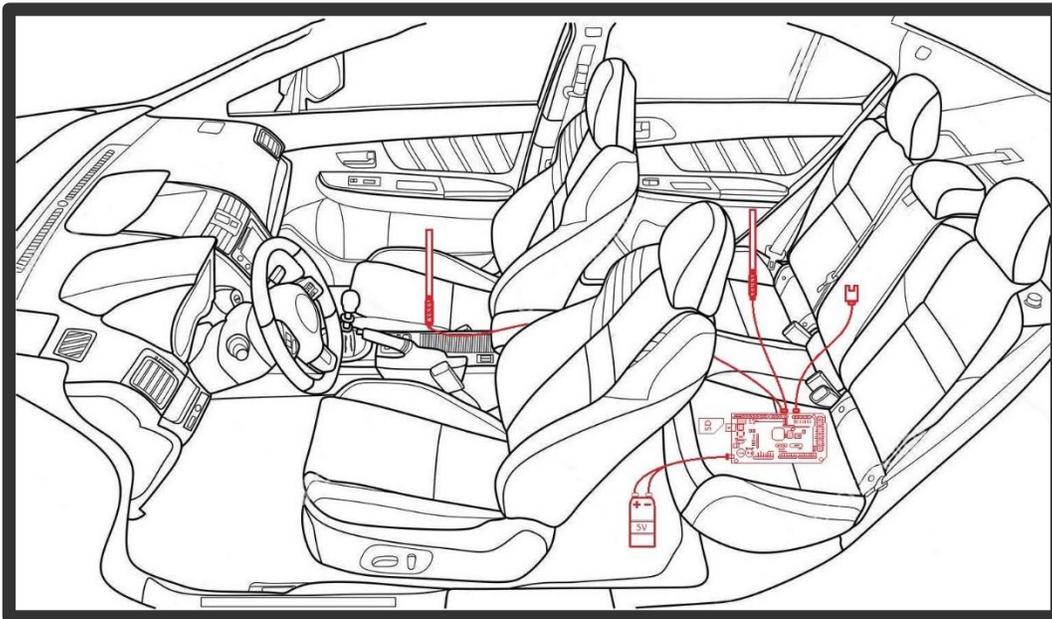


Figura 9. Esquema del montaje del equipo de trabajo en el habitáculo del vehículo

Simultáneamente, otro sensor estaba realizando tomas de la temperatura externa al habitáculo del vehículo, éste ubicado en el techo del vehículo, el cual consistía en un sensor de temperatura que registra la información en una memoria SD alimentada por una batería por medio de un Arduino, no se podía conectar al Arduino que estaba dentro del habitáculo pues implicaría una apertura en el volumen de control estudiado, lo cual no garantiza el aislamiento del ambiente de trabajo y alteraría los datos.

El código establecido para la toma de datos de las termocuplas y el sensor de humedad se presenta en el Anexo 1, programado en la versión 1.8.12. A su vez, los certificados de calibración de los sensores se pueden encontrar en el Anexo 2.

8. SIMULACIONES Y ESTUDIO

8.1. Diseño de la cabina

Para el diseño del habitáculo del automóvil se buscaron los planos de los dos vehículos, con estos, se diseñó solo la parte necesaria para obtener el volumen de control que se está estudiando cómo se puede apreciar en la Figura 10.

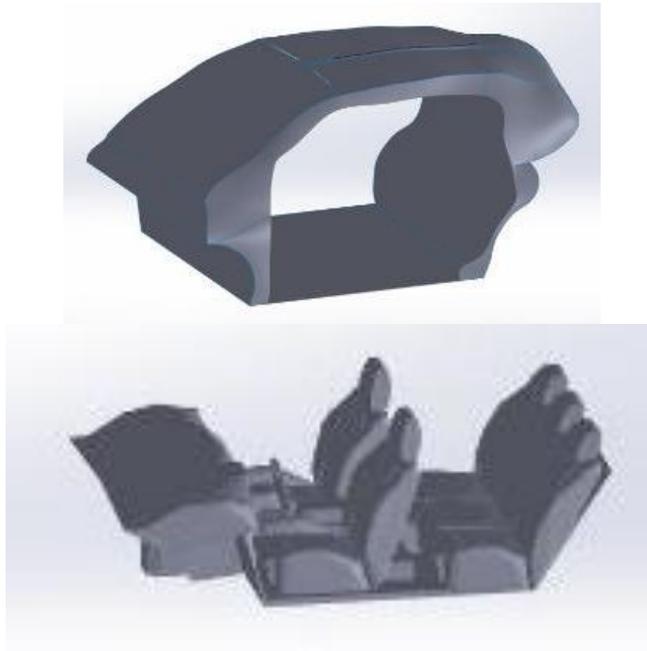


Figura 10. Diseño de la cabina del automóvil en SOLIDWORKS®.

Se decide por diseñar la carrocería separada de la cojinería, esto debido a la configuración de los materiales que se le debe aplicar a cada una por separado, además de la facilidad de creación que presenta hacerlo de esta manera.

8.2. Modelado CFD

Para trabajar en el estudio del fenómeno del aumento de temperatura en la cabina del automóvil y de su disminución por medio del dispositivo planteado, se escoge primero el motor indicado para trabajar en ANSYS®, al discernir que se desea estudiar el comportamiento de la temperatura en un volumen de aire, se opta por escoger la herramienta *Fluid Flow (Fluent)*, esto se debe a que con *Fluent* la precisión de estos fenómenos en fluidos es mayor con respecto a los motores que

presentan como base simulaciones térmicas, ya que estos últimos se enfocan en sólidos.

Una vez se escoge el motor en el cual se va realizar el estudio del fenómeno, se procede a importar el modelo creado en *SOLIDWORKS*®, generar el mallado, configurar los parámetros de temperatura y realizar las soluciones y obtención resultados. El menú mostrado en *ANSYS*® para este proceso se muestra en la Figura 11.

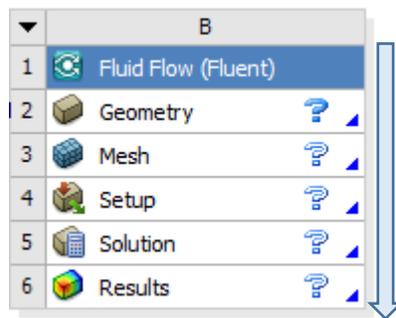


Figura 11. Submenú del motor Fluent y orden en el que debe ser usado.

8.3. Configuración de la malla y estudio de independencia

Una vez importada la geometría a estudiar, se genera la malla por medio de la opción presentada en la Figura 11, en esta existe un ítem en el cual *ANSYS*® genera la malla automáticamente.

Se realizó un estudio de independencia de malla para determinar su calidad en *ANSYS*® basado en el diseño creado en *SOLIDWORKS*®, este estudio es referenciado en el manual de mallado de *ANSYS*® y los parámetros estándar de validación del sólido son recomendados por el desarrollador del software, como se muestra en la Figura 12. [49]

Espectro de métricas de malla: oblicuidad



Espectro de métricas de malla: OQ



Figura 12. Espectro de métricas de malla (Oblicuidad y calidad ortogonal). Fuente: [49]

El sólido creado para el Hyundai presenta una calidad ortogonal 0.99 y una oblicuidad de 0.25 lo que lo posiciona como excelente para realizar las simulaciones de estudio de temperatura. (Figura 13)

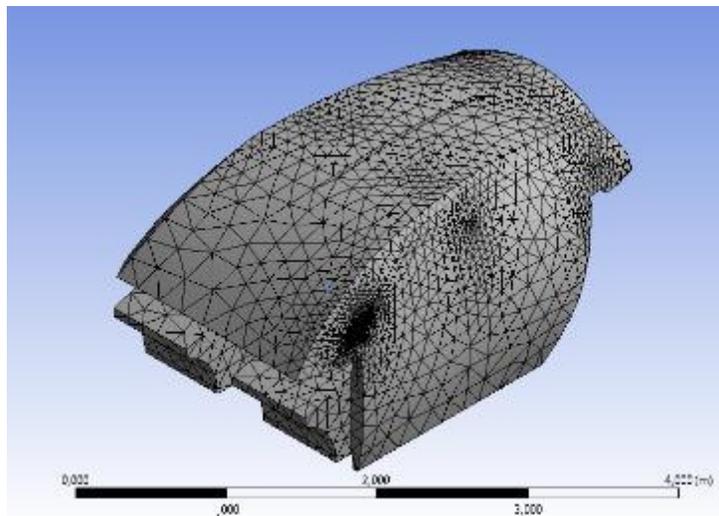


Figura 13. Malla de la cabina del vehículo.

8.4. Simulación de la temperatura del habitáculo

Una vez confirmamos que nuestra malla es la ideal para el estudio, se pasa a usar la herramienta *setup* de la Figura 11, en esta se configura primero de manera general el estudio, el cual se discrimina como un estudio de basado en presión con velocidad de fluido absoluta de estado transitorio con aceleración solamente gravitacional como se muestra en la Figura 14, A.

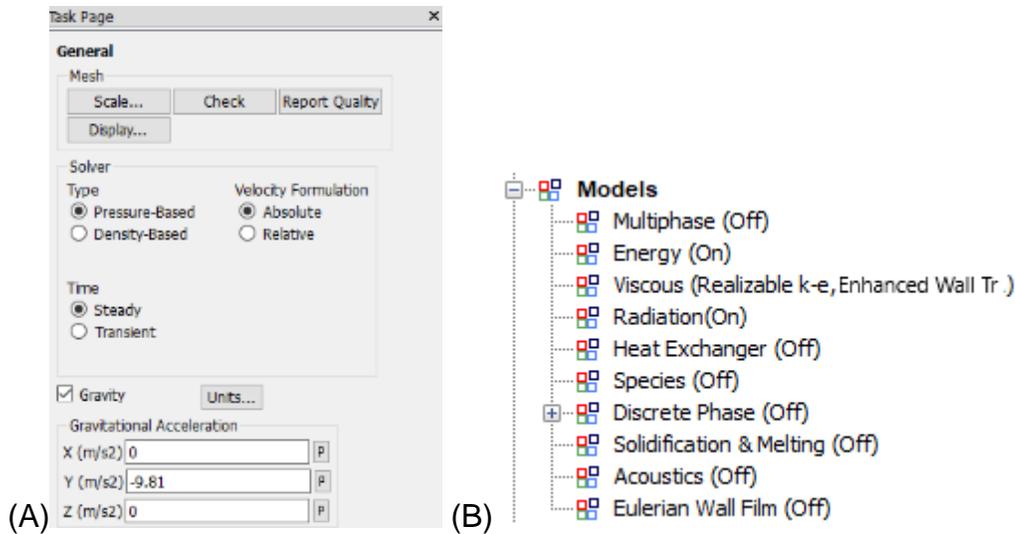


Figura 14. Parámetros generales de la simulación (A) y configuración de los modelos (B) en ANSYS®.

Seguido se procede a configurar el modelo, por estar trabajando con un estudio en el cual existe una transferencia de calor, se debe activar el modelo de energía; Al referirse a un fluido como el aire en un estudio no tan complejo basado en velocidad y energía cinética, se utiliza el modelo de k-épsilon en la viscosidad con un tratamiento mejorado de condiciones de frontera, debido a la transferencia de calor que se presenta del exterior al interior de la cabina por medio de la carrocería; Al configurar la radiación se utiliza el modelo Rowland, ya que este es el modelo, que trabaja con estudios de transferencia de calor con influencia de radiación solar, se configura la posición del sol con respecto a la cabina como si este estuviera encima del parabrisas delantero que es la configuración crítica de temperatura alcanzada. (Figura 14, B) Para finalizar se agregan los materiales, se le configura el método de transferencia (conducción como cuerpo opaco para la carrocería y semitransparente para los vidrios) y se seleccionan las superficies que presentan contacto directo con el sol a las respectivas áreas de la geometría que se está estudiando.

Se trabajo con 500 iteraciones asumiendo convergencia, sin embargo, converge a las 230 iteraciones. Este resultado se muestra en la Figura 15.

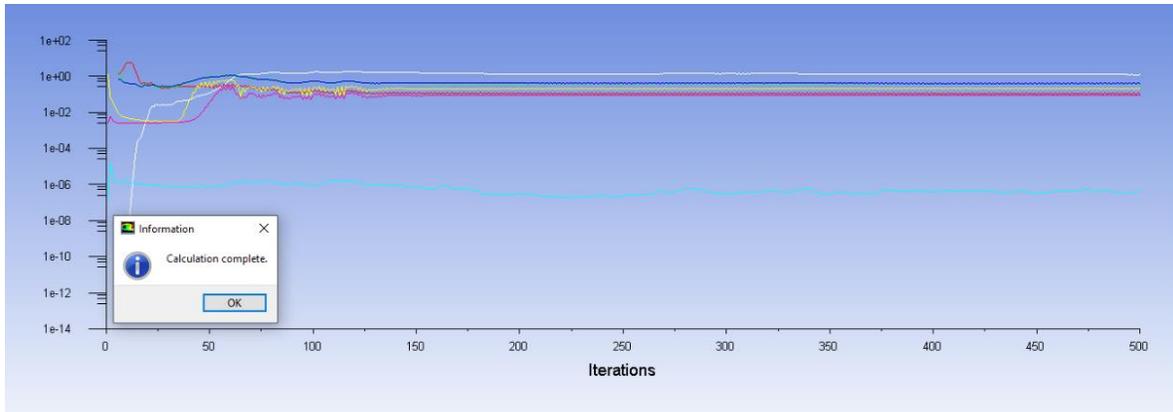


Figura 15. Resultado de las iteraciones al simular el fenómeno de temperatura en el sólido.

8.5. Simulación con el mecanismo reductor de temperatura

Para simular el mecanismo reductor de temperatura, se escoge entre todas las opciones la celda de peltier como el objeto de estudio, esto se debe a su facilidad de uso y adquisición en el mercado sumado a su capacidad de disipar calor de manera efectiva. En la Tabla 1 se presentan las especificaciones de la celta trabajada en la simulación, se escoge está basada en sus usos previos en el mercado como fuente viable para refrigerar.

Celda Peltier TEC1 - 12706		
Medida	Magnitud	Unidad
Voltaje	12	V
Corriente	6	A
Potencia de refrigeracion	60	W
Q	65	°C
Alto	40	mm
Largo	40	mm
Ancho	3,8	mm

Tabla 1. Especificaciones de la celda Peltier TEC1 - 12706

Con esta información se procede a diseñar la celda en *SOLIDWORKS®* y exportarla en *ANSYS®* realizar todos los pasos ya explicados en el apartado 8.4 pero agregándole la celda como un cuerpo que extrae el calor de el volumen de control de aire del habitáculo en las posiciones que muestra la Figura 16. En cada posición se ubican dos celdas, para un total de cuatro celdas ayudando a mitigar el fenómeno de aumento de temperatura.

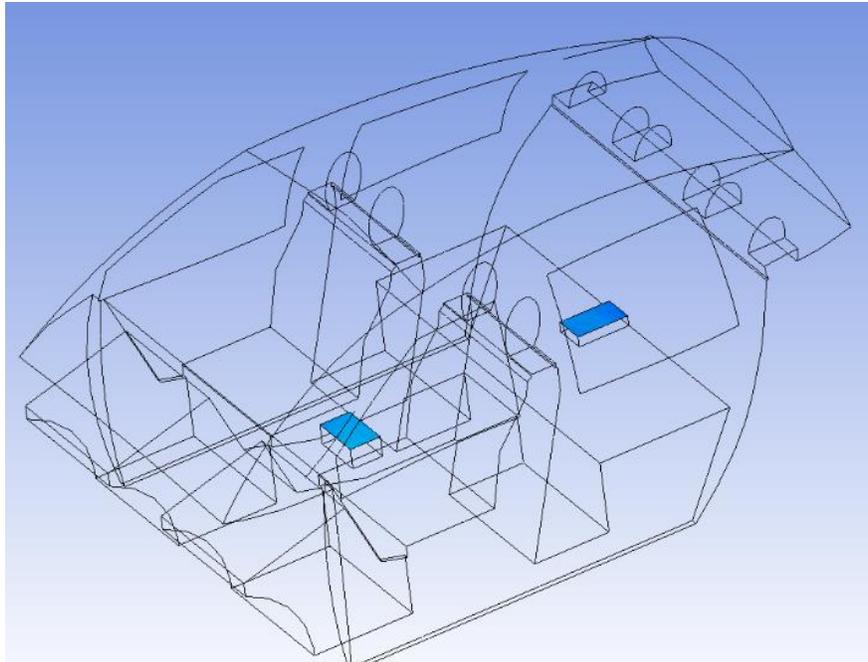


Figura 16. Posiciones de las celdas de peltier en la cabina del vehículo.

9. ANÁLISIS Y RESULTADOS

9.1. ANÁLISIS DE DATOS EXPERIMENTALES

Para generar el estudio experimental, se necesitó modificar los resultados obtenidos con un factor de corrección del sensor suministrado al momento de hacer el estudio de calibración en un laboratorio (Anexo 2), para la termocupla 1 es -0.64°C , para la termocupla 2 es de -0.71°C y para el sensor de la temperatura ambiente de 3.3°C . A su vez, se observa que al realizar las tomas, la humedad presentó estabilidad, oscilando entre 66 y 67, lo que hace que descartemos la humedad como un factor que puede alterar los datos estudiados. Una vez se obtuvo esta información el resultado se presenta en la Figura 17.

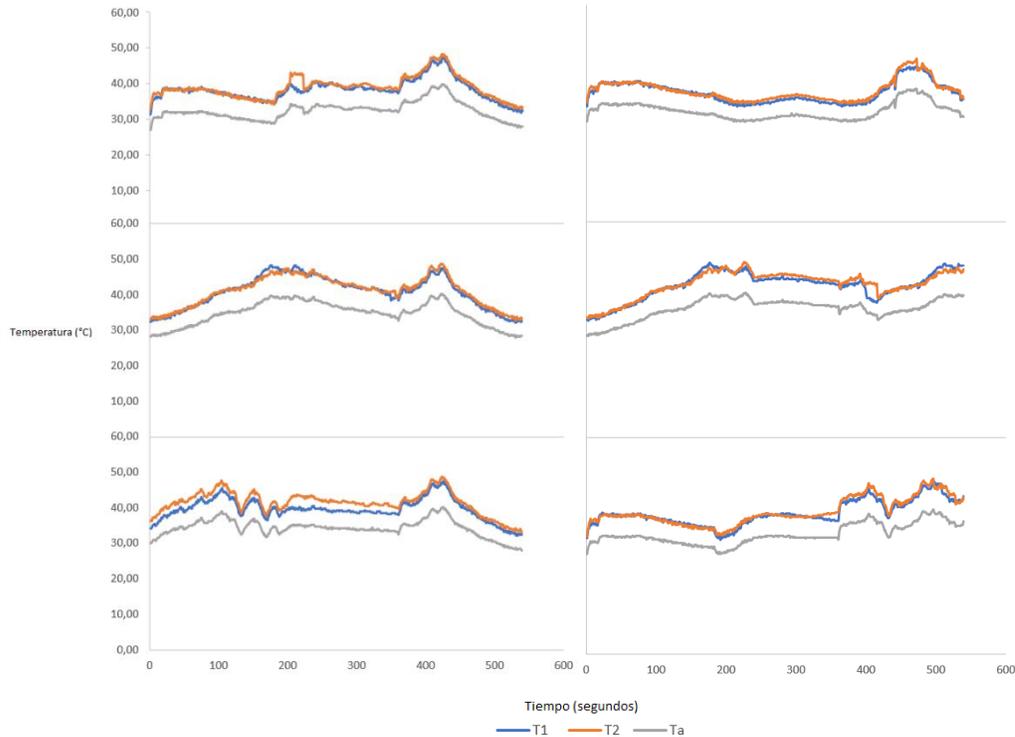


Figura 17. Proyecciones de temperatura en los últimos 6 días.

Donde T1 hace referencia a la termocupla instalada en la parte frontal de automóvil y T2 a la termocupla instalada en la parte trasera, Ta es la temperatura que registra el sensor de temperatura externa.

En estos se puede observar cómo existe un patrón de incremento de temperatura no lineal, generando inicialmente diferencias de 10°C entre el ambiente (25°C) y la cabina y pasando a tener diferencias de 20°C cuando la temperatura ambiente (37°C) llega a su punto más alto.

9.2. ANÁLISIS DE DATOS SIMULADOS

La solución matemática del estudio se puede analizar en el ítem *Solution* y los resultados presentados de una manera gráfica en el ítem *Results* de la *Figura 11*, en esta última se puede observar la distribución de temperatura en la cabina como lo muestra la *Figura 18* alcanzando picos de hasta 57°C en la temperatura interna del vehículo y 69°C en la temperatura que se presenta en el aire cuando entra en contacto con las superficies de la cabina (*Figura 19*).

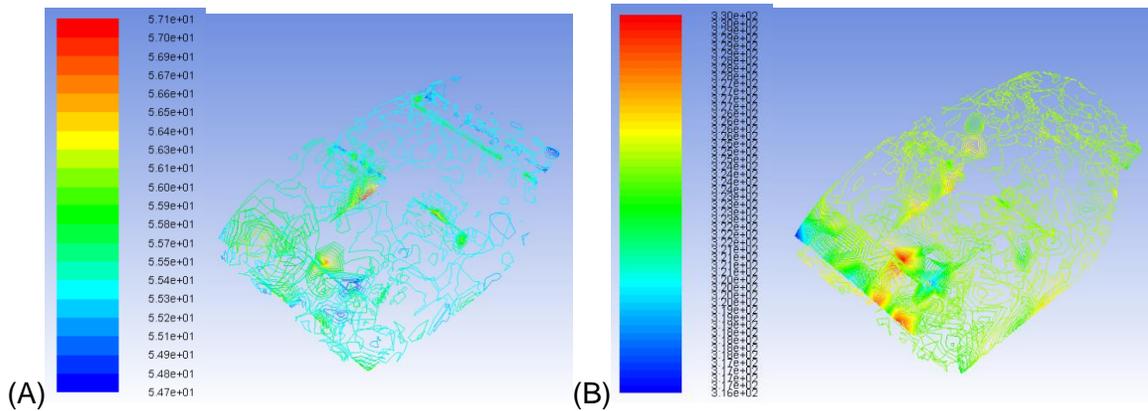


Figura 18. Temperatura del volumen de control de aire en la cabina sin enfriamiento (A) y con enfriamiento (B) .

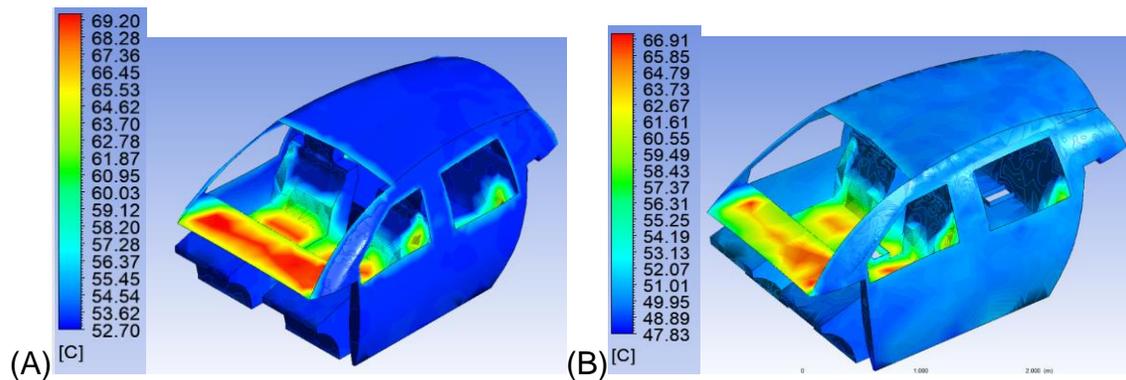


Figura 19. Temperatura del aire cuando está en contacto con la carrocería sin enfriamiento (A) y con enfriamiento (B).

Para un análisis más a fondo de la información se añade a la simulación ocho planos con la herramienta contornos de ANSYS® como lo muestra la Figura 20, estos planos (3 en el eje YZ, 2 en el eje XY y 3 en el eje ZX) nos ayudan a saber la temperatura que tiene el aire en las diferentes partes de la cabina.

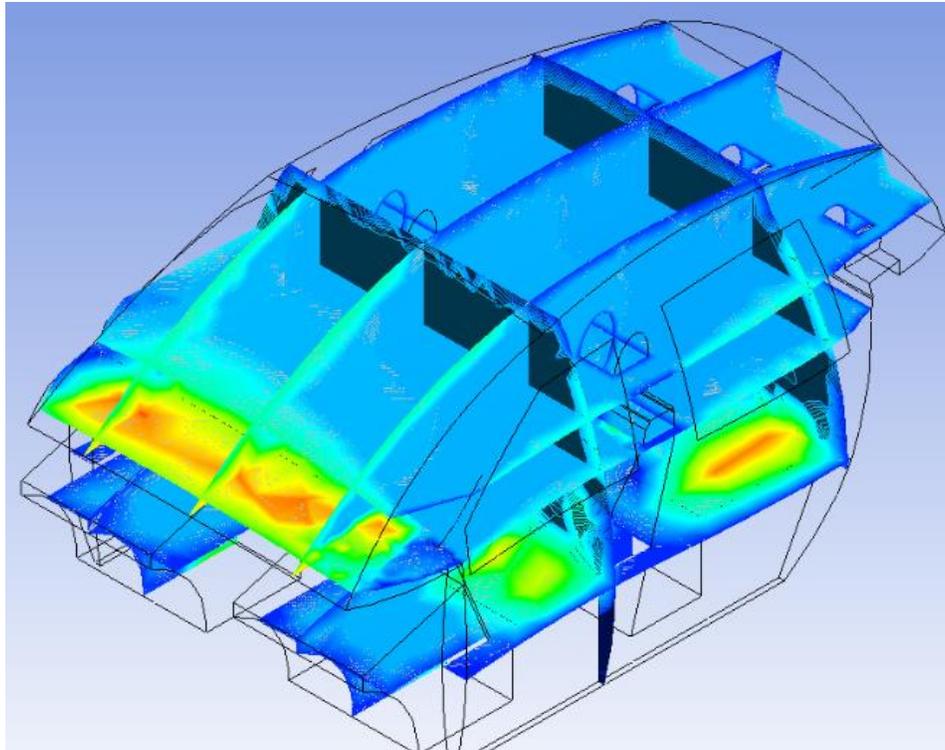


Figura 20. Planos usados en el volumen de control por la herramienta contornos de ANSYS®.

Estos resultados de temperatura en los diferentes planos se muestran en la Tabla 2, donde se obtienen los de la simulación con y sin el enfriamiento ocasionado por las celdas de peltier.

Zonas de Control	Sin Enfriamiento			Con Enfriamiento			Reduccion de temperatura		
	T. Max	T. Min	T. Prom	T. Max	T. Min	T. Prom	% Max	% Min	% Prom
XY Delanteros	55,90	54,68	55,40	54,00	45,66	51,59	3,40	16,50	6,88
XY Traseros	55,54	54,62	55,27	53,22	49,84	51,41	4,18	8,75	6,98
YZ Conductor	56,54	54,40	55,34	56,49	39,17	51,38	0,09	28,00	7,16
YZ Central	56,07	54,10	55,37	55,16	40,72	51,43	1,62	24,73	7,12
YZ Pasajero	56,86	54,62	55,38	56,59	39,70	51,59	0,47	27,32	6,84
ZX Cabeza	56,36	54,97	55,40	52,86	50,77	51,48	6,21	7,64	7,08
ZX Asiento	55,90	54,52	55,40	55,19	42,52	51,35	1,27	22,01	7,31
ZX Tablero	56,50	53,76	55,40	56,50	38,15	51,31	0,00	29,04	7,38
Carrocería	69,82	51,87	55,40	69,82	37,93	51,28	0,00	26,87	7,44
Vidrios	59,99	55,45	55,40	58,29	44,44	51,85	2,83	19,86	6,41

Tabla 2. Temperaturas en °C de la cabina en los ocho puntos más la carrocería y los vidrios.

De esta tabla se puede observar que las celdas son capaces de reducir la temperatura de la cabina de manera significativa en los lugares donde la temperatura es menor generando una reducción en la temperatura de hasta 29%, sin embargo, en las áreas donde la temperatura es mayor tiende a no ser tan efectiva para disipar calor, llegando hasta un 0% de reducción, estos datos en promedio general nos suministran un 7% en la reducción de temperatura que las

cuatro celdas son capaces de ofrecer a la cabina del automóvil. No se presentan diferencias significativas entre los dos modelos de automóviles investigados.

10. CONCLUSIONES

Existen amplias investigaciones sobre el estudio del aumento de temperatura en habitáculos, sin embargo, pocas son las que presentan un modelado por medio de herramientas computacionales del fenómeno y mucho menos las que presentan este modelado con un dispositivo que ayude a mitigar este fenómeno. Se concluye del presente trabajo de investigación:

- ❖ Se valida la veracidad de los resultados obtenidos por medio de la simulación en ANSYS®, debido que estos son similares a los resultados que arrojaron las tomas experimentales del fenómeno, lo que ayuda a futuros procesos de investigación a usar modelos computacionales como alternativas rápidas a la generación de resultados.
- ❖ Se pueden implementar modelos computacionales a través de software como ANSYS® como método alternativo para la obtención de datos y resultados.
- ❖ Las celdas de peltier como mecanismo que reduce la temperatura en recintos cerrados puede ser una opción viable, siempre y cuando se logre aislar la pérdida de calor que esta genera y se escoja la que tenga una eficiencia adecuada con respecto al tamaño del habitáculo. En el caso de este estudio cuatro celdas producen una reducción aproximada del 7% a la temperatura de la cabina.
- ❖ La temperatura máxima alcanzada por la cabina de un automóvil estacionado con influencia directa de la radiación solar, oscila alrededor de los 10 y 20 grados Celsius en comparación a la temperatura ambiente.

11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] I. R. Dadour, I. Almanjahie, N. D. Fowkes, G. Keady and K. Vijayan, "Temperature variations in a parked vehicle," *Forensic Sci. Int*, vol. 207, no. 1-3, p. 205–211, Apr 2011.
- [2] J. A. Dunne, S. C. Jackson and J. Harte, "Greenhouse Effect," 2013.
- [3] C. Tuckett, "Greenhouse Gases," *Molecular Sciences and Chemical Engineering*, Elsevier, 2018.
- [4] J. W. Akitt, "Some observations on the greenhouse effect at the Earth's surface," *Spectrochim. Acta Part A Mol. Biomol. Spectrosc.*, vol. 188, p. 127–134, 2018.
- [5] L. Qi, "A portable solar-powered air-cooling system based on phase-change materials for a vehicle cabin," *Energy Convers*, vol. 150, p. 148–158, 2017.
- [6] H. Pan, "A portable renewable solar energy-powered cooling system based on wireless power transfer for a vehicle cabin," *Appl. Energy*, vol. 195, p. 334–34, 2017.
- [7] M. Kolhe, T. Muneer and S. K. Adhikari, "Parked Electric Vehicle's Cabin Temperature Management Using Photovoltaic Powered Ventilation," *Energy Procedia*, vol. 142, p. 343–349, Dec 2017.
- [8] M. Al Zareer, I. Dincer and M. A. Rosen, "Development and analysis of a portable compressed liquid air cooling system for fast vehicle cabin cooling," *Int. J. Refrig.*, vol. 84, p. 117–127, Dec 2017.
- [9] G. A. Mannella, V. La Carrubba and V. Brucato, "Peltier cells as temperature control elements: Experimental characterization and modeling," *Appl. Therm. Eng*, vol. 63, no. 1, p. 234–245, Feb 2014.
- [10] H. Sadighi Dizaji, S. Jafarmadar, S. Khalilarya and S. Pourhedayat, "A comprehensive exergy analysis of a prototype Peltier air-cooler; experimental investigation," *Renew. Energy*, vol. 131, p. 308–317, Feb 2019.
- [11] H. Najafi and K. A. Woodbury, "Optimization of a cooling system based on Peltier effect for photovoltaic cells," *Sol. Energy*, vol. 91, p. 152–160, May 2013.
- [12] G. Casano and S. Piva, "Experimental investigation of a Peltier cells cooling system for a Switch-Mode Power Supply," *Microelectron. Reliab.*, vol. 79, p. 426–432, Dec 2017.
- [13] B. Monfared, "Simulation of solid-state magnetocaloric refrigeration systems with Peltier elements as thermal diodes," *Int. J. Refrig*, vol. 74, p. 324–332, Feb 2017.
- [14] S. M. Sultan and M. N. Ervina Efzan, "Review on recent Photovoltaic/Thermal (PV/T) technology advances and applications," *Sol. Energy*, vol. 173, p. 939–954, 2018.

- [15] D. Rodríguez Urrego and L. Rodríguez Urrego, "Photovoltaic energy in Colombia: Current status, inventory, policies and future prospects," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 92, p. 160–170, 2018.
- [16] W. Charfi, M. Chaabane, H. Mhiri and P. Bournot, "Performance evaluation of a solar photovoltaic system," *Energy Reports*, vol. 4, p. 400–406, 2018.
- [17] E. Yin, Q. Li and Y. Xuan, "Optimal design method for concentrating photovoltaic-thermoelectric hybrid system," *Appl. Energy*, vol. 226, p. 320–329, 2018.
- [18] Y. A. ÇENGEL and A. J. GHAJAR, TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V, 2011.
- [19] H. Xue, B. Xu, J. Wu and Y. Wei, "Prediction of temperature rise near condensing units in the confined space of a high-rise building," *Building and Environment*, vol. 42, no. 7, pp. 2480-2487, Jul 2007.
- [20] E. Bourdakis, A. Simone and B. W. Olesen, "An experimental study of the effect of different starting room temperatures on occupant comfort in Danish summer weather," *Building and Environment*, vol. 136, pp. 269-278, May 2018.
- [21] J. Lee, H. Kim, A. Gasparri, B. Armstrong, M. Bell, F. Sera, E. Lavigne, R. Abrutzky, S. Tong, M. Stagliorio, P. Nascimento, P. Matus, N. Valdes, H. Kan, S. Osorio, J. Kysely, A. Urban, H. Orru, E. Indermitte, J. Jaakkola, N. Rytty, M. Pascal, P. Goodman, A. Zeka, P. Michelozzi, M. Scortichini, M. Hashizume, Y. Honda, M. Hurtado, J. Cruz, X. Seposo, B. Nunes, J. P. Teixeira, A. Tobias, C. Iñiguez, B. Forsberg, C. Astrom, A. M. Vicedo, M. Ragattli, Y. Leon Guo, B. Chen, A. Zanobetti, J. Schwartz, T. Ngoc, D. Van, F. Mayvaneh, A. Overcenco, S. Li and Y. Guo, "Predicted temperature-increase-induced global health burden and its regional variability," *Environment International*, vol. 131, Oct 2019.
- [22] K. V. Garzoli, "Research on the temperature environment of solar greenhouse," 1987.
- [23] M. Omid and A. Shafaei, "Temperature and relative humidity changes inside greenhouse," *International Agrophysics*, vol. 19, no. 2, pp. 153-158, Apr 2005.
- [24] D. M. Atia and H. T, "Analysis and design of greenhouse temperature control using adaptive neuro-fuzzy inference system," *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 34-48, May 2017.
- [25] D. Lalmi, A. Benseddik, H. Bensaha, M. T. Bouzaher, T. Arrif, M. Guermoui and A. Rabehi, "Evaluation and estimation of the inside greenhouse temperature, numerical study with thermal and optical aspect," *International Journal of Ambient Energy*, 2019.
- [26] J. Horak, I. Schmerold, K. Wimmer and G. Schauburger, "Cabin air temperature of parked vehicles in summer conditions: life-threatening environment for children and pets calculated by a dynamic model," *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 130, pp. 107-118, 2017.

- [27] E. James Walter and M. Carrareto, "The neurological and cognitive consequences of hyperthermia," *Critical Care*, vol. 20, p. 199, 2016.
- [28] J. Fiser, J. Pokorny and M. Jicha, "PREDICTION OF CAR CABIN ENVIRONMENT BY MEANS OF 1D AND 3D CABIN MODEL," *EDP Sciences*, vol. 25, p. 6, 2012.
- [29] J. K. Vanos, A. Middel, M. N. Poletti and N. J. Selover, "Evaluating the impact of solar radiation on pediatric heat balance within enclosed, hot vehicles," *Temperature*, vol. 5, no. 3, pp. 276-292, 2018.
- [30] A. H. Zulkifli, H. Nasution, A. A. Dahlan and A. Abdul, "In-Cabin Vehicle Initial Temperature Control: A," *Journal of Advanced Review on Scientific Research*, vol. 13, no. 1, pp. 1-8, 2015.
- [31] A. Alahmer, M. Abdelhamid and A. Mohammed, "Design for thermal sensation and comfort states in vehicles cabins," *Applied Thermal Engineering*, vol. 36, no. 1, pp. 126-140, abr 2012.
- [32] A. Alahmer, "EFFECT OF RELATIVE HUMIDITY AND TEMPERATURE CONTROL ON INCABIN THERMAL COMFORT STATE," *A Thesis presented to the Graduate School of Clemson University*, p. 221, 2011.
- [33] I. Dadour, I. Almanjahie, N. Fowkes and G. Keady, "Temperature variations in a parked vehicle," *Forensic Science International*, vol. 207, no. 205-11, pp. 1-3, Nov 2010.
- [34] T. Orzechowski and Z. Skrobacki, "Evaluation of thermal conditions inside a vehicle cabin," *EDP Sciences*, 2016.
- [35] M. A. Fayazbakhsh and M. Bahrami, "Comprehensive Modeling of Vehicle Air," *SAE International*, vol. 1507, no. 1, p. 14, Ago 2013.
- [36] D. Barreto, G. Valencia, A. Peña and Y. Cardenas, "Bibliometric Analysis Of Nearly A Decade Of Research In Electric Vehicles: A Dynamic Approach," *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 13, no. 17, pp. 4730-4736, sep 2018.
- [37] J. Leong, C. Tseng, B. Tsai and Y. Hsiao, "Cabin Heat Removal from an Electric Car," *World Electric Vehicle Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 760-766, jan 2011.
- [38] A. Doyle and T. Munner, "Energy consumption and modelling of the climate control system in the electric vehicle," *Energy Exploration & Exploitation*, Oct 2018.
- [39] A. Sunawar, I. Garniwa and C. Hudaya, "The characteristics of heat inside a parked car as energy source for thermoelectric generators," *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, vol. 10, pp. 347-356, Jul 2019.
- [40] G. J. Marshall, C. P. Mahory, M. J. Rhodes, S. R. Daniewicz, N. Tsolas and S. M. Thompson, "Thermal Management of Vehicle Cabins, External Surfaces, and Onboard Electronics: An Overview," *Engineering*, vol. 5, no. 5, pp. 954-969, 2019.

- [41] M. S. Mansor, U. Abd Rahman, M. S. Zainal, M. Z. Zain and M. R. Yusof, "VARIATION OF CAR CABIN TEMPERATURE INFLUENCED BY VENTILATION UNDER DIRECT SUN EXPOSURE," *Journal of Mechanical Engineering and Sciences* , vol. 6, pp. 1014-1023, Jun 2014.
- [42] I. Mohammed, A. Farhan and M. A. Mussa, "Experimental Study of Interior Temperature Distribution Inside Parked Automobile Cabin," *Journal of Engineering*, vol. 21, no. 3, Mar 2015.
- [43] G. Casano and S. Piva, "Experimental investigation of the performance of a thermoelectric generator based on Peltier cells," *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 35, no. 4, pp. 660-669, May 2011.
- [44] H. Najafi and K. Woodbury, "Optimization of a cooling system based on Peltier effect for photovoltaic cells," *Solar Energy*, vol. 91, pp. 152-160, May 2013.
- [45] M. F. Basar, M. Musa, M. Y. Faizal and N. A. Razik, "Alternative Way in Reducing Car Cabin Temperature Using Portable Car Cooling System (Car-Cool)," 2013.
- [46] R. Levinson, H. Pan, G. Ban Weiss, P. Rosado, R. Paolini and H. Akbari, "Potential benefits of solar reflective car shells: Cooler cabins, fuel savings," *Applied Energy*, vol. 88, pp. 4343-4357, 2011.
- [47] C. Voelker, O. Kornadt and M. Ostry, "Temperature reduction due to the application of phase change materials," *Energy and Buildings*, vol. 40, no. 5, pp. 937-344, 2008.
- [48] M. Purusothaman, S. Kota, S. Cornilius and R. Siva, "Experimental Investigation of Thermal Performance in a," *Materials Science and Engineering*, vol. 197, p. 9, 2017.
- [49] I. ANSYS®, "MeshIntro 14.0 L07 Mesh Quality," *Introduction to ANSYS®Meshing*, 2011.

12. ANEXOS

Anexo 1. Código de Arduino para la toma de datos

```
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <max6675.h>
```

```
// Definicion Variables de lectura
```

```
float Temp1 = 0;
```

```
float Temp2 = 0;
```

```
float Humedad = 0;
```

```
// Definicion pines Usados
```

```
#define SSpin 53
```

```
int ktcSO=49;
```

```
int ktcCLK=47;
```

```
int ktcCS1=45;
```

```
int ktcCS2=43;
```

```
File archivo;
```

```
MAX6675 ktc1(ktcCLK, ktcCS1, ktcSO);
```

```
MAX6675 ktc2(ktcCLK, ktcCS2, ktcSO);
```

```
void setup() {
```

```
  // put your setup code here, to run once:
```

```
  Serial.begin(57600);
```

```
  //Iniciar modulos.
```

```
  Serial.println("Iniciando SD . . .");
```

```
  if(!SD.begin(SSpin)){
```

```
    Serial.println("Fallo inicio SD !");
```

```
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <max6675.h>

// Definicion Variables de lectura
float Temp1 = 0;
float Temp2 = 0;
float Humedad = 0;

// Definicion pines Usados

#define SSpin 53
int ktcSO=49;
int ktcCLK=47;
int ktcCS1=45;
int ktcCS2=43;

File archivo;

MAX6675 ktc1(ktcCLK, ktcCS1, ktcSO);
MAX6675 ktc2(ktcCLK, ktcCS2, ktcSO);

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(57600);
  //Iniciar modulos.

  Serial.println("Iniciando SD . . .");
  if(!SD.begin(SSpin)){
    Serial.println("Fallo inicio SD !");
    return;
  }
  Serial.println("SD en linea");
  archivo = SD.open("Muestra.txt", FILE_WRITE);
  archivo.print("No.");
  archivo.print(",");
  archivo.print("Termocupla 1(°C)");
  archivo.print(",");
  archivo.print("Termocupla 2(°C)");
  archivo.print(",");
  archivo.println("Humedad(%)");
}
```

```
archivo.close();
delay(500);
}

int i=1;
void loop() {
  archivo = SD.open("Muestra.txt", FILE_WRITE);
  archivo.print(i);
  archivo.print(",");
  Serial.print("No.");
  Serial.print(",");
  Serial.print("Termocupla 1(°C)");
  Serial.print(",");
  Serial.print("Termocupla 2(°C)");
  Serial.print(",");
  Serial.println("Humedad(%)");
  Temp1=ktc1.readCelsius();
  archivo.print(Temp1);
  Serial.print(Temp1);
  archivo.print(",");
  Temp2=ktc2.readCelsius();
  Serial.print(",");
  Serial.print(Temp2);
  archivo.print(Temp2);
  Humedad=(analogRead(0)/10);
  archivo.print(",");
  archivo.println(Humedad);
  Serial.print(",");
  Serial.println(Humedad);
  archivo.close();
  i=i+1;
  delay(20000);
}
```

```

return;
}
Serial.println("SD en linea");
archivo = SD.open("Muestra.txt",FILE_WRITE);
archivo.print("No.");
archivo.print(",");
archivo.print("Termocupla 1(°C)");
archivo.print(",");
archivo.print("Termocupla 2(°C)");
archivo.print(",");
archivo.println("Humedad(%)");
archivo.close();
delay (500);
}
int i=1;
void loop() {
    archivo = SD.open("Muestra.txt",FILE_WRITE);
    archivo.print(i);
    archivo.print(",");
    Serial.print("No.");
    Serial.print(",");
    Serial.print("Termocupla 1(°C)");
    Serial.print(",");
    Serial.print("Termocupla 2(°C)");
    Serial.print(",");
    Serial.println("Humedad(%)");
    Temp1=ktc1.readCelsius();
    archivo.print(Temp1);
    Serial.print(Temp1);
    archivo.print(",");
    Temp2=ktc2.readCelsius();
    Serial.print(" , ");
    Serial.print(Temp2);
    archivo.print(Temp2);
    Humedad=(analogRead(0)/10);

```

```
archivo.print(",");  
archivo.println(Humedad);  
Serial.print(" , ");  
Serial.println(Humedad);  
archivo.close();  
i=i+1;  
delay(20000);  
}
```

Anexo 2. Certificados de calibración de los sensores.



LABORATORY METROLOGY
AND ENGINEERING S.A.S.
NIT : 900.658.222- 8

SCAL

Certificado de calibración No. SC5493

FT-02-004

Calibration certificate No. SC5493

Laboratorio Temperatura
2019-02-22

La versión en inglés del certificado de calibración es una traducción no obligatoria. En caso de duda aplicar el texto en español.
The English version of the calibration certificate is not a binding translation. If any matters give rise to controversy, the Spanish original text must be used.

Método de calibración: Calibration method	La indicación del termómetro es comparado con la temperatura de referencia la cual es medida con el termómetro patrón. El método utilizado es el de comparación directa indicado en la norma NT VVS 103:1994. The indication of the thermometer is compared with the reference thermometer. The method used is the direct comparison indicated in the NT VVS 103: 1994 standard.
Condiciones ambientales: Environmental condition	Temperatura 23,5 °C ± 0,5 °C Humedad relativa 56,0 %rh ± 0,5 %rh
Trazabilidad: Traceability	Termómetro Digital, Código EPS-035, Certificado No. AS887 Emitido por Smart Sensor y Bloque seco, con código EPS-028, certificado No. 88815050. Estas mediciones son trazables a la escala internacional de temperatura ITS-90 These measurements are traceable to the international temperature scale ITS-90

Incertidumbre de medida / Measuring uncertainty

La incertidumbre expandida de medición especificada arriba, se calculo multiplicando la incertidumbre de medida estándar con el factor de cobertura $k = 2$. Este valor ha sido determinado según la GUM y la norma NT VVS 103:1994. El valor medido de la magnitud se estima normalmente con una probabilidad de aproximadamente del 95,45 %.
The expanded measuring uncertainty is calculated by multiplication of the standard measuring uncertainty with the expansion factor k . It was determined according to GUM and standard NT VVS 103:1994. The measured value of the magnitude is usually estimated with an approximate probability of 95%.

Los resultados son válidos para el estado del objeto de calibración bajo las condiciones existentes en el momento de la calibración. En el calculo no está contenida la estabilidad a largo plazo del objeto de calibración.
The results apply to the status of the calibrating item and under the conditions at the time of calibration. A provision for the long-time stability of the calibrating item is not included.

Observaciones / Remarks

Los resultados contenidos en el presente documento se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio de calibración guarda una copia de este certificado de calibración por lo menos cinco años.
The results given on this document refer to moment and conditions when the tests and measurements were made. The calibration laboratory retains a copy of this calibration certificate for at least 5 years.

El presente documento expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas y el Laboratorio de Metrología SCAL S.A.S. no se responsabiliza por los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos.
This document faithfully expresses the measures results and Metrology Laboratory of SCAL S.A.S. is not responsible for damages that may result from inappropriate use of the instruments.

Pág 2 de 3

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
TERMÓMETROS DE INDICACIÓN DIRECTA
CALIBRATION CERTIFICATE
Direct Indication Thermometer

Certificado de calibración No. SC5492
Calibration certificate No. SC5492

FT-02-004
Laboratorio Temperatura
2019-02-22

OBJETO DE CALIBRACIÓN / Calibration Object : Termocupla tipo k, #2
FABRICANTE / Manufacturer : EBCHQ
MODELO / Model : No identificado
NÚMERO DE SERIE / Serial number : No identificado
IDENTIFICACIÓN - CÓDIGO / Id - code : T-02
LUGAR DE CALIBRACIÓN / Place of calibration : Laboratorio de Temperatura SCAL
INTERVALO DE MEDICIÓN / Measurement interval : 20 a 150°C
RESOLUCIÓN / Resolution : 0,1 °C
CLIENTE / Customer : Daniel Barreto, Maicol Cortez
DIRECCIÓN / Address : Carrera 30 Numero 8-49 Puerto Colombia
FECHA DE RECEPCIÓN / Reception date : 2020-02-17
FECHA DE CALIBRACIÓN / Date of calibration : 2020-02-17
Número de páginas del certificado 3 / Number of pages of the certificate 3

Aprobado por

Approved

Ing. Franklin Helgao Salas

Director técnico

D.T.

Sello

seal

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de SCAL S.A.S. Certificados sin firma carecen de validez.
This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of both the SCAL S.A.S. certificates without signature are not valid.

Certificado de calibración No. SC5493

Calibration certificate No. SC5493

FT-02-004
Laboratorio Temperatura
2019-02-22

Resultados de medición / Measurement results

Sensor Sensor	Temperatura Temperature (°C)	Lectura Reading (°C)	Corrección Correction (°C)	Factor de cobertura Coverage factor k	Incertidumbre expandida Uncertainty U
N/A	20	20,40	-0,60	2,01	0,205
N/A	30	28,80	1,08	2,02	0,209
N/A	40	36,60	3,30	2,03	0,214

Gráfico de Errores



Fin del Informe / End of the Report



Certificado de calibración No. SCS492

Calibration certificate No. SCS492

FT-02-004
Laboratorio Temperatura
2019-02-22

La versión en inglés del certificado de calibración es una traducción no obligatoria. En caso de duda aplicar el texto en español.
The English version of the calibration certificate is not a binding translation. If any matters give rise to controversy, the Spanish original text must be used.

Método de calibración: Calibration method	La indicación del termómetro es comparado con la temperatura de referencia la cual es medida con el termómetro patrón. El método utilizado es el de comparación directa indicado en la norma NT VVS 103:1994. <i>The indication of the thermometer is compared with the reference thermometer. The method used is the direct comparison indicated in the NT VVS 103: 1994 standard.</i>
Condiciones ambientales: Environmental condition	Temperatura 23,5 °C ± 0,5 °C Humedad relativa 56,0 %rh ± 0,5 %rh
Trazabilidad: Traceability	Termómetro Digital, Código EPS-035, Certificado No. A5887 Emitido por Smart Sensor y Bloque seco, con código EPS-038, certificado No. 88815050. <i>Estas mediciones son trazables a la escala internacional de temperatura ITS-90</i> <i>These measurements are traceable to the international temperature scale ITS-90</i>

Incertidumbre de medida / Measuring uncertainty

La incertidumbre expandida de medición especificada arriba, se calcula multiplicando la incertidumbre de medida estándar con el factor de cobertura $k = 2$. Este valor ha sido determinado según la GUM y la norma NT VVS 103:1994. El valor medido de la magnitud se estima normalmente con una probabilidad de aproximadamente del 95,45 %
The expanded measuring uncertainty is calculated by multiplication of the standard measuring uncertainty with the expansion factor k: it was determined according to GUM and standard NT VVS 103:1994. The measured value of the magnitude is usually estimated with an approximate probability of 95%.

Los resultados son válidos para el estado del objeto de calibración bajo las condiciones existentes en el momento de la calibración. En el cálculo no está contenida la estabilidad a largo plazo del objeto de calibración.
The results apply to the status of the calibrating item and under the conditions at the time of calibration. A provision for the long-time stability of the calibrating item is not included.

Observaciones / Remarks

Los resultados contenidos en el presente documento se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio de calibración guarda una copia de este certificado de calibración por lo menos cinco años.
The results given on this document refer to moment and conditions when the tests and measurements were made. The calibration laboratory retains a copy of this calibration certificate for at least 5 years.

El presente documento expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas y el Laboratorio de Metrología SCAL S.A.S. no se responsabiliza por los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos.
This document faithfully expresses the measures results and Metrology Laboratory of SCAL S.A.S. is not responsible for damages that may result from inappropriate use of the instruments.

Certificado de calibración No. SC5492

Calibration certificate No. SC5492

FT-02-004
Laboratorio Temperatura
2019-02-22

Resultados de medición / Measurement results

Sensor Sensor	Temperatura Temperature (°C)	Lectura Reading (°C)	Corrección Correction (°C)	Factor de cobertura Coverage factor k	Incertidumbre expandida Uncertainty U
Termocapla	20	20,50	-0,71	2,01	0,205
Termocapla	75	75,35	-0,25	2,07	0,234
Termocapla	147,5	142,75	0,13	2,22	0,297

Gráfico de Errores



Fin del Informe / End of the Report



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
TERMÓMETROS DE INDICACIÓN DIRECTA

CALIBRATION CERTIFICATE
Direct Indication Thermometer

Certificado de calibración No. SC549T

FT-02-004

Calibration certificate No. SC549T

Laboratorio Temperatura

2019-02-22

OBJETO DE CALIBRACIÓN / Calibration Object : Termocopia tipo k, #1
FABRICANTE / Manufacturer : EBCHQ
MODELO / Model : No identificado
NÚMERO DE SERIE / Serial number : No identificado
IDENTIFICACIÓN - CÓDIGO / id - code : T-01
LUGAR DE CALIBRACIÓN / Place of calibration : Laboratorio de Temperatura SCAL
INTERVALO DE MEDICIÓN / Measurement interval : (20 a 150)°C
RESOLUCIÓN / Resolution : 0,1 °C
CLIENTE / Customer : Daniel Barreto, Maicol Cortez
DIRECCIÓN / Address : Carrera 30 Numero 8-49 Puerto Colombia.
FECHA DE RECEPCIÓN / Reception date : 2020-02-17
FECHA DE CALIBRACIÓN / Date of calibration : 2020-02-17
Número de páginas del certificado 3 / Number of pages of the certificate 3

Aprobado por

Approve

Ing. Daniel Barreto Soto,

Director técnico,

D.T.

Sello

seal

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de SCAL S.A.S. Certificados sin firma carecen de validez.
This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of both the SCAL S.A.S. certificates without signature are not valid.

Pág. 1 de 3

Certificado de calibración No. SCS491

FT-02-004

Calibration certificate No. SCS491

Laboratorio Temperatura
2019-02-22

La versión en inglés del certificado de calibración es una traducción no obligatoria. En caso de duda aplicar el texto en español.
The English version of the calibration certificate is not a binding translation. If any matters give rise to controversy, the Spanish original text must be used.

Método de calibración: Calibration method	La indicación del termómetro es comparado con la temperatura de referencia la cual es medida con el termómetro patrón. El método utilizado es el de comparación directa indicado en la norma NT VVS 103:1994. The indication of the thermometer is compared with the reference thermometer. The method used is the direct comparison indicated in the NT VVS 103: 1994 standard.
Condiciones ambientales: Environmental condition	Temperatura 23,5 °C ± 0,5 °C Humedad relativa 56,0 %rh ± 0,5 %rh
Trazabilidad: Traceability	Termómetro Digital, Código EPS-025, Certificado No. AS887 Emitido por Smart Sensor y Bloque seco, con código EPS-028, certificado No. 88815050. Estas mediciones son trazables a la escala internacional de temperatura ITS-90. These measurements are traceable to the international temperature scale ITS-90

Incertidumbre de medida / Measuring uncertainty

La incertidumbre expandida de medición especificada arriba, se calcula multiplicando la incertidumbre de medida estándar con el factor de cobertura $k = 2$. Este valor ha sido determinado según la GUM y la norma NT VVS 103:1994. El valor medido de la magnitud se estima normalmente con una probabilidad de aproximadamente del 95,45 %.
The expanded measuring uncertainty is calculated by multiplication of the standard measuring uncertainty with the expansion factor k . It was determined according to GUM and standard NT VVS 103:1994. The measured value of the magnitude is usually estimated with an approximate probability of 95%.

Los resultados son válidos para el estado del objeto de calibración bajo las condiciones existentes en el momento de la calibración. En el cálculo no está contenida la estabilidad a largo plazo del objeto de calibración.
The results apply to the status of the calibrating item and under the conditions of the time of calibration. A provision for the long-time stability of the calibrating item is not included.

Observaciones / Remarks

Los resultados contenidos en el presente documento se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio de calibración guarda una copia de este certificado de calibración por lo menos cinco años.
The results given on this document refers to moment and conditions when the tests and measurements were made. The calibration laboratory retains a copy of this calibration certificate for at least 5 years.

El presente documento expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas y el Laboratorio de Metrología SCAL S.A.S. no se responsabiliza por los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos.
This document faithfully expresses the measures results and Metrology Laboratory of SCAL S.A.S. is not responsible for damages that may result from inappropriate use of the instruments.

Pag. 2 de 3

Certificado de calibración No. SCS491

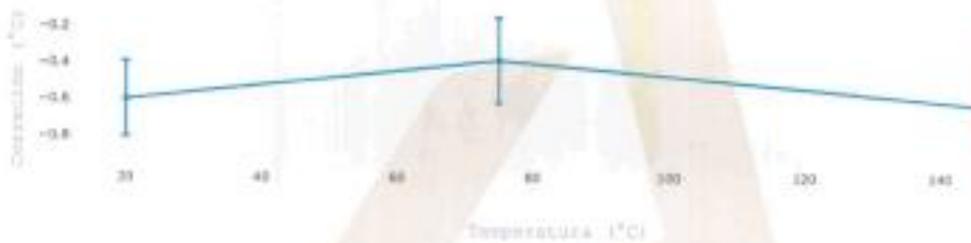
Calibration certificate No. SCS491

FT-02-004
Laboratorio Temperatura
2019-02-22

Resultados de medición / Measurement results

Sensor Sensor	Temperatura Temperature (°C)	Lectura Reading (°C)	Corrección Correction (°C)	Factor de cobertura Coverage factor k	Incertidumbre expandida Uncertainty U
Termocupla	20	20,40	-0,60	2,01	0,205
Termocupla	75	75,47	-0,39	2,07	0,234
Termocupla	147,5	148,55	-0,64	2,22	0,297

Gráfico de Errores



Fin del Informe / End of the Report

SCAL
GARANTIZAMOS SUS MEDICIONES