



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA RADIACIÓN SOLAR EN EL  
CALENTAMIENTO DE VEHÍCULOS TIPO SUV.**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES:**

**JORGE ALEJANDRO CHICA YUQUI**

**MICHAEL PATRICIO VINUEZA CISNEROS**

Riobamba – Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA RADIACIÓN SOLAR EN EL  
CALENTAMIENTO DE VEHÍCULOS TIPO SUV.**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES: JORGE ALEJANDRO CHICA YUQUI**

**MICHAEL PATRICIO VINUEZA CISNEROS**

**DIRECTOR: PhD. FERNANDO MAURICIO TELLO OQUENDO**

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, **Jorge Alejandro Chica Yuqui; Michael Patricio Vinueza Cisneros**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Nosotros, Jorge Alejandro Chica Yuqui y Michael Patricio Vinueza Cisneros, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 31 de mayo de 2023



---

**Jorge Alejandro Chica Yuqui**

**060460201-1**



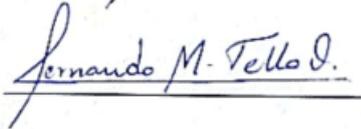
---

**Michael Patricio Vinueza Cisneros**

**230041552-4**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

El Tribunal de Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA RADIACIÓN SOLAR EN EL CALENTAMIENTO DE VEHÍCULOS TIPO SUV**, realizado por los señores: **JORGE ALEJANDRO CHICA YUQUI, MICHAEL PATRICIO VINUEZA CISNEROS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Juan Carlos Rocha Hoyos <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2023-05-31
PhD. Fernando Mauricio Tello Oquendo <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-05-31
PhD. Daniela Carina Vásquez Núñez <b>ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-05-31

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este trabajo de investigación a mis padres Flor Piedad Yuqui Ayala y Jorge Bolívar Chica Chalar; por su sacrificio y apoyo incondicional para alcanzar mi objetivo, a mis hermanas Yuliana, Leslie y Kerly por su cariño y palabras de aliento para no rendirme y a todos quienes me han brindado de su apoyo y conocimientos para afrontar este arduo camino.

**Jorge**

Con mucho amor, este trabajo de investigación va dedicado a mi madre Carmen Cisneros y a mi padre Felipe Vinuesa quienes han sabido formarme con buenos hábitos y valores, que con gran esfuerzo me han ayudado a salir adelante y cumplir cada una de mis metas, a mi hermana y a mis hermanos que han sabido darme la mano para no rendirme en el camino y mediante palabras de aliento me han dado fuerza para seguir luchando. Mi familia es la motivación de mi vida por la que cada día quiero ser mejor.

**Michael**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios que me ha permitido tener una familia maravillosa y por darme unos padres que gracias a su apoyo incondicional me han permitido acabar mi carrera universitaria, agradezco a mi padre y a mi madre por el enorme esfuerzo que han hecho para poder llegar a ser un profesional y por acompañarme en todo este proceso, a mi novia Erika Escobar por estar conmigo en este trayecto y apoyarme en cada momento. Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a mi tutor el Ing. Fernando Tello y a mi asesora la Ing. Daniela Vásconez por brindarme de sus conocimientos y apoyo al realizar este trabajo de investigación y a todos mis profesores que compartieron sus conocimientos durante la preparación de mi profesión.

**Jorge**

El primer agradecimiento va dirigido a Dios quien me ha guiado y me ha dado toda la fortaleza para seguir adelante. Agradezco a mis padres quienes día a día se han esforzado para que logre culminar mi carrera universitaria apoyándome incondicionalmente. A mi novia Adriana Abad quien ha sido parte de este proceso y me ha apoyado en todo momento. Agradezco a la Escuela Politécnica Superior del Chimborazo y con ello a mi tutor Ing. Fernando Tello y mi asesora Ing. Daniela Vásconez quienes fueron los mejores guías en este proceso y por medio de sus conocimientos se dio por culminado este trabajo de investigación y finalmente a todos mis ingenieros por haber sido parte de mi formación académica, por todo el conocimiento y valores que he aprendido.

**Michael**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xvii
RESUMEN.....	xviii
SUMMARY .....	xix
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1	Planteamiento del problema .....	2
1.2	Limitaciones y delimitaciones .....	3
1.2.1	<i>Limitaciones</i> .....	3
1.2.2	<i>Delimitaciones</i> .....	4
1.3	Problema General de investigación .....	4
1.4	Problema Específico de Investigación.....	4
1.5	Objetivos.....	5
1.5.1	<i>Objetivo general</i> .....	5
1.5.2	<i>Objetivos específicos</i> .....	5
1.6	Justificación.....	6
1.6.1	<i>Justificación teórica</i> .....	6
1.6.2	<i>Justificación metodológica</i> .....	7
1.6.3	<i>Justificación práctica</i> .....	7
1.7	Hipótesis .....	9
1.7.1	<i>Hipótesis de investigación</i> .....	9
1.7.2	<i>Hipótesis nula</i> .....	9

### CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO .....	10
2.1	Referencias teóricas.....	10
2.1.1	<i>Energía solar</i> .....	10
2.1.1.1	<i>Incidencia de los rayos solares sobre la Tierra</i> .....	10

2.1.1.2	<i>Tipos de radiación solar</i> .....	12
2.1.1.3	<i>Instrumentos de medición de energía solar incidente sobre el suelo</i> .....	13
<b>2.1.2</b>	<b><i>Procesos de transferencia de calor y su influencia en el flujo de energía de la cabina del vehículo</i></b> .....	<b>15</b>
2.1.2.1	<i>Conducción a través de las paredes</i> .....	16
2.1.2.2	<i>Conductividad y difusividad térmica</i> .....	18
2.1.2.3	<i>Convección entre superficies y el aire</i> .....	19
2.1.2.4	<i>Radiación de longitud de onda corta y larga</i> .....	21
<b>2.1.3</b>	<b><i>Condiciones ambientales del Ecuador</i></b> .....	<b>23</b>
2.1.3.1	<i>Factores del clima</i> .....	25
<b>2.1.4</b>	<b><i>Balance de calor en los vehículos</i></b> .....	<b>26</b>
2.1.4.1	<i>Cargas térmicas del vehículo</i> .....	27
<b>2.1.5</b>	<b><i>Confort térmico en los vehículos</i></b> .....	<b>28</b>
2.1.5.1	<i>Equilibrio térmico del cuerpo humano</i> .....	29
2.1.5.1.1	<i>Metabolismo</i> .....	30
2.1.5.1.2	<i>Vestimenta</i> .....	31
2.1.5.2	<i>Carrocería del vehículo</i> .....	32
2.1.5.3	<i>Parámetros ambientales que inciden en el confort</i> .....	33
2.1.5.3.1	<i>Temperaturas al interior del vehículo</i> .....	33
2.1.5.3.2	<i>Humedad relativa</i> .....	34
2.1.5.3.3	<i>Velocidad del aire</i> .....	36
<b>2.1.6</b>	<b><i>Sistema de climatización</i></b> .....	<b>36</b>
2.1.6.1	<i>Consumo térmico del aire acondicionado</i> .....	37
2.1.6.2	<i>Emisiones de gases contaminantes</i> .....	38
<b>2.2</b>	<b><i>Antecedentes</i></b> .....	<b>40</b>

### CAPÍTULO III

<b>3.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>43</b>
<b>3.1</b>	<b>Enfoque de Investigación</b> .....	<b>43</b>
<b>3.2</b>	<b>Nivel de Investigación</b> .....	<b>43</b>
<b>3.3</b>	<b>Diseño de Investigación</b> .....	<b>44</b>
<b>3.4</b>	<b>Tipo de estudio</b> .....	<b>45</b>
<b>3.5</b>	<b>Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra</b> .....	<b>45</b>
<b>3.6</b>	<b>Métodos, técnicas e instrumentos de investigación</b> .....	<b>46</b>

<b>3.6.1</b>	<b><i>Mediciones experimentales de temperatura exterior, interior, humedad relativa y radiación solar</i></b> .....	47
3.6.1.1	<i>Equipos de medición</i> .....	47
3.6.1.1.1	<i>Piranómetro</i> .....	47
3.6.1.1.2	<i>Sensores de temperatura DS18B20</i> .....	49
3.6.1.1.3	<i>Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11</i> .....	50
3.6.1.1.4	<i>Anemómetro</i> .....	51
<b>3.6.2</b>	<b><i>Adquisición de datos</i></b> .....	53
3.6.2.1	<i>Conexiones de los sensores de temperatura DS18B20 con Arduino</i> .....	53
3.6.2.2	<i>Conexiones de los sensores de humedad relativa y temperatura DHT11 con Arduino</i> .....	54
3.6.2.3	<i>Adquisición y guardado de los datos a través de un módulo microSD</i> .....	55
3.6.2.4	<i>Vehículos de prueba</i> .....	56
3.6.2.4.1	<i>Características del vehículo</i> .....	56
3.6.2.5	<i>Condiciones ambientales en las ciudades de prueba</i> .....	57
<b>3.6.3</b>	<b><i>Evaluación del campo experimental</i></b> .....	59
3.6.3.1	<i>Escenarios experimentales</i> .....	59
3.6.3.2	<i>Escenario 1: Vehículos estacionados en el exterior con dirección Norte de diferente color</i> .....	61
3.6.3.3	<i>Escenario 2: vehículo estacionado en el exterior con dirección al Norte con todas las ventanas semi abiertas</i> .....	62
3.6.3.4	<i>Escenario 3: Vehículo estacionado en el exterior con dirección al Este</i> .....	63
3.6.3.5	<i>Escenario 4: Vehículo estacionado en el exterior con dirección al Este con todas las ventanas semi abiertas</i> .....	65
3.6.3.6	<i>Escenario 5: Vehículos estacionados en el exterior con el uso del aire acondicionado al 50% y 100% en modo aire fresco</i> .....	66
3.6.3.7	<i>Escenario 6: Vehículos estacionados en el exterior con el uso del aire acondicionado al 50% y 100% en modo recirculación</i> .....	67
<b>3.6.4</b>	<b><i>Demanda térmica del sistema de aire acondicionado</i></b> .....	68

## **CAPÍTULO IV**

<b>4.</b>	<b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	72
<b>4.1</b>	<b>Comportamiento térmico de un vehículo SUV en la ciudad de Riobamba</b> .....	72
<b>4.1.1</b>	<b><i>Escenario 1, vehículos de diferente color estacionados a la intemperie con dirección Norte y ventanas cerradas</i></b> .....	72

4.1.2	<i>Escenario 2, vehículo estacionado a la intemperie con dirección Norte y ventanas semiabiertas</i> .....	76
4.1.3	<i>Escenario 3, vehículo estacionado a la intemperie con dirección Este y ventanas cerradas</i> .....	80
4.1.4	<i>Escenario 4, vehículo estacionado a la intemperie con dirección Este y ventanas semiabiertas</i> .....	83
4.1.5	<i>Escenario 5, vehículo estacionando a la intemperie con el uso del A/C en modo aire fresco</i> .....	86
4.1.6	<i>Escenario 6, vehículo estacionado a la intemperie con el uso del A/C en modo recirculación</i> .....	87
4.2	<b>Comportamiento térmico de un vehículo SUV en la ciudad de Santo Domingo</b> ..	89
4.2.1	<i>Escenario 1 vehículos de diferente color estacionados a la intemperie con dirección Norte y ventanas cerradas</i> .....	89
4.2.2	<i>Escenario 2, vehículo estacionado a la intemperie con dirección Norte y ventanas semiabiertas</i> .....	92
4.2.3	<i>Escenario 3, vehículo estacionado a la intemperie con el uso del A/C en modo aire fresco</i> .....	95
4.2.4	<i>Escenario 4, vehículo estacionado a la intemperie con el uso del A/C en modo recirculación</i> .....	97
4.3	<b>Demanda térmica del sistema de aire acondicionado considerando los factores que influyen en el calentamiento del vehículo.</b> .....	98
4.3.1	<i>Validación del escenario 1: orientación Norte y con todas sus ventanas cerradas</i> .....	99
4.3.2	<i>Cálculo de la demanda térmica de cada escenario</i> .....	99
4.4	<b>Comparación del comportamiento térmico de los vehículos y la influencia de los factores estudiados entre las ciudades de Riobamba y Santo Domingo</b> .....	100
4.4.1	<i>Comparación de colores de los vehículos en las ciudades de prueba</i> .....	101
4.4.2	<i>Comparación de ventanas cerradas con dirección Norte en las ciudades de prueba</i> .....	102
4.4.3	<i>Comparación de ventanas semiabiertas con dirección Norte en las ciudades de prueba</i> .....	103
4.4.4	<i>Comparación del uso del aire acondicionado en las ciudades de prueba</i> .....	105

## **CAPÍTULO V**

5.	<b>MARCO PROPOSITIVO</b> .....	107
5.1	<b>Nuevas líneas de investigación</b> .....	107

<b>CONCLUSIONES</b> .....	109
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	112
<b>GLOSARIO</b>	
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Conductividad térmicas de algunos materiales a temperatura ambiente. ....	18
<b>Tabla 2-2:</b> Difusividad térmicas de algunos materiales a temperatura ambiente. ....	19
<b>Tabla 3-2:</b> Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección. ....	20
<b>Tabla 4-2:</b> Emisividades de algunos materiales a 300 K. ....	22
<b>Tabla 5-2:</b> Escala térmica del cuerpo humano. ....	29
<b>Tabla 6-2:</b> Temperaturas promedio de diferentes edades. ....	29
<b>Tabla 7-2:</b> Índices metabólicos durante varias actividades. ....	30
<b>Tabla 8-2:</b> Valores de aislamiento de ropa para conjuntos típicos. ....	31
<b>Tabla 9-2:</b> Propiedades de las superficies del vehículo. ....	32
<b>Tabla 10-2:</b> Materiales en las superficies de la cabina de algunos vehículos sedán, hatchback, SUV. ....	33
<b>Tabla 11-2:</b> Propiedades de superficies acristaladas. ....	33
<b>Tabla 12-2:</b> Valores de sensación térmica por calor. ....	35
<b>Tabla 13-2:</b> Norma 34 de ASHRAE con algunos ejemplos de refrigerantes. ....	38
<b>Tabla 14-2:</b> Impacto ambiental de ciertos refrigerantes. ....	39
<b>Tabla 1-3:</b> Venta de vehículos en el Ecuador por segmento. ....	46
<b>Tabla 2-3:</b> Especificaciones técnicas del piranómetro SM206-SOLAR. ....	48
<b>Tabla 3-3:</b> Especificaciones técnicas del piranómetro SR11 Hukseflux. ....	49
<b>Tabla 4-3:</b> Especificaciones técnicas del sensor de temperatura DS18B20. ....	50
<b>Tabla 5-3:</b> Especificaciones técnicas del sensor de temperatura y humedad relativa DHT11. ....	51
<b>Tabla 6-3:</b> Especificaciones técnicas del anemómetro Extech 45158. ....	52
<b>Tabla 7-3:</b> Pines de conexión del módulo microSD para los distintos Arduino. ....	55
<b>Tabla 8-3:</b> Especificaciones técnicas del vehículo Renault Duster. ....	56
<b>Tabla 9-3:</b> Especificaciones técnicas del vehículo Kia Sportage Active. ....	57
<b>Tabla 10-3:</b> Características geográficas y climatológicas de las ciudades de Santo Domingo y Riobamba. ....	57
<b>Tabla 11-3:</b> Especificaciones de los ensayos que intervienen dos vehículos de diferente color. ....	62
<b>Tabla 12-3:</b> Especificaciones de los ensayos que interviene un solo vehículo con ventanas semi abiertas con dirección Norte. ....	63
<b>Tabla 13-3:</b> Especificaciones del ensayo que interviene un solo vehículo con dirección Este. ....	64
<b>Tabla 14-3:</b> Especificaciones del ensayo que interviene un solo vehículo con ventanas semi abiertas con dirección Este. ....	65

<b>Tabla 15-3:</b> Especificaciones de los ensayos que interviene un solo vehículo con el A/C en modo aire fresco.....	66
<b>Tabla 16-3:</b> Especificaciones de los ensayos que interviene un solo vehículo con el A/C en modo recirculación.....	67
<b>Tabla 17-3:</b> Características geométricas de los vehículos de prueba .....	69
<b>Tabla 18-3:</b> Propiedades de las superficies del vehículo.....	70
<b>Tabla 1-4:</b> Tabla comparativa de los escenarios experimentales con su demanda térmica....	100
<b>Tabla 2-4:</b> Tiempo que tarda en enfriar la cabina de los vehículos en los diferentes modos del aire acondicionado de las ciudades de prueba .....	106

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-1:</b> Insolación directa del mes de agosto de 2008 en la provincia de Santo Domingo y Chimborazo.....	2
<b>Ilustración 1-2:</b> Variación del ángulo de declinación a lo largo del año.....	11
<b>Ilustración 2-2:</b> Tipos de radiación solar .....	13
<b>Ilustración 3-2:</b> Piranómetro .....	14
<b>Ilustración 4-2:</b> Pirheliómetro .....	14
<b>Ilustración 5-2:</b> Heliógrafo de ampbell-Stockes.....	15
<b>Ilustración 6-2:</b> Flujo de energía de la cabina de un vehículo.....	16
<b>Ilustración 7-2:</b> Conducción de calor a través de una pared plana.....	17
<b>Ilustración 8-2:</b> Enfriamiento por convección forzada y convección natural .....	20
<b>Ilustración 9-2:</b> Absorción de radiación incidente sobre superficie opaca.....	22
<b>Ilustración 10-2:</b> Mapa climático del Ecuador .....	24
<b>Ilustración 11-2:</b> Temperaturas promedio mínimas del Ecuador. ....	25
<b>Ilustración 12-2:</b> Balance de calor en los vehículos. ....	27
<b>Ilustración 13-2:</b> Cargas térmicas del vehículo. ....	28
<b>Ilustración 14-2:</b> Incidencia de la radiación en el Ecuador. ....	34
<b>Ilustración 15-2:</b> Componentes del sistema de climatización. ....	37
<b>Ilustración 1-3:</b> Esquema del diseño del trabajo de investigación .....	45
<b>Ilustración 2-3:</b> Piranómetro SM206-SOLAR .....	47
<b>Ilustración 3-3:</b> Piranómetro SR11 Hukseflux.....	48
<b>Ilustración 4-3:</b> Sensor de temperatura DS18B20.....	49
<b>Ilustración 5-3:</b> Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11 .....	51
<b>Ilustración 6-3:</b> Mini anemómetro Extech 45158.....	52
<b>Ilustración 7-3:</b> Diagrama de conexión del sensor DS18B20 usando una fuente externa .....	53
<b>Ilustración 8-3:</b> Conexiones usando varios sensores DS18B20 con diferentes pines del Arduino .....	54
<b>Ilustración 9-3:</b> Conexión del sensor DHT11 a los diferentes pines del Arduino.....	55
<b>Ilustración 10-3:</b> Insolación global del mes de diciembre de 2008 de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas .....	58
<b>Ilustración 11-3:</b> Insolación global del mes de diciembre de 2008 de la provincia de Chimborazo .....	59
<b>Ilustración 12-3:</b> Ubicación de los sensores DS18B20 y DHT11 al interior del vehículo .....	60
<b>Ilustración 13-3:</b> Ubicación de sensores DS18B20 y DHT11 en el exterior del vehículo.....	60

<b>Ilustración 14-3:</b> Orientación del vehículo hacia el Norte .....	61
<b>Ilustración 15-3:</b> Orientación del vehículo hacia el Este .....	64
<b>Ilustración 16-3:</b> Orientación del vehículo hacia el Este con ventanas semi abiertas .....	65
<b>Ilustración 17-3:</b> Zonas térmicas de las cabinas de los vehículos de prueba .....	69
<b>Ilustración 18-3:</b> Modelo desarrollado en TRNSYS para el cálculo de la demanda térmica.....	71
<b>Ilustración 1-4:</b> Orientación Norte de los vehículos con sus ventanas cerradas .....	73
<b>Ilustración 2-4:</b> Temperaturas promedio y radiación global de los vehículos estacionados con dirección Norte y ventanas cerradas .....	74
<b>Ilustración 3-4:</b> Humedades relativas al interior y temperaturas promedio de los vehículos...	74
<b>Ilustración 4-4:</b> Promedio de los sensores de temperatura al interior de los vehículos. a) vehículo oscuro, b) vehículo claro.....	75
<b>Ilustración 5-4:</b> Orientación Norte del vehículo con sus ventanas semiabiertas .....	76
<b>Ilustración 6-4:</b> Temperaturas internas y ambiente del vehículo estacionado con dirección Norte y ventanas semiabiertas .....	77
<b>Ilustración 7-4:</b> Temperatura promedio y radiación global del vehículo estacionado con dirección Norte y ventanas semiabiertas .....	78
<b>Ilustración 8-4:</b> Humedad relativa al interior y temperatura promedio del vehículo .....	79
<b>Ilustración 9-4:</b> Temperaturas internas y ambiente del vehículo estacionado con dirección Norte y ventanas cerradas .....	79
<b>Ilustración 10-4:</b> Orientación Este del vehículo con sus ventanas cerradas .....	80
<b>Ilustración 11-4:</b> Temperaturas internas y ambiente del vehículo estacionado con dirección Este y ventanas cerradas.....	81
<b>Ilustración 12-4:</b> Temperatura promedio y radiación global del vehículo estacionado con dirección Este y ventanas cerradas .....	82
<b>Ilustración 13-4:</b> Humedad relativa al interior y temperatura promedio del vehículo .....	83
<b>Ilustración 14-4:</b> Orientación Este del vehículo con sus ventanas semiabiertas .....	83
<b>Ilustración 15-4:</b> Temperaturas internas y ambiente del vehículo estacionado con dirección Este y ventanas semiabiertas .....	84
<b>Ilustración 16-4:</b> Temperatura promedio y radiación global del vehículo estacionado con dirección Este y ventanas semiabiertas .....	85
<b>Ilustración 17-4:</b> Humedad relativa al interior y temperatura promedio del vehículo .....	86
<b>Ilustración 18-4:</b> Activación del aire acondicionado en modo aire fresco.....	86
<b>Ilustración 19-4:</b> Etapas del uso de A/C al 50% y 100% en modo aire fresco.....	87
<b>Ilustración 20-4:</b> Activación del aire acondicionado en modo recirculación.....	87
<b>Ilustración 21-4:</b> Etapas del uso de A/C al 50% y 100% en modo recirculación .....	88
<b>Ilustración 22-4:</b> Orientación Norte de los vehículos con sus ventanas cerradas .....	89

<b>Ilustración 23-4:</b> Temperaturas promedio y radiación global de los vehículos estacionados con dirección Norte y ventanas cerradas .....	90
<b>Ilustración 24-4:</b> Humedades relativas al interior y temperaturas promedio de los vehículos...	91
<b>Ilustración 25-4:</b> Promedio de los sensores de temperatura al interior de los vehículos. a) vehículo oscuro, b) vehículos claro .....	92
<b>Ilustración 26-4:</b> Orientación Norte del vehículo con sus ventanas semiabiertas .....	92
<b>Ilustración 27-4:</b> Temperaturas al interior del vehículo en dirección Norte con ventanas semiabiertas y temperatura ambiente .....	93
<b>Ilustración 28-4:</b> Temperatura promedio del vehículo aparcado en dirección Norte con las ventanas semiabiertas y radiación global .....	94
<b>Ilustración 29-4:-</b> Humedad relativa al interior y temperatura promedio del vehículo .....	94
<b>Ilustración 30-4:</b> Temperaturas al interior del vehículo en dirección Norte con ventanas cerradas y temperatura ambiente .....	95
<b>Ilustración 31-4:</b> Activación del aire acondicionado en modo aire fresco.....	96
<b>Ilustración 32-4:</b> Etapas del uso de A/C al 50% y 100% en modo aire fresco.....	96
<b>Ilustración 33-4:</b> Activación del aire acondicionado en modo recirculación.....	97
<b>Ilustración 34-4:</b> Etapas de uso de A/C al 50% y 100% en modo recirculación.....	98
<b>Ilustración 35-4:</b> Validación del escenario 1 usando el modelo térmico transitorio de TRNSYS .....	99
<b>Ilustración 36-4:</b> Curva de demanda térmica de la cabina del vehículo .....	100
<b>Ilustración 37-4:</b> Pronóstico del clima en las ciudades de prueba para el escenario 1 .....	101
<b>Ilustración 38-4:</b> Temperaturas máximas de los vehículos oscuros de las ciudades de prueba .....	102
<b>Ilustración 39-4:</b> Temperaturas máximas de los vehículos claros en dirección Norte con las ventanas cerradas de las ciudades de prueba .....	103
<b>Ilustración 40-4:</b> Pronóstico del clima en las ciudades de prueba para el escenario 2 .....	103
<b>Ilustración 41-4:</b> Temperaturas máximas de los vehículos claros en dirección Norte con las ventanas semiabiertas de las ciudades de prueba.....	104
<b>Ilustración 42-4:</b> Diagrama psicométrico con la etapa de enfriamiento de la cabina del vehículo .....	105

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

**ANEXO B:** EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS DE RADIACIÓN SOLAR

**ANEXO C:** TOMA DE MEDIDAS DE LAS SUPERFICIES DEL VEHÍCULO PARA EL CÁLCULO DE ÁREAS

**ANEXO D:** POLARIZACIÓN DE VENTANAS Y PARABRISAS POSTERIOR EN EL VEHÍCULO OSCURO

**ANEXO E:** OBTENCIÓN DE VELOCIDAD Y TEMPERATURA A LA SALIDA DE REJILLAS DEL AIRE ACONDICIONADO

**ANEXO F:** PARABRISAS POLARIZADO DEL VEHÍCULO CLARO A DIFERENCIA DEL VEHÍCULO OSCURO

## RESUMEN

El trabajo que realiza el sistema de A/C depende de cargas térmicas causadas por efecto de la radiación solar. Estudios realizados en Europa, Asia y Norte América exponen que el consumo de combustible aumenta entre un 12 y 17 % en vehículos subcompactos y livianos. Por lo tanto, se llevó a cabo como objetivo de esta investigación, comparar el comportamiento térmico de los vehículos SUV y la influencia de la radiación en la región Costa y Sierra ecuatoriana por falta de estudios en Latinoamérica. Enfocados en un nivel de investigación predictivo y usando equipos de medición se obtuvo datos de temperatura, humedad y radiación para después realizar un análisis cuantitativo con una serie de datos en distintos lapsos de tiempo y considerando varios parámetros ambientales y escenarios como: posición de ventanas, color, orientación y uso del aire acondicionado. Mediante esta metodología se determinó, que los vehículos oscuros superan  $\pm 2,30^{\circ}\text{C}$  a vehículos claros, al tener las ventanas semiabiertas en vehículos orientados hacia el Norte la temperatura al interior llega ser similar a la temperatura exterior en la región Costa, mientras que en la Sierra se tiene  $\pm 10^{\circ}\text{C}$  de diferencia, para vehículos orientación hacia Este y ventanas cerradas en la ciudad de Riobamba la temperatura en su interior es  $\pm 24,93^{\circ}\text{C}$  más que el exterior y con ventanas semiabiertas se tiene una temperatura interior de  $\pm 9,31^{\circ}\text{C}$  más que el exterior, usando el A/C en modo aire fresco para las velocidades de 50% y 100%, se tuvo mayor efectividad en la ciudad de Riobamba con una menor activación del sistema de A/C y para el modo recirculación se obtuvo buenos resultados en ambas ciudades con una activación de 14 y 10 minutos del A/C. Concluyendo que en la ciudad de Riobamba se tiene valores altos de radiación lo que provoca una mayor demanda térmica.

**Palabras clave:** <CARGAS TÉRMICAS> <RADIACIÓN SOLAR> <CONFORT TÉRMICO> <AIRE ACONDICIONADO> <CAPACIDAD FRIGORÍFICA> <VEHÍCULOS SUV> <RIOBAMBA (CANTÓN)> <SANTO DOMINGO (CANTÓN)>

1165-DBRA-UPT-2023



## SUMMARY

The work performed by the A/C system depends on thermal loads caused by the effect of solar radiation. Studies in Europe, Asia and North America show that fuel consumption increases by 12-17% in subcompact and lightweight vehicles. Therefore, it was carried out as an objective of this research, to compare the thermal behavior of SUV vehicles and the influence of radiation in the Ecuadorian Coast and Sierra region due to lack of studies in Latin America. Focused on a level of predictive research and using measuring equipment, temperature, humidity and radiation data were obtained and then a quantitative analysis was carried out with a series of data in different periods of time and considering several environmental parameters and scenarios such as: position of windows, color, orientation and use of air conditioning. Through this methodology it was determined that dark vehicles exceed  $\pm 2.30$  °C to light vehicles, having semi-open windows in vehicles facing north the temperature inside becomes similar to the outside temperature in the Costa region, while in the Sierra there is  $\pm 10$  °C difference, for vehicles facing East and closed windows in the city of Riobamba the temperature inside is  $\pm 24.93$  °C more than the exterior and with semi-open windows has an interior temperature of  $\pm 9.31$  °C more than the outside, using the A/C in fresh air mode for speeds of 50% and 100%, was more effective in the city of Riobamba with a lower activation of the A/C system and for the recirculation mode good results were obtained in both cities with an activation of 14 and 10 minutes of the A/C. Concluding that in the city of Riobamba there are high values of radiation which causes a greater thermal demand.

**Keywords:** <THERMAL LOADS> <SOLAR RADIATION> <THERMAL COMFORT> <AIR CONDITIONING> <REFRIGERATION CAPACITY> <SUV> <RIOBAMBA (CANTON)> <SANTO DOMINGO (CANTON)>



Licda. Mónica A. Castelo R. Mgs.

C.I: 060453982-5

## INTRODUCCIÓN

La mayoría de las investigaciones realizadas sobre temas relacionados al campo automotriz se han enfocado en lo que compete a movilidad, rendimientos y muy pocos al confort, por lo que, este trabajo de investigación ayudará a futuras investigaciones para que analicen de manera más detallada la influencia de la radiación en las regiones del Ecuador. El confort térmico de un vehículo será primordial, para que el conductor tenga un buen enfoque en la carretera al momento de conducir, por lo que, en los vehículos actuales viene incorporado el sistema HVAC (Calefacción, ventilación y aire acondicionado) permitiendo que la cabina del vehículo se mantenga en una temperatura óptima.

Cuando el sistema de aire acondicionado comienza a funcionar, existe una demanda térmica que ocasiona un consumo de energía adicional en el motor provocando a la vez un consumo adicional de combustible y produciendo una mayor emisión de gases contaminantes hacia el medio ambiente. En el Ecuador existe una gran influencia de radiación solar por estar situado en la línea ecuatorial lo que provoca el calentamiento de la cabina de los vehículos, es por ello que se realizan medidas experimentales de temperatura exterior, interior y radiación cuando el vehículo se encuentra aparcado a la intemperie, tomando en cuenta que, el Ecuador está constituido por varias regiones se consideran dos de ellas; una en la que la influencia de radiación en climas fríos (región Sierra) es mayor que en climas cálidos (región Costa) obteniendo una comparación del comportamiento térmico de los vehículos.

Se parte realizando una revisión de literatura que se encuentra en búsqueda de las bases de datos de bibliografía como WoS y Scopus, considerando los artículos de los últimos 15 años y teniendo en cuenta temas como: confort térmico, radiación solar, cargas térmicas, temperaturas, humedad en el interior de los vehículos, demandas energéticas del sistema de aire acondicionado y libros sobre transferencia de calor. Para continuar con la etapa experimental, se realizan distintas mediciones con el uso de equipos tales como: sensores de temperatura, sensores de humedad relativa, piranómetro, anemómetro y Arduino; para el registro y almacenamiento de datos. Estas mediciones se van a realizar en diferentes periodos de tiempo, considerando las condiciones climáticas de la región Costa y Sierra del Ecuador.

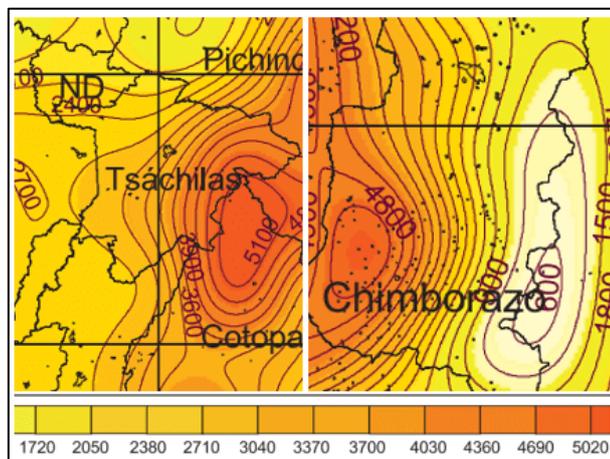
En función de la temperatura exterior e interior de la cabina del vehículo y de las cargas térmicas que influyen en estos análisis, se estimará la demanda térmica del sistema de aire acondicionado utilizando balances de calor. Por último, se realizará una comparativa del comportamiento térmico de los vehículos y cómo influye los factores estudiados en la región Costa y Sierra del Ecuador.

# CAPÍTULO I

## 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 Planteamiento del problema

El trabajo de investigación a desarrollar está orientado a estudiar de la influencia de la radiación solar en el calentamiento del aire interior de vehículos tipo SUV (Vehículo deportivo utilitario). Para lo cual, se pretende medir la temperatura existente al interior y exterior del vehículo, tomando en cuenta que la radiación solar incidente es uno de los factores que más influye en el calentamiento al interior de la cabina. Además Álvarez et al. (2018: p.16) afirman que, la capa de ozono se debilita en la franja ecuatorial por el acceso de gases que provocan el efecto invernadero y que Ecuador tiene: “la radiación más alta del planeta” afectando también a países vecinos como el Perú y Colombia. Autores como Velasco y Cabrera (2009: p.2) comentan que, un valor medio aproximado de la radiación solar global en Ecuador es de 4200 kWh/año, que es muy superior al de España de 1400 kWh/año por m<sup>2</sup> y CIE (2008, p.3) menciona que, el Ecuador es un país con características topográficas muy variadas, de gran diversidad climática y condiciones únicas, donde han realizado análisis de radiación solar en diferentes áreas topográficas del Ecuador.



**Ilustración 1-1:** Insolación directa del mes de agosto de 2008 en la provincia de Santo Domingo y Chimborazo

Fuente: (CIE, 2008)

En la **Ilustración 1-1** se muestra la variación de la insolación directa del mes de agosto en las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas y Chimborazo, donde se puede observar que, se tiene más influencia de radiación solar en la Sierra que en la Costa ecuatoriana con valores promediadas de 4800 kWh/día y 3370 kWh/día por m<sup>2</sup> respectivamente en el mes de agosto en donde existe una mayor radiación en la Sierra ecuatoriana, por ello, la radiación solar va a ser uno

de los factores claves durante todo el desarrollo del presente trabajo. Además, las condiciones climatológicas varían dependiendo de las estaciones del año, debido a que el Ecuador se encuentra en Sudamérica existen dos estaciones verano e invierno en las cuales van rotando en los diferentes meses del año y en algunas ocasiones existe una fuerte radiación solar por las mañanas y tormentas eléctricas por la tarde y noche en diferentes días del mes, por lo que se tiene cambios bruscos de temperatura que afectan al calentamiento de la cabina de los vehículos.

Cuando se crea un vehículo son varios los métodos de trabajo que se aplican, en los cuales se van creando nuevos parámetros a tomar en cuenta ya que van a sufrir ciertas cargas térmicas que son resultados de varios motivos como: la temperatura exterior, la radiación solar, la ventilación, los ocupantes del vehículo, al igual que la iluminación y los elementos que se encuentran fuera de la cabina del vehículo, muchos de ellos son impermeables al paso del calor, pero esto dependerá de la temperatura ambiente debido a que en ciertos sectores las altas temperaturas van a penetrar al interior del vehículo ocasionando que su temperatura suba.

En nuestro país, al estar ubicado en la línea ecuatorial, la radiación tiene un mayor efecto en vehículos de color oscuro ya que absorben mayor radiación solar que los pintados en colores claros. Por otro lado, se ha escogido el tipo de vehículos SUV por su gran número de ventas en el país en los últimos años; según la AEADE (2022, p.18) , en Ecuador se han vendido 25151 vehículos de este tipo hasta el mes de mayo del 2022.

La geometría del vehículo será fundamental a la hora de determinar las cargas térmicas, cada vehículo tiene diferente diseño y es allí donde se van a comportar de manera distinta al momento en que la radiación solar es reflejada en el vehículo, además del color que es uno de los principales fenómenos de absorción de calor, mientras más oscuro mayor será el calor que absorbe y por ende se calentará más rápido la cabina del vehículo. El uso del aire acondicionado logra reducir la cantidad de calor, produciendo una considerable disminución de temperatura y obteniendo un confort térmico; pero a todo esto implica un mayor consumo de combustible y más emisiones de gases contaminantes hacia el medio ambiente.

## **1.2 Limitaciones y delimitaciones**

### **1.2.1 Limitaciones**

Varela y Ron (2018) mencionan que, el clima en épocas de invierno empieza el mes de octubre para la región Sierra y diciembre para la región Costa, por lo tanto, será un limitante en cuestión de la

toma de datos, ya que experimentalmente necesitamos medir la radiación solar y la temperatura al interior de la cabina de los vehículos tipo SUV, reduciéndose el tiempo de toma de datos y también nos veremos limitados a realizar la campaña experimental solo en ciertos días soleados. De la misma manera la precisión de los instrumentos de medición con el margen de error que cada uno maneja, reducirá su exactitud, como en el caso del piranómetro adquirido que se encarga de medir la radiación solar, su mayor limitante sería que no guarda información, por lo cual, esta medición se lo realizaría de forma manual tomando los datos en una hoja de Excel aumentando su margen de error.

### **1.2.2 Delimitaciones**

La delimitante que se ha propuesto con respecto a la selección del vehículo tomado en cuenta en el apartado anterior, es poder realizar las pruebas experimentales solo a vehículos de tipo SUV por el mismo hecho de que en el Ecuador existe una cantidad de 58751 vehículos vendidos hasta el mes de noviembre del 2022. Para la selección de los colores de los vehículos, estaría entre colores oscuros como el negro y colores claro como el blanco, con el fin de poder evaluar el efecto de la radiación solar que es incidente en este tipo de superficies donde involucra la emisividad, absorptividad y reflectividad de los materiales. Otra delimitante es la selección de las ciudades donde se realizarán las distintas mediciones, en este caso se ha tomado en cuenta la ciudad de Riobamba y la ciudad de Santo Domingo representando tanto la región Sierra y la región Costa respectivamente, donde se ha seleccionado un mínimo de dos a cuatro vehículos repartidos entre estas dos ciudades con una campaña de experimentación enfocada en tomar las mediciones según sea: la influencia de la orientación del vehículo, color del vehículo, apertura de sus ventanas y uso del A/C.

### **1.3 Problema General de investigación**

¿Cómo afecta la influencia de la radiación solar sobre el calentamiento de vehículos tipo SUV en la región Sierra y Costa del Ecuador?

### **1.4 Problema Específico de Investigación**

¿Cuál sería el inicio para realizar el trabajo de investigación sobre la influencia de la radiación solar en la cabina de los vehículos?

¿Qué tipos de medidas experimentales se realizará para el estudio de las cargas térmicas en los vehículos y que regiones se tomaran en cuenta?

¿Cuáles son los escenarios que se van a plantear para evaluar la influencia de la radiación solar?

¿Cómo se puede validar la campaña experimental considerando el sistema de aire acondicionado y los factores que influyen en el calentamiento del vehículo?

¿A partir de los datos obtenidos que se espera obtener?

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 *Objetivo general***

Estudiar la influencia de la radiación solar en el calentamiento del aire interior en vehículos tipo SUV, a través de mediciones experimentales de radiación solar y temperatura con la finalidad de analizar el comportamiento térmico del vehículo en las ciudades de Santo Domingo y Riobamba que representan tanto la Costa y Sierra ecuatoriana.

### **1.5.2 *Objetivos específicos***

- Hacer una revisión bibliográfica sobre la radiación solar, cargas térmicas, confort térmico en el interior del habitáculo y modelos térmicos de cabinas de vehículos.
- Realizar medidas experimentales de temperatura exterior, interior y radiación solar cuando el vehículo se encuentra aparcado a la intemperie en las ciudades de Santo Domingo y Riobamba de la región Costa y Sierra del Ecuador, respectivamente.
- Evaluar de manera experimental la influencia de la orientación del vehículo, color del vehículo, apertura de ventanas, uso del A/C sobre el calentamiento de vehículos tipo SUV.
- Determinar la demanda térmica del sistema de aire acondicionado considerando los factores que influyen en el calentamiento del vehículo.
- Comparar el comportamiento térmico de los vehículos y la influencia de los factores estudiados en las ciudades mencionadas que representan la región Costa y Sierra del Ecuador.

## **1.6 Justificación**

### **1.6.1 *Justificación teórica***

Actualmente existen diversas investigaciones sobre el efecto que causa la radiación solar y el consumo extra de combustible que se da para contrarrestar el calor al interior de la cabina de cualquier vehículo por medio del uso del sistema de climatización, por lo tanto, se ha tomado en cuenta este tipo de investigación ya que en el Ecuador siendo uno de los países con una mayor influencia de radiación solar no existe sustentación alguna en base a experimentaciones.

Como bien se ha mencionado el efecto que causa la radiación incidente en los vehículos es incrementar la demanda energética del aire acondicionado, consumiendo energía directamente del motor y generando un mayor agotamiento del combustible; por ende, mayores emisiones contaminantes hacia el medio ambiente, por tal motivo se realizara un estudio minucioso del comportamiento térmico de los vehículos tipo SUV, escogidos por el gran número de ventas que existe en el Ecuador. Donde también se tendrá en cuenta otras causas que afecta esta demanda excesiva de energía del A/C como el color y la orientación en la que se encuentre orientado el vehículo.

Estas causas mencionadas que afectan el calentamiento de la cabina de los vehículos se dan, primero por los diferentes tipos de radiación existentes como: radiación directa, radiación difusa y radiación reflejada, que a diferencia de otros países en el Ecuador es afectado de una forma casi perpendicular con mayor concentración de radiación. La orientación del vehículo también juega un papel muy importante ya que de ello dependerá la dirección en el que se encuentre sometido por los rayos solares, si el vehículo se encuentra en dirección Este, que es por donde sale el sol en las mañanas hasta el mediodía y se oculta por el Oeste, afectará súbitamente el área frontal como el parabrisas y tablero. Y, por último, el color del vehículo siendo uno de los fenómenos principales de absorción de calor, donde entre más opaco sea este color mayor será su capacidad de absorber y emitir la energía al interior de la cabina. Por estas razones es importante realizar este tipo de investigación para poder mitigar las emisiones de CO, NO<sub>x</sub> y material particulado o hollín generado por todos los vehículos que usen de manera excesiva el aire acondicionado.

### **1.6.2 *Justificación metodológica***

La metodología por realizar será de forma experimental, donde se tomarán datos propios con el uso de los instrumentos de medición como: piranómetro, que se encarga de medir la radiación solar, los sensores de temperatura, quienes medirán la temperatura en el interior y exterior del vehículo, los sensores de humedad, con la finalidad de medir la humedad relativa promedio en un punto óptimo dentro de la cabina del vehículo y fuera de él y por ultimo un anemómetro, encargado de medir velocidad y temperatura del aire acondicionado que sale por las rejillas de ventilación.

El propósito de tomar datos ajustados a nuestro tema es poder crear condiciones de trabajo que sean apropiadas para su desarrollo, se creara una base de datos de las mediciones de radiación, donde exista un espacio libre de obstáculos que no reflejen sombra alguna al momento de registrar la radiación incidente en el vehículo. La base de datos del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) del Ecuador, tiene estaciones meteorológicas automáticas que registran datos de radiación solar en tiempo real en las distintas estaciones ubicadas en todo el Ecuador con información muy útil para poder desarrollar el trabajo, por tal motivo, para realizar las pruebas en la ciudad de Riobamba representando la región Sierra del Ecuador, se ha optado por tomar datos de una de las estaciones meteorológica ubicada dentro de la misma universidad ESPOCH (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo) y ubicar los vehículos de prueba cerca de la estación, para llevar una mejor exactitud de los datos de radiación solar y estos al momento de correlacionarlos con los datos de temperatura que se generan al interior del vehículo, no sufran ningún desfase o perdida.

En el caso de la ciudad de Santo Domingo representando la región Costa del Ecuador, se usara nuestra propia base de datos, ya que, existe una variación de datos medidos por la INAMHI con respecto a su ubicación geográfica y por eso se elegirá un lugar específico para poder medir la radiación solar con nuestro propio piranómetro en cada uno de los vehículos de tipo SUV seleccionados para esta región y los distintos escenarios ya planteados como: orientación del vehículo, color del vehículo, uso del aire acondicionado, ventanas cerradas y semi abiertas.

### **1.6.3 *Justificación práctica***

Las mediciones por realizarse serán tomadas de vehículos tipo SUV de colores oscuros como el negro y colores claro como el blanco en las ciudades de Riobamba y Santo Domingo

correspondientes a las regiones Sierra y Costa respectivamente, como bien se menciona en el apartado anterior siendo una metodología experimental, el uso de los equipos a usar serán: sensores de temperatura, sensores de humedad, piranómetro, anemómetro y Arduino para registro y almacenamiento de datos. Para lo cual, se hará uso de cuatro vehículos, donde se va a dividir dos vehículos de tipo SUV para la región Costa y dos vehículos para la región Sierra. La selección de este tipo de vehículo y el estudio a realizarse por efecto de la radiación solar se verá beneficiado a todas las industrias que lo comercializan aumentando el número de ventas, puesto que, los resultados de estas pruebas serán publicados en una base de datos donde cualquier persona interesada en este tipo de investigación podrá leer y entender las ventajas y desventajas de adquirir un vehículo tipo SUV, con mayores prestaciones en confort se refiere y selección de su color.

En su mayoría la selección del tipo y color de vehículo dependerá básicamente de las prestaciones que este provee, pero en la actualidad el cliente no ve más allá de las consecuencias a futuro que trae un vehículo en colores oscuros y sin ningún tipo de sistema de climatización. La selección de un vehículo tipo SUV, con un eficiente sistema de climatización donde enfríe por completo toda la cabina del vehículo y que su pintura sea de una tonalidad clara, ayudara que este se conserve en el transcurso de los años y mejore el confort térmico, ya que, es un factor clave para que el conductor y los pasajeros se sientan cómodos, además, la temperatura de la cabina del vehículo es primordial para que el conductor tenga un buen enfoque en la carretera al momento de conducir. STANDARD ASHRAE (2010) define que, las condiciones del confort térmico en un rango de temperatura entre 15°C a 27°C, con humedades relativas que varían de 0% a 100%, dependiendo de los niveles de los otros factores que contribuyen al confort térmico, el rango recomendado de humedad relativa interior en edificios con aire acondicionado es generalmente del 30-60%, la relación de humedad máxima de 0.012 gramos de agua por gramo de aire seco. Además, ASRAHE muestra las tasas metabólicas que están asociadas a la actividad de las personas con un rango entre 1.0 y 1.3 met y con un uso de vestimenta con niveles de aislamiento entre 0.5 en verano y 1.0 clo en invierno.

El uso excesivo del aire acondicionada se verá afectado al medio ambiente, por lo que se tendrá que encontrar una forma de reducir el funcionamiento de este sistema, como se lo menciona a continuación; mejorando la eficiencia de los componentes del sistema de climatización en diseño y dimensionamiento como los intercambiadores de calor y compresor, uso de parasoles reflectantes en el interior de la cabina cuando el vehículo se encuentra estacionando a la intemperie, estacionar los vehículos en parqueaderos con sombras, llevar una conducción adecuada en revoluciones bajas y usar las ventanas medianamente abiertas para que exista

ventilación forzada de ser necesario. Cuando el sistema de aire acondicionado empieza a funcionar, la energía requerida proviene de solo una pequeña fracción de la energía suministrada por el motor, por lo que, al prender el aire acondicionado, el motor tiene que hacer esfuerzos adicionales para satisfacer la demanda de energía en el sistema, provocando un aumento en el consumo de combustible y aumentando las emisiones de gases contaminantes al medio ambiente. Lambert y Jones (2006: p.2) concluyen que el compresor mecánico del sistema de aire acondicionado podría aumentar el consumo de combustible del vehículo en un 12% y 17% para vehículos subcompactos a medianos.

## **1.7 Hipótesis**

### **1.7.1 *Hipótesis de investigación***

En el Ecuador existe una gran influencia de la radiación solar en el calentamiento de la cabina de un vehículo SUV. Esta influencia se puede estudiar de manera experimental, con el uso de instrumentos de medición de radiación solar y temperatura para analizar el comportamiento térmico del aire interior de la cabina.

### **1.7.2 *Hipótesis nula***

En el Ecuador no existe una gran influencia de la radiación solar en el calentamiento de la cabina de un vehículo SUV. Esta influencia no se puede estudiar de manera experimental, con el uso de instrumentos de medición de radiación solar y temperatura para analizar el comportamiento térmico del aire interior de la cabina.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Referencias teóricas

##### 2.1.1 *Energía solar*

La energía solar no es más que la energía proveniente del Sol, esta es la principal fuente de energía para todos los procesos que se suscitan en el planeta Tierra, encontrándose localizado a una distancia de 150 millones de kilómetros hasta la Tierra y formado por gases a muy alta temperatura, siendo específicos esta energía solar equivalente, llega a la Tierra alrededor de  $1,7 \times 10^{14}$  kW (Álvarez et al., 2018: p.32).

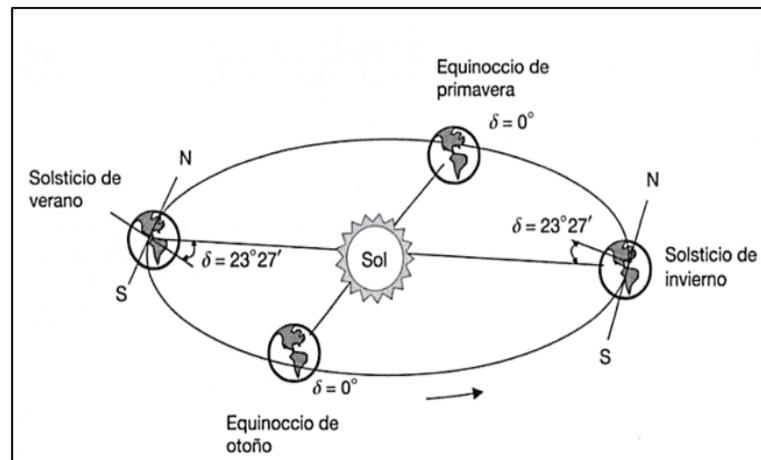
La energía solar es una energía renovable, obtenida a partir de la radiación electromagnética originario del sol. Esta radiación solar que llega a la tierra ha sido aprovechada por las personas por muchos años atrás, hoy en día este calor y luz proveniente del sol se puede aprovechar de distintas formas y también puede ser muy perjudicial como lo es en la descoloración de la pintura y aumento de calor en el interior de la cabina de los vehículos.

##### 2.1.1.1 *Incidencia de los rayos solares sobre la Tierra*

La energía generada en el interior del sol se transmite a la fotosfera mediante mecanismos de convección pasando por varias zonas como la inversión, cromósfera y la corona siendo estas últimas transparentes, lo cual hace que no se comporte como un cuerpo negro, ya que, para asemejarse a un cuerpo negro ideal, deberá tener una temperatura aproximada de 5800 K para que irradie una energía equivalente a la radiada por el sol. El sol constantemente emite una radiación solar a nivel de la capa atmosférica terrestre de  $1353 \text{ W/m}^2$  aproximados, valor determinado a partir de datos experimentales obtenidos de satélites artificiales. Existe varios movimientos de la tierra con respectó al sol como se muestra en la **Ilustración 1-2** descompuestos en tres movimientos elementales: traslación, rotación y nutación (Jutglar, 2004, p.10).

- ✓ Traslación: La Tierra se traslada alrededor del sol siguiendo una trayectoria elíptica de pequeña excentricidad, este plano de traslación se conoce como plano de la eclíptica.

- ✓ Rotación: La Tierra gira sobre su mismo eje que pasa por los polos y forma un ángulo de  $23,27^\circ$  con la normal al plano de la eclíptica. Debido a esta inclinación los rayos solares sobre la superficie terrestre varía a lo largo del año.
- ✓ Nutación: A lo largo del año la posición del eje de giro oscila ligeramente alrededor de su posición media.



**Ilustración 1-2:** Variación del ángulo de declinación a lo largo del año

Fuente: (Jutglar, 2004)

Se sabe que la radiación solar tiene una relación con la temperatura donde a mayor cantidad de radiación solar reciba un área, mayor será su temperatura y viceversa. Esta cantidad de radiación solar recibida dependerá de la posición del sol con respecto a esa área que a su vez varía dependiendo de: la latitud, hora del día y época del año (estaciones), siendo estas variables las que determinen en gran medida la radiación y temperatura del planeta Tierra.

- ✓ Latitud: El efecto de la forma esférica de la tierra da lugar a que la radiación solar incida en la superficie con un ángulo diferente dependiendo su latitud, por ejemplo; en el Ecuador la radiación es más directa e incidente de forma perpendicular respecto al sol, cubriendo una menor área con radiación más concentrada, mientras que, se aumenta la latitud ya sea hacia el polo Norte o polo sur, la radiación se distribuye a una mayor área por la incidencia del sol en un menor ángulo con radiación menos concentrada y más distribuida.
- ✓ Hora del día: Como ya se mencionó la tierra, tiene una rotación en su propio eje, por lo tanto, causa variaciones en la posición del sol con respecto a una cierta área, por ejemplo; la radiación solar que llega a la superficie de la tierra a las ocho de la mañana lo hace con un ángulo menor a  $90^\circ$ , teniendo una menor cantidad de radiación por área distribuida de la misma manera se comportara pasando las doce del mediodía, disminuyendo su ángulo de incidencia y aumentando su área. Por último, la radiación solar con mayor

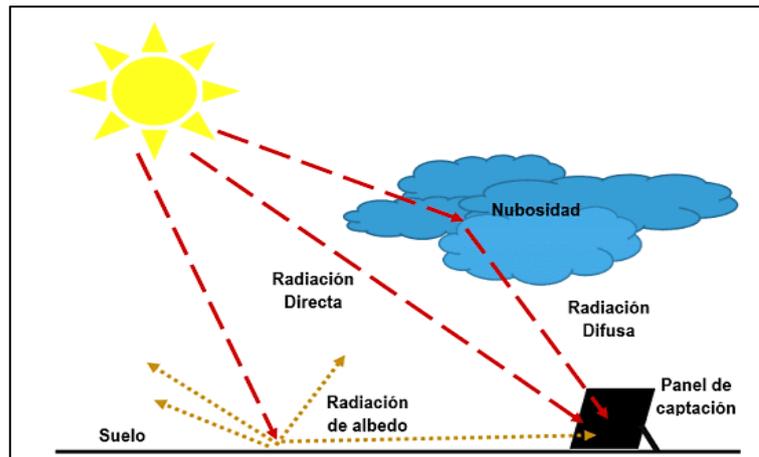
concentración está al medio día, ya que el ángulo que forma con respecto al sol es de  $90^\circ$  y el área afectada viene siendo menor.

- ✓ Época del año: La inclinación de la tierra respecto al plano orbital de la elíptica entorno al sol, hace que se produzca variaciones en la radiación solar recibida por un área dependiendo de la época del año. Donde existen cuatro épocas del año, así como se muestra en la **Ilustración 1-2**: el solsticio de verano que inicia el 21 de junio, el solsticio de invierno que inicia el 21 de diciembre, equinoccio de primavera que inicia el 21 de marzo y el equinoccio de otoño que inicia el 23 de septiembre. De las épocas del año mencionadas, solo en el equinoccio de primavera y otoño la radiación solar afecta de manera perpendicular al Ecuador teniendo una menor área distribuida y por ende mayor concentración de radiación.

#### 2.1.1.2 Tipos de radiación solar

La luz es una de las formas que adopta la energía para trasladarse de un lugar a otro según Álvarez et al. (2018: p.32). Los rayos solares se esparcen a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas. Este fenómeno físico más conocido como radiación solar, es el responsable de que el planeta Tierra reciba un aporte energético constante de aproximadamente  $1367 \text{ W/m}^2$  donde, este valor recibe el nombre de constante solar. El sol quien expone energía en forma de radiación de onda corta, después de pasar por la atmósfera, sufre procesos de debilitamiento, la radiación solar alcanza la superficie terrestre, oceánica y continental reflejándola o absorbiéndola. La radiación solar como se indica en la **Ilustración 2-2** se puede clasificar en:

- ✓ Radiación directa: Procedente del sol que incide sobre la superficie sin cambiar de dirección.
- ✓ Radiación difusa: Es aquella parte de radiación solar que, por colisión entre moléculas y partículas comprendidas en el aire, se ha de dispersar al atravesar la atmósfera.
- ✓ Albedo: Es una radiación que llega a la superficie considerada, después de haberse reflejado en las superficies del entorno.
- ✓ Radiación global: Esta radiación es la suma de la radiación difusa y la radiación directa.
- ✓ Radiación total: Es la suma de la radiación directa, la difusa y el albedo.



**Ilustración 2-2:** Tipos de radiación solar  
**Fuente:** (Redrován, 2018)

### 2.1.1.3 Instrumentos de medición de energía solar incidente sobre el suelo

Existen diversos instrumentos de medición de radiación solar, a continuación, se mencionará los más usados en la actualidad, donde se explicará tanto su funcionamiento como aplicación.

#### ✓ Piranómetro (Solarímetro)

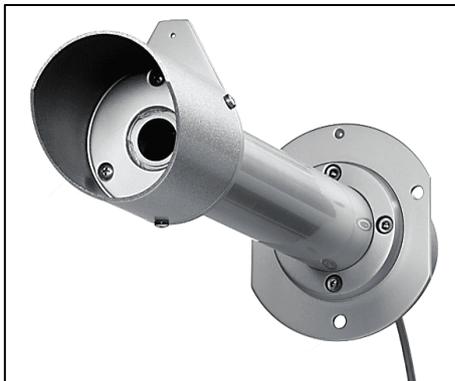
Es un medidor de radiación total, donde Juglar (2004, p.23) menciona que, cuyos componentes son una lamara metálica con una superficie reflectante y una de superficie absorbente. La lamina absorbente siempre estará más caliente que la reflectante y aceptando que, la diferencia de temperaturas es proporcional a la radiación recibida, midiendo este salto térmico se sabrá la radiación. Esta diferencia de temperaturas será medida por un termopar. Este piranómetro consta de un sensor análogo y tiene instalado un revestimiento semiesférico acristalado de cuarzo, que debe ser transparente para cualquier longitud de onda, tal como se muestra en la **Ilustración 3-2**. Si se instala sobre superficies consideradas su lectura proporcionara la radiación total incidente, si se usa en superficie horizontal y se elimina las reflexiones del entorno medirá la radiación global, si se cubre con un disco opaco eliminara la radiación directa midiendo solo la radiación difusa. Este tipo de piranómetro que se basa en la medición por diferencia de temperatura y termopar, se lo conoce como piranómetro tipo Eply o Moll-Goroczynski. Actualmente en el mercado existen otros modelos, unos con señal proporcionada por una célula fotoeléctrica expuesta a la luz y otros en la dilatación diferencial de una lámina bimetálica.



**Ilustración 3-2:** Piranómetro  
Fuente: (Darrea, 2022)

✓ Pirheliómetro (Actinómetro)

Es un instrumento que solo mide radiación solar directa Jutglar (2004, p.24) explica que, en esencia es un piranómetro situado en fondo de un tubo tal como se indica en la **Ilustración 4-2**. Dicho tubo esta recubierto en el interior con una pintura absorbente con el fin de reducir al mínimo cualquier reflexión. Este tipo de instrumento solo toma medidas correctas cuando está enfocado directamente al sol, por tal motivo consta de un sistema de seguimiento.



**Ilustración 4-2:** Pirheliómetro  
Fuente: (Darrea 2022)

✓ Heliógrafo

Es un instrumento que solo mide la insolación, Jutglar (2004, p25) nos dice que, es el número de horas del sol brillante producido a lo largo de todo el día. Existen varios modelos, pero el más usado es el de Campbell-Stockes o de bola tal como se muestra en la **Ilustración 5-2** consta de una bola cristalina transparente interpuesta entre el sol y una banda de papel semicircular sensible a la luz. Dicha bola concentra la luz sobre la banda de papel dejando una marca con una intensidad proporcional a la de la radiación solar. Esta marca se mueve sobre el papel cuando el sol realiza

su recorrido de Este a Oeste, solo cuando el sol está escondido tras las nubes no dejara marca alguna detectando una señal débil de radiación. Sobre estas tiras se marca también las horas y midiendo la longitud de la huella dejada por el sol se calcula la insolación.



**Ilustración 5-2:** Heliógrafo de Campbell-Stockes

**Fuente:** (Raig, 2022)

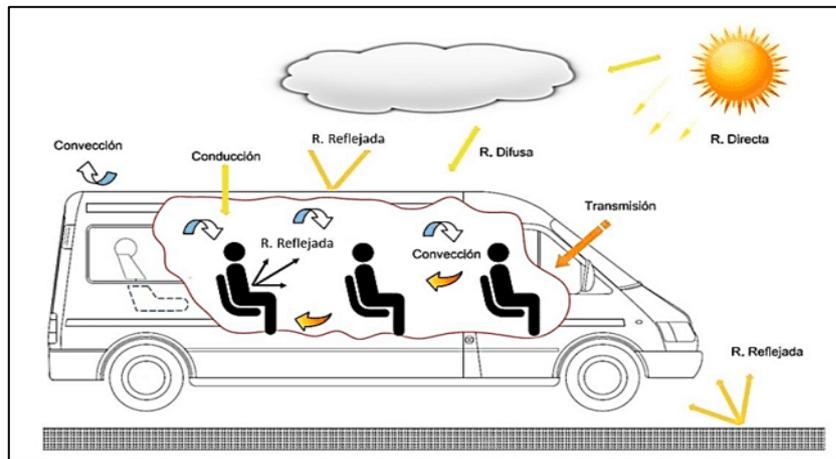
### ***2.1.2 Procesos de transferencia de calor y su influencia en el flujo de energía de la cabina del vehículo***

Primero se debe entender que, la transferencia de calor es una ciencia que estudia las razones de como el calor, siendo esta una energía se puede transferir de un sistema a otro obteniendo resultados de diferencia en temperaturas. Cengel y Chajar (2007a, p2.) comenta que, la transferencia de energía ocurre de un medio caliente al frío o de altas temperaturas a bajas temperaturas y esa transferencia se detiene cuando ambos alcanzan la misma temperatura. La termodinámica nos habla acerca de la cantidad de transferencia de calor que es transferida dentro de un proceso para llegar al estado de equilibrio, pero no indica cuanto tiempo deberá transcurrir para que esa transferencia de calor llegue al equilibrio. Por eso, la transferencia de calor tiene un interés más práctico ya que se realiza cálculos con respecto al tiempo, por lo tanto, los tiempos de enfriamiento o calentamiento, así como la variación de la temperatura, son el tema principal de la transferencia de calor.

En este punto, el requisito primordial para que ocurra transferencia de calor es la presencia de una diferencia de temperatura, ya que no puede existir transferencia neta de calor para dos entornos a la misma temperatura. Esta diferencia de temperatura vendría siendo la fuerza impulsora para que se dé la transferencia de calor, así como la diferencia de tensión, que es la fuerza impulsora para el flujo de corriente eléctrica y la diferencia de presión para que exista flujo de fluidos. También, la velocidad de la transferencia de calor dependerá del gradiente de temperatura, donde a mayor gradiente de temperatura mayor es la razón de la transferencia de calor y por último el calor puede

ser transferido en tres diferentes modos: conducción, convección y radiación (Cengel y Chajar, 2007a: p.3).

Se sabe que, en un día soleado con rangos de temperatura de 25 °C a 30 °C y radiación incidente, tanto la superficie como los elementos internos de un espacio, van a influir para que se genere transferencia de calor. Produciendo numerosos fenómenos de intercambio de energía o calor, que definen el comportamiento térmico. Las causas externas como la temperatura ambiente y la radiación solar sea directa, difusa o albedo, trataran de ingresar al interior de la zona a través de procesos de transferencias de calor como: conducción, convección y radiación. De igual forma dentro de la zona al existir cargas de ocupantes o equipos se dará procesos de transferencia de calor ya sea por convección o radiación albedo, como se muestra en la **Ilustración 6-2**.



**Ilustración 6-2:** Flujo de energía de la cabina de un vehículo  
Fuente: (Vásconez, 2019)

### 2.1.2.1 Conducción a través de las paredes

La conducción, es rapidez de propagación de calor que se da a través de las superficies sólidas, depende de la configuración geométrica, de su espesor y de su material. Por lo tanto, la razón de la conducción de calor a través de una pared plana es proporcional a la diferencia de temperatura y el área, pero es inversamente proporcional al espesor, así como se indica en la **Ilustración 7-2** (Cengel y Chajar, 2007a: p.18).

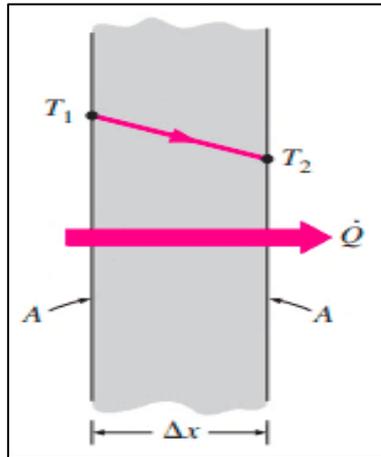
$$\dot{Q}_{cond} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad [W] \quad (1)$$

Donde:

$kA$  = es la conductividad térmica del material por el área

$\Delta x$  = es el espesor

$\Delta T$  = la variación de temperaturas



**Ilustración 7-2:** Conducción de calor a través de una pared plana

Fuente: (Cengel y Chajar, 2007a)

La investigación de (Tseng, Yan, Leong 2014) referente a la: “Acumulación térmica en un modelo de cabina de automóvil general”, manifiesta que, los materiales del techo tienen un gran efecto sobre el calentamiento en el interior de la cabina de los automóviles. Donde los techos de este modelo están hechos de una placa de acero inoxidable con una difusividad térmica mayor que al techo hecho de madera. Esta propiedad como ya se la explicara en el apartado siguiente, es la capacidad de un material para conducir energía térmica en relación con su capacidad de almacenamiento de energía térmica.

Concluyendo que, el techo de acero transfiere más calor al interior de la cabina, mientras que el techo de madera tiende a almacenar más calor.

De la misma forma la conductividad térmica del acero inoxidable es mayor que la conductividad térmica de la madera. Los espesores de los techos de acero y madera son de 1,2 mm y 6 mm, respectivamente, por lo tanto, la resistencia térmica del techo de madera será al menos 200 veces mayor que la de un techo de acero. Al cabo de 1,5 horas de experimentación del calentamiento radiactivo de sus modelos de cabina, la medición de las temperaturas en el techo de acero y madera fueron de 38,4 °C y 42,1 °C, respectivamente. Como resultado, el techo transfiere energía térmica a la cabina a través de la conducción de calor. Por lo tanto, resulta que el techo de madera mantiene el interior de la cabina unos 5 °C más frío que la del techo de acero inoxidable y esto se debe a sus propiedades de almacenamiento de calor o capacidad calorífica.

### 2.1.2.2 Conductividad y difusividad térmica

La capacidad de un material para conducir calor se la conoce como conductividad térmica, por ejemplo;  $k= 0.607 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$  para el agua y  $k=80.2 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$  para el hierro, ambos a temperatura ambiente, nos indica que el hierro conduce el calor cien veces más rápido que el agua. Por lo tanto, la definición de conductividad térmica es: “la razón de transferencia de calor a través de un espesor unitario del material por unidad de área por unidad de diferencia de temperatura” (Cengel y Chajar, 2007a: p.20). Este valor nos indica que, cuando es alto, es buen conductor de calor y cuando es bajo, el material es mal conductor de calor o es un aislante. La **Tabla 1-2** se puede apreciar las conductividades térmicas de algunos materiales a temperatura ambiente.

**Tabla 1-2:** Conductividad térmicas de algunos materiales a temperatura ambiente.

<b>Material</b>	<b>k; W/m °C</b>
<b>Diamante</b>	2 300
<b>Plata</b>	429
<b>Cobre</b>	401
<b>Oro</b>	317
<b>Aluminio</b>	237
<b>Hierro</b>	80,2
<b>Mercurio (l)</b>	8,54
<b>Vidrio</b>	0,78
<b>Ladrillo</b>	0,72
<b>Agua (l)</b>	0,607
<b>Piel humana</b>	0,37
<b>Madera (roble)</b>	0,17
<b>Helio (g)</b>	0,152
<b>Caucho suave</b>	0,13
<b>Fibra de vidrio</b>	0,043
<b>Aire (g)</b>	0,026
<b>Uretano, espuma rígida</b>	0,026

Fuente: (Cengel y Chajar, 2007a)

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2022

Otra propiedad de los materiales dentro del análisis de conducción de calor es la difusividad térmica, donde representa que tan rápido se propaga el calor por un material. Nótese que la conductividad térmica representa lo bien que un material conduce calor y la capacidad calorífica representa cuanta energía almacena un material. La difusividad térmica de un material es la razón existente entre el calor transferido a través del material y el calor almacenado por unidad de

volumen (Cengel y Chajar, 2007a: p.23). Entre mayor sea la difusividad térmica, mayor será la propagación de calor. En cambio, un valor menor de la difusividad térmica significa que, el calor es absorbido en su mayor parte por el material y la otra cantidad será conducida a través de él, así como se muestra en la **Tabla 2-2**.

**Tabla 2-2:** Difusividad térmicas de algunos materiales a temperatura ambiente.

<b>Material</b>	<b><math>\alpha, \frac{m^2}{s^*}</math></b>
<b>Plata</b>	$149 \times 10^{-6}$
<b>Oro</b>	$127 \times 10^{-6}$
<b>Cobre</b>	$113 \times 10^{-6}$
<b>Aluminio</b>	$97,5 \times 10^{-6}$
<b>Hierro</b>	$22,8 \times 10^{-6}$
<b>Mercurio (l)</b>	$4,7 \times 10^{-6}$
<b>Mármol</b>	$1,2 \times 10^{-6}$
<b>Hielo</b>	$1,2 \times 10^{-6}$
<b>Concreto</b>	$0,75 \times 10^{-6}$
<b>Ladrillo</b>	$0,52 \times 10^{-6}$
<b>Suelo macizo (seco)</b>	$0,52 \times 10^{-6}$
<b>Vidrio</b>	$0,34 \times 10^{-6}$
<b>Lana de vidrio</b>	$0,23 \times 10^{-6}$
<b>Agua (l)</b>	$0,14 \times 10^{-6}$
<b>Carne de res</b>	$0,14 \times 10^{-6}$
<b>Madera (roble)</b>	$0,13 \times 10^{-6}$

**Fuente:** (Cengel y Chajar, 2007a)

**Realizado por:** Chica J., Vinueza M. 2022

### 2.1.2.3 Convección entre superficies y el aire

La convección, es una transferencia de calor que se da entre superficies sólidas y líquidas o gas y comprende la combinación de la conducción y el movimiento de fluidos. Donde, entre más rápido sea el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. Por ese motivo existe convección forzada, si el fluido es forzado a fluir sobre la superficie mediante un ventilador o el viento y convección natural, si el movimiento del fluido se da por fuerzas de empuje que están inducidas por diferencias de densidad debido a la variación de temperaturas en ese fluido, así como se muestra en la **Ilustración 8-2** (Cengel y Chajar, 2007a: p.25).

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s (T_s - T_\infty) \quad [W] \quad (2)$$

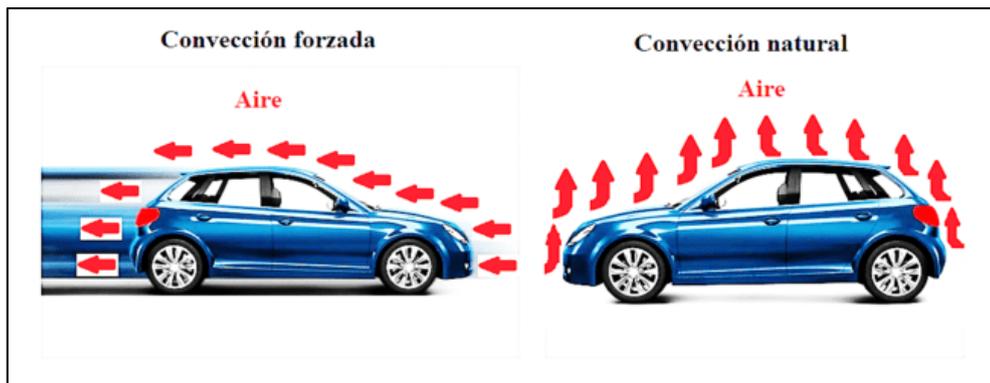
Donde:

$h$  = es el coeficiente de transferencia de calor por convección

$A_s$  = es el área superficial

$T_s$  = es la temperatura de la superficie

$T_\infty$  = es la temperatura del fluido



**Ilustración 8-2:** Enfriamiento por convección forzada y convección natural

Fuente: (Cengel y Chajar, 2007a)

El coeficiente de transferencia de calor por convección  $h$ , no es una propiedad de los fluidos ya que este, es un parámetro determinado de forma experimental y su valor depende de la configuración geométrica de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido, las propiedades y su velocidad. En la **Tabla 3-2** se muestran valores típicos de  $h$  (Cengel y Chajar, 2007a: p.26).

**Tabla 3-2:** Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección.

Tipo de convección	$h$ , $W/m^2 \text{ } ^\circ C$
Convección libre de gases	2-5
Convección libre de líquidos	10 – 1 000
Convección forzada de gases	25 – 250
Convección forzada de líquidos	50 – 20 000
Ebullición y condensación	2 500 – 100 000

Fuente: (Cengel y Chajar, 2007a)

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2022

Vásconez (2019) y su investigación referente al: “Desarrollo de un modelo para el cálculo del consumo de climatización en vehículos de pasajeros urbanos” expone que, en el desarrollo de su modelo térmico de la cabina de un vehículo realizado en el programa de TRNSYS, le permitirá

modelar el comportamiento térmico en condiciones transitorias considerando una o múltiples zonas térmicas. Capaz de predecir temperatura y humedad relativa del aire en el interior de la cabina, además, calcular la demanda de refrigeración para mantener buena condición de confort térmico. En su modelo, el aire en cada zona intercambia calor por convección tanto en paredes y ventanas, por infiltración y ganancias internas como personas.

También nos dice que, las temperaturas internas de la pared y de las ventanas se calculan en cada paso del tiempo usando balances de calor que intervienen tanto la convección, conducción y radiación. Este modelo toma en cuenta la variación de la temperatura de las superficies y el ambiente, para calcular los coeficientes de transferencia de calor convectivos de las superficies tanto externas como internas. Para el cálculo de los coeficientes de convección exteriores, la autora considero, convección natural cuando el vehículo se encuentra estacionado y convección forzada cuando el vehículo se encuentra en movimiento. Y para el cálculo del flujo de aire intercambiado entre estas dos zonas dentro del vehículo, nos dice que, al no existir una barrera física el aire tiende a circular libremente. Por lo tanto, este flujo de aire depende de la temperatura, la humedad relativa y la densidad del aire interior, dando como resultado transferencia de calor por convección entre pasajeros y conductor, paredes y ventanas.

#### 2.1.2.4 Radiación de longitud de onda corta y larga

La radiación, es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas, no requiere de la presencia de un medio, siendo la más rápida transferencia de calor a comparación de la conducción y convección. En estudios de transferencia de calor es importante mencionar la radiación térmica, ya que es la forma de radiación emitida por los cuerpos debido a su temperatura mayor al cero absoluto. Teóricamente existe la radiación del cuerpo negro, pero la real es menor a esta, a la misma temperatura en donde la emisividad de la superficie tiene valores entre cero y uno, como lo muestra la **Tabla 4-2** (Cengel y Chajar, 2007a: p.27).

$$\dot{Q}_{emitida} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 \quad [W] \quad (3)$$

Donde:

$\varepsilon$  = es la emisividad de la superficie

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzman

$A_s$  = área de la superficie

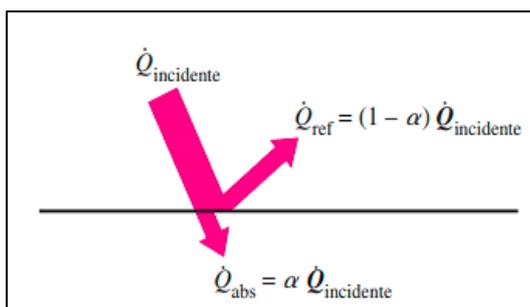
**Tabla 4-2:** Emisividades de algunos materiales a 300 K.

Material	Emisividad
Hoja de aluminio	0,07
Aluminio forzado	0,82
Cobre pulido	0,03
Oro pulido	0,03
Plata pulida	0,02
Acero inoxidable pulido	0,17
Pintura negra	0,98
Pintura blanca	0,90
Papel blanco	0,92 – 0,97
Pavimento de asfalto	0,85 – 0,93
Ladrillo rojo	0,93 – 0,96
Piel humana	0,95
Madera	0,82 – 0,92
Suelo	0,93 – 0,96
Agua	0,96
Vegetación	0,92 – 0,96

Fuente: (Cengel y Chajar, 2007a)

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2022

Otra propiedad importante de la radiación en una superficie es su absorptividad con valores entre cero y uno. Tanto la emisividad como la absorptividad dependen de la temperatura y la longitud de onda de la radiación solar. La razón por la que una superficie absorbe radiación se establece a partir de la carga absorbida donde es igual a la carga incidente por la absorptividad de la superficie. Para superficies opacas la radiación incidente puede ser absorbida o reflejada, como se muestra en la **Ilustración 9-2** (Cengel y Chajar, 2007a: p.28).



**Ilustración 9-2:** Absorción de radiación incidente sobre superficie opaca.

Fuente: (Cengel y Chajar, 2007a)

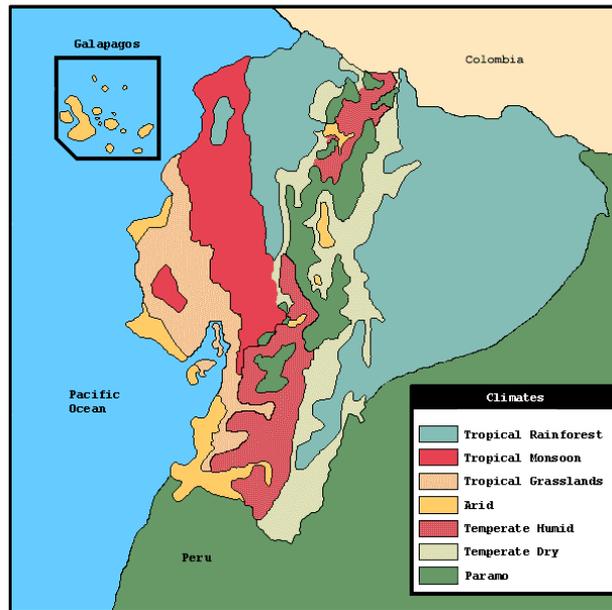
Como bien mencionan Torregrosa-Jaime et al. (2015a), en su modelo térmico, van a existir convección con las superficies circundantes dentro del vehículo, debido a cargas de ocupantes y aparatos eléctricos. Al mismo tiempo la temperatura de las paredes de la cabina esta influenciado por radiación solar incidente y también por radiación de longitud de onda larga entre la carrocería del

vehículo, el cielo y la masa interna del vehículo. Marcos et al. (2014a), indican que, su modelo se basa en ecuaciones teóricas de transferencia de calor, inercia térmica y tratamiento de radiación. Donde aplica fórmulas de transferencia de calor por convección en las ventanas del vehículo a partir de balances térmicos, transferencia de calor por conducción desde el exterior al interior del vehículo por medio del techo y transferencia de calor por radiación solar incidente en el techo del vehículo.

Vásconez (2019) también explica que, en su modelo utiliza el método de balance de calor, considerando todas las ecuaciones de balances de energía a través de ecuaciones de transferencia de calor. En estas ecuaciones intervienen; temperatura ambiente, radiación de longitud de onda corta que serán afectados por la transferencia de calor a todos los elementos a su alrededor, dando como resultado calentamiento en la parte exterior del vehículo tanto en el techo y sus ventanas y a su vez también se dará transferencia de calor por conducción hasta que el calor llegue al interior del vehículo por la pared del techo, flujos de energía por ventilación y por ganancias internas que se dará por convección.

### **2.1.3 Condiciones ambientales del Ecuador**

La temperatura es un factor importante cuando se habla de condiciones ambientales, el clima en el Ecuador está influenciado por los factores atmosféricos debido a la geografía propia de cada región, como también por la cordillera de los Andes que interviene en la humedad, ocasionando un ascenso y enfriamiento del aire originado por la región costa y la amazónica, provocando mucha lluvia en las vertientes de las cordilleras mientras que en algunos valles interandinos provoca la sequía. El Ecuador es un país con diferentes alturas que van desde los 0 hasta los 6.310 metros, por lo tanto, tiene una diversidad climatológica entre sus regiones como se observa en la **Ilustración 10-2.**



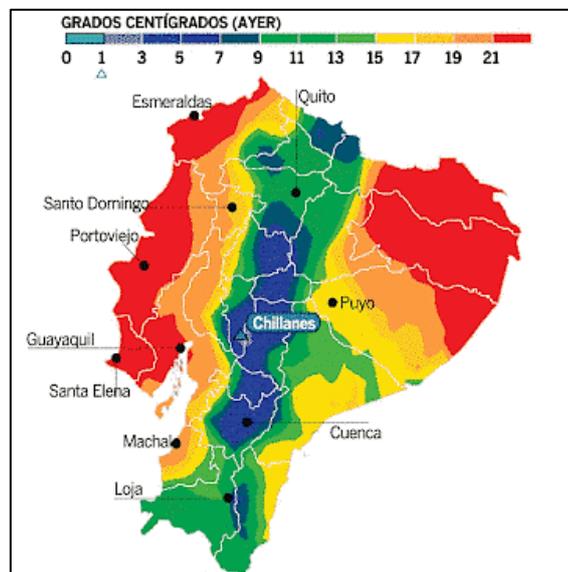
**Ilustración 10-2:** Mapa climático del Ecuador

Fuente: (Halberstadt Jason, s.f)

En la región Costa debido a sus dos corrientes marinas (Niño y Humboldt) la humedad no es uniforme, esta región posee un clima tropical teniendo una temperatura media anual de 22°C y 26°C, también se caracteriza por generarse precipitaciones ocasionadas por las corrientes marinas, por lo que, en los meses de diciembre y mediados de mayo se tiene un periodo de invierno. En la región Sierra se registran climas variados provocado por la Cordillera de los Andes y el sentido latitudinal con respecto a las masas de aire en movimiento, las zonas bajas de esta región tienen temperaturas altas en épocas frescas teniendo una temperatura que no desciende por debajo de los 20°C, en esta región la altitud modifica el clima en donde los lugares desde 1.500 a 2.500 metros de altura tienen una temperatura entre los 15°C y 20°C, en lugares que van desde los 2.500 a 3.500 metros de altura su temperatura se encuentra entre los 15°C y 10°C, en lugares que van desde los 3.500 a 4.650 metros de altura la temperatura está entre 10°C a 5°C y en las zonas con alturas superiores a los 4.650 metros su temperatura es de 0°C. Finalmente en la región Amazónica tiene un ambiente caluroso originado por el ascenso vertical del aire, generado por el Atlántico de Noreste y de Sureste provocando condiciones de humedad durante todo el año, en esta región la temperatura va alrededor de los 20°C, pero en la zona selvática su temperatura media es alrededor de los 24°C en el mes de julio y 25°C en el mes de enero, por lo que se tiene un clima tropical con una humedad elevada. (Vintimilla, 2014, p.13)

### 2.1.3.1 Factores del clima

Los factores climáticos que van a influir serán: la latitud, altitud, fenómenos marinos y elementos como el viento, presiones y temperaturas. El Ecuador al encontrarse ubicado en la zona centro del planeta, las masas de aire van a proceder tanto del hemisferio Norte como del hemisferio sur, en donde el choque de estas masas de aire en la región Sierra va a provocar una estación lluviosa entre los meses de marzo-junio y al moverse hacia el sur provoca una segunda estación lluviosa entre los meses de octubre-diciembre, la latitud en la región Costa provoca una sola estación lluviosa que se presenta en el mes de marzo, mientras que en la región Amazónica existe una enorme masa de aire caliente y húmedo provocando un régimen de lluvia durante todo el año.



**Ilustración 11-2:** Temperaturas promedio mínimas del Ecuador.  
Fuente: (INAMHI, s.f.)

Otro de los factores mencionados es la altitud, que juega un papel importante en la variación del clima en la cordillera de los Andes debido a que la altura sobre el nivel del mar va a ser mayor provocando que la temperatura del aire y la presión atmosférica van a descender mientras que la insolación va a incrementar provocando que la trayectoria de los vientos vaya cambiando, obteniendo temperaturas diferentes a lo largo de la Sierra ecuatoriana como se muestra en la **Ilustración 11-2**. Los fenómenos marinos generan masas de aire húmedas y calientes, la corriente del Niño influye entre los meses de diciembre a mayo asociadas a masas de aire calientes y húmedas provocando estaciones lluviosas con mayor fuerza en el Norte que en el Sur, en el resto del año se recibe a la corriente del Humboldt una corriente fría generando una masa de aire frío y seco dando lugar a una estación seca con mayor influencia en el sur que en el Norte. (Vintimilla, 2014, p.15)

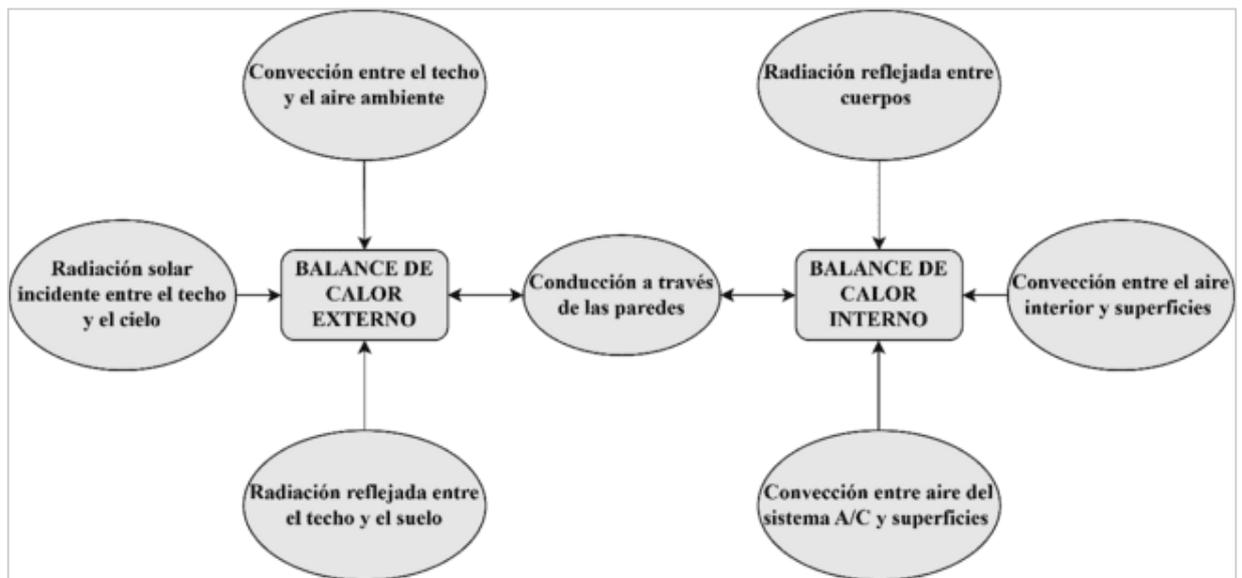
#### **2.1.4 Balance de calor en los vehículos**

El método de balance de calor o energía para el cálculo de las cargas térmicas en el interior de las cabinas de los vehículos es muy usado por varios autores, donde, cada uno de ellos proponen diferentes modelos matemáticos en diferentes escenarios. Torregrosa-Jaime et al. (2015a), presentan un modelo térmico de parámetros agrupados, incluyendo la inercia térmica de las paredes de la cabina y masa interior, usando coeficientes de transferencia de calor general y también dividido en dos zonas térmicas en el interior del vehículo. Este modelo determina temperatura y humedad del aire de la cabina mediante balances de energía y masa en cada zona térmica en base a los siguientes parámetros de cargas térmicas como: carga debido al suministro de aire, carga de los auxiliares eléctricos, carga de ocupantes, transferencia de calor entre aire y las superficies y transferencia de calor por radiación.

Khayyam et al. (2011a), proponen un sistema de gestión de energía coordinado para reducir el consumo de energía del sistema AC y mejorar su eficiencia mediante controladores inteligentes, con el fin de alcanzar la temperatura de confort deseada y la calidad de aire interior. Dicho sistema tendrá en cuenta el cálculo del balance energético de la cabina en base a nueve parámetros de cargas térmicas diferentes: radiación solar directa, radiación solar difusa, radiación reflejada por la carretera, ambiente, motor, escape, ventilación, refrigeración y metabólica.

Conceição et al. (2018), plantean un modelo relacionado con el cálculo de las cargas por radiación solar, un balance de calor nocturno, división del techo y placas compuestas de los paneles laterales. El objetivo es predecir la temperatura del aire en el habitáculo ya sea en condiciones transitorias o estables y también obtener la carga térmica que el sistema AC debe suministrar para mantener una temperatura ideal dentro del habitáculo. El cuerpo principal de las ecuaciones del modelo usa un balance de calor integral donde calcula las siguientes cargas térmicas: cargas de la carrocería, las ventanas, los asientos, el motor, maleteros, renovación de aire, cargas de los pasajeros y cargas del sistema de AC.

Marcos et al. (2014a), ofrecen un modelo térmico simplificado y dinámico para realizar todo tipo de pruebas en el sistema HVAC de un vehículo y así poder estudiar los efectos sobre el rendimiento y el consumo de combustible. Este modelo se basa en ecuaciones teóricas de transferencia de calor, inercia térmica y tratamiento de radiación calculándose mediante balances de calor, según las cargas térmicas ocupadas como: ventanas, techo, base, humano, radiación onda larga, calor convectivo externo y calor conductivo en ventanas y techo.



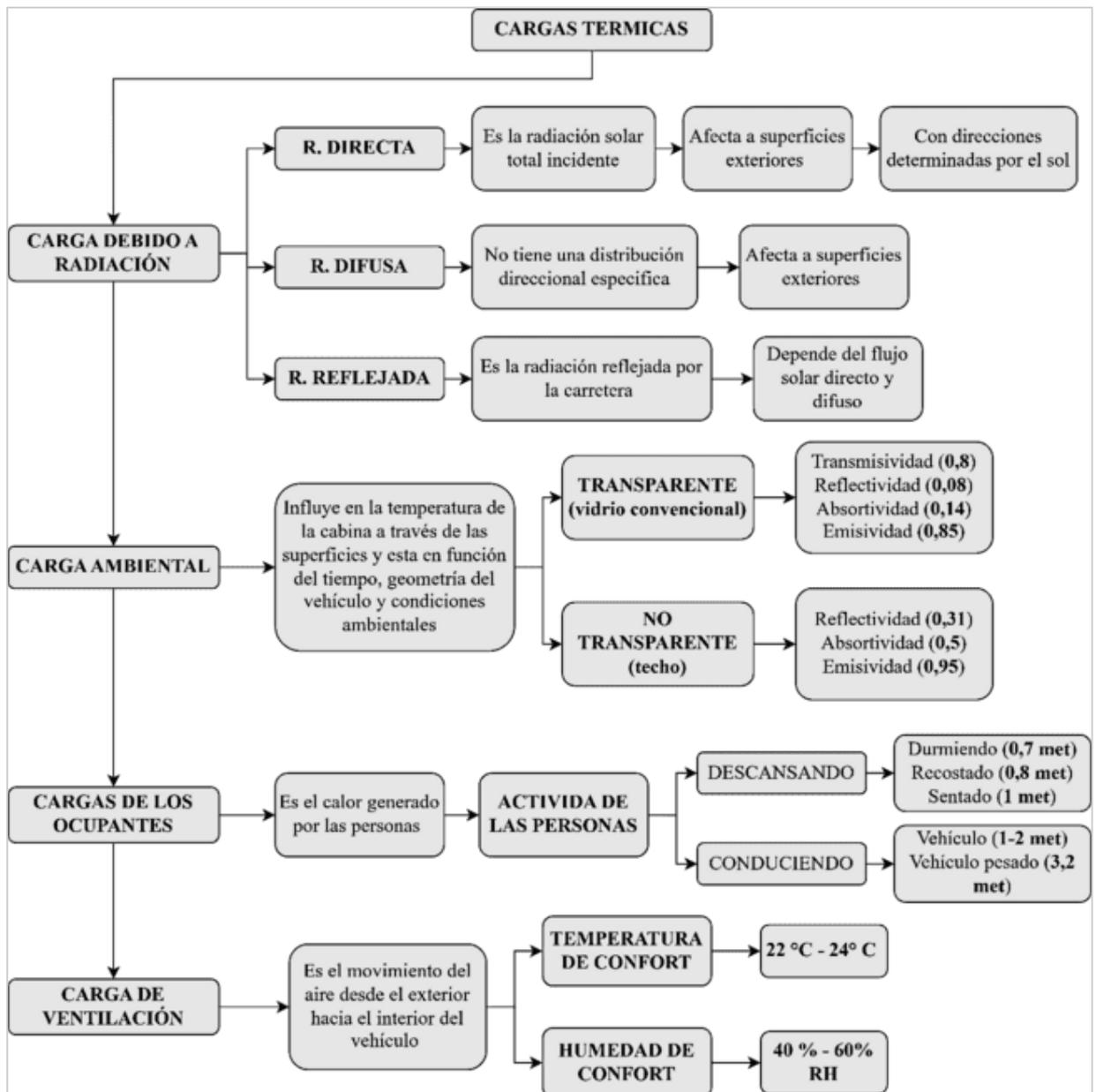
**Ilustración 12-2:** Balance de calor en los vehículos.

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2022

En la **Ilustración 12-2**, se muestra como el balance de calor está presente en el cálculo de ecuaciones de transferencia de calor, para determinar las cargas térmicas que se dan por radiación, conducción y convección entre superficies y el aire a su alrededor. Como bien se mencionó existe balances de calor en el exterior como el interior del vehículo, por lo tanto, para poder resolver estas ecuaciones es necesario de todas las cargas térmicas que se vean afectado al vehículo para determinar la temperatura del aire en la cabina y también para obtener la carga térmica que debe ser suministrada por el sistema del aire acondicionado y así mantener una temperatura ideal en el interior del vehículo.

#### 2.1.4.1 Cargas térmicas del vehículo

Son varias las cargas térmicas que afecta al vehículo, como las cargas externas que representan tanto la temperatura ambiente como la misma radiación y las cargas internas, como las cargas de las personas y carga debido a ventilación. A continuación, se mostrará las diferentes cargas térmicas y como estas afectan tanto el interior como el exterior del vehículo según la **Ilustración 13-2**.



**Ilustración 13-2:** Cargas térmicas del vehículo.

Realizado por: Chica J., Vinuesa M. 2022

### 2.1.5 Confort térmico en los vehículos

Al momento de fabricar un vehículo existen varios métodos de trabajo donde se han creado nuevos parámetros que se deben de tomar en consideración ya que van a sufrir cargas térmicas por varios motivos como: la temperatura exterior, radiación solar, ocupantes, ventilación e iluminación, los elementos que se encuentran fuera de la cabina del vehículo, muchos de ellos son impermeables al paso del calor, pero siempre dependiendo de la temperatura ambiente debido a que ciertos sectores las altas temperaturas penetran al interior del vehículo ocasionando que la temperatura incremente.

### 2.1.5.1 Equilibrio térmico del cuerpo humano

El cuerpo humano es capaz de reaccionar a los estímulos térmicos tratando de mantener la temperatura ideal del organismo (37°C), si la temperatura corporal aumenta, el organismo reacciona dilatándose, ofreciendo una mayor superficie de intercambio, si a pesar de ello la temperatura sigue aumentando el cuerpo produce sudoración para poder evacuar el calor por evaporación. Por el contrario, si la temperatura del cuerpo disminuye, el cuerpo se va a contraer haciendo que el cuerpo realice movimientos musculares que producen calor interno a esto se le conoce como tiritar permitiendo que el cuerpo entre en calor.

**Tabla 5-2:** Escala térmica del cuerpo humano.

<b>Escala térmica (grados de hipotermia y fiebre)</b>	
<b>Febrícula</b>	Entre 37,4°C a 37,9°C
<b>Fiebre moderada</b>	Entre 38° a 38,9°C
<b>Fiebre alta</b>	Entre 39°C a 39,9°C
<b>Fiebre muy baja</b>	Entre 40°C a 41,5°
<b>Hiperpirexia</b>	>41,5 °C
<b>Temperatura normal</b>	Entre 36°C a 37°C
<b>Hipotermia ligera</b>	Entre 28°C a 35°C
<b>Hipotermia profunda</b>	Entre 17°C a 28°C
<b>Hipotermia muy profunda</b>	Inferior a los 17°C

Fuente: (Meneses Alexis & Tolaza Daissy, s.f)

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2022

La temperatura normal del cuerpo humano varía dependiendo de la edad, sexo, la actividad reciente, el consumo de alimentos y líquidos, la hora del día y en las mujeres también se toma en cuenta la fase del ciclo menstrual en la que se encuentre. En la **Tabla 6-2** se especifica la temperatura promedio en grados centígrados del cuerpo humano según la edad.

**Tabla 6-2:** Temperaturas promedio de diferentes edades.

<b>Edad</b>	<b>Temperatura</b>
<b>Recién nacido</b>	Entre 36,1≤°C a 37,7°C
<b>Lactante</b>	Entre 37,2°C a 37,8°C
<b>Niños de 2 a 8 años</b>	Entre 37°C a 37,5°C
<b>De los 8 a los 15 años</b>	Entre 36,5°C a 37°C
<b>Adultos</b>	Entre 36,9°C a 37,2°C
<b>Vejez</b>	≤36°C

Fuente: (Meneses Alexis & Tolaza Daissy, s.f)

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2022

### 2.1.5.1.1 *Metabolismo*

Dependiendo de la actividad que se esté realizando la producción de calor en el cuerpo va a aumentar, esto va a ser representado por el MET (unidad de medida del calor metabólico). El MET corresponde a la producción de calor por metro cuadrado de superficie corporal.

$$MET = 58,1 [W/m^2] \quad (4)$$

Los valores de actividad normales se encuentran comprendidos entre 0,7 y 1,4 *met* y cuando se realiza actividades más pesadas como por ejemplo los deportes puede llegar alcanzar valores de 9 o 10 *met*. en la **Tabla 7-2** se pueden observar valores del metabolismo del ser humano bajo ciertas actividades que se pueden realizar.

**Tabla 7-2:** Índices metabólicos durante varias actividades.

ACTIVIDAD	W/m <sup>2</sup>	met
<b>Reposo</b>		
Durmiendo	40	0,7
Recostado	45	0,8
Sentado, tranquilo	60	1,0
De pie, relajado	70	1,2
<b>Caminar (sobre superficie nivelada)</b>		
3.2 km/h (0.9 m/s)	115	2,0
4.3 km/h (1.2 m/s)	150	2,6
6.4 km/h (1.8 m/s)	220	3,8
<b>Actividades de oficina</b>		
Leyendo, sentado	55	1,0
Escribiendo	60	1,0
Mecanografía	65	1,1
Archivando, sentado	70	1,2
Archivando, de pie	80	1,4
Caminando	100	1,7
Levantar objetos, empacar	120	2,1
<b>Conducir, volar</b>		
Vehículo	60-115	1,0-2,0
Aeronave, rutina	70	1,2
Aeronave, aterrizaje por instrumentos	105	1,8
Aeronave, combate	140	2,4
Vehículo pesado	185	3,2
<b>Actividades ocupacionales diversas</b>		
Cocinando	95-115	1,6-2,0
Limpiar la casa	115-200	2,0-3,4
Sentado, movimiento pesado de las extremidades	130	2,2
<b>Trabajo de máquina</b>		
Serruchar (sierra de mesa)	105	1,8
Luz (industria eléctrica)	115-140	2,0-2,4
Pesado	235	4,0

<b>Manipulación de sacos de 50kg</b>	235	4,0
<b>Trabajo de pico y pala</b>	235-280	4,0-4,8
<b>Varias actividades de ocio</b>		
<b>Bailar</b>	140-255	2,4-4,4
<b>Calistenia/ejercicio</b>	175-235	3,0-4,0
<b>Tenis</b>	210-270	3,6-4,0
<b>Básquet</b>	290-440	5,0-7,6
<b>Lucha/competencia</b>	410-505	7,0-8,7

Fuente: (ASHRAE, 2010)

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2022

En la ecuación de balance de calor, los factores de medida para diversos componentes de la ecuación en el balance térmico del cuerpo humano van a estar expresados en unidades de potencia por metro cuadrado de la superficie corporal, por lo que, va a ser necesario estimar la superficie del cuerpo. El área superficial de un hombre estándar promedio es aproximadamente de 1,80 m<sup>2</sup> mientras que el de una mujer estándar promedio es de 1,60 m<sup>2</sup>.

#### 2.1.5.1.2 *Vestimenta*

La vestimenta consta de una resistencia térmica que se mide en clo, esta cantidad de aislante térmico que lleva una persona tiene un impacto sustancial en el confort térmico y es una variable importante en la aplicación de métodos de balance de calor. Se considera valores de 0,5 clo para ropas utilizadas en verano y 1 clo para ropas utilizadas en invierno estos valores son tomados en cuenta dentro de edificios, por lo que se toman en consideración para zonas interiores de cualquier tipo, en la **Tabla 8-2** se muestran los valores de aislamiento de la ropa para conjuntos típicos.

**Tabla 8-2:** Valores de aislamiento de ropa para conjuntos típicos.

Número	Vestimenta	clo
1	Pantalones, camisa de manga corta	0,57
2	Pantalones, camisa de manga larga	0,61
3	#2 más chaqueta de traje	0,96
4	#2 más chaqueta de traje, chaleco, camiseta	1,14
5	#2 más suéter de manga larga, camiseta	1,01
6	#5 más chaqueta de traje, pantalones largos de ropa interior	1,30
7	Falda hasta la rodilla, camisa de manga corta (sandalias)	0,54
8	Falda hasta la rodilla, camisa de manga larga, slip completo	0,67
9	Falda hasta la rodilla, camisa de manga larga, medio slip, suéter de manga larga	1,10
10	Falda hasta la rodilla, camisa de manga larga, medio slip, chaqueta de traje	1,04
11	Falda hasta el tobillo, camisa de manga larga, chaqueta de traje	1,10
12	Pantalones cortos para caminar, camisa de manga corta	0,36
13	Mono de manga larga, camiseta	0,72
14	Mono, camisa de manga larga, camiseta	0,89
15	Monos aislados, tope e inferior de ropa interior térmica de manga larga	1,37

<b>16</b>	Pantalones de sudadera, sudadera de manga larga	0,74
<b>17</b>	Tops de pijama de manga larga, pantalones de pijama largos, bata corta de 3/4 de longitud (zapatillas, sin calcetines)	0,96

Fuente: (ASHRAE, 2010)

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2022

Para las actividades sedentarias casi secundarias donde la tasa metabólica es aproximadamente de 1,2 met, el efecto de cambiar el aislamiento de la ropa sobre la temperatura operativa es aproximadamente de 6°C por clo.

#### 2.1.5.2 Carrocería del vehículo

En la fabricación de carrocerías de vehículos se utilizan materiales con diversas funcionalidades para poder aprovechar sus cualidades y las ventajas que estos poseen. Todo esto tiene una finalidad y es lograr la reducción de peso, aumentar la seguridad de los ocupantes, aumentar la resistencia a través del uso de materiales mucho más ligeros, pero con mejores prestaciones. En los últimos años los materiales más usados para la fabricación de carrocerías de vehículos livianos han sido las aleaciones de aluminio, hierro y también magnesio, además del uso de plásticos y sus aleaciones en los cuales pueden o no ser reforzados, el uso de resinas termoestables con fibra de vidrio o a su vez pueden ser de cristal o carbono.

Cuando se trata de confort térmico se debe de tomar en cuenta:

- ✓ Color de la carrocería
- ✓ Superficies acristaladas
- ✓ Materiales de las paredes del vehículo
- ✓ Tapicería

Existen estudios que demuestran que el color del vehículo afecta a la carga generada por la radiación solar, en la **Tabla 9-2** se muestra la emisividad, absorptancia y reflectancia de tres tipos de vehículos, uno de color oscuro, uno de color claro y un color intermedio para saber cómo se comporta el calor al interior del vehículo.

**Tabla 9-2:** Propiedades de las superficies del vehículo

Color	Emisividad	Absortancia	Reflectancia
<b>Negro</b>	0,83	0,80	0,05
<b>Amarillo</b>	0,80	0,50	0,30
<b>Blanco</b>	0,79	0,23	0,58

Fuente: (Levinson et al., 2011; ASHRAE Standard, 2004)

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2022

Para los materiales de fabricación de las paredes y techo del vehículo, muchos de ellos son fabricados con los materiales que se muestran en la **Tabla 10-2** estos son muy utilizados en vehículos sedán, hatchback y de tipo SUV.

**Tabla 10-2:** Materiales en las superficies de la cabina de algunos vehículos sedán, hatchback, SUV

Superficie	Materiales	Conductividad ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )
Techo	Poliuretano	0,03
	Panel de madera	0,12
	Acero	50,20
Piso	Cloruro de polivinilo	0,16
	Poliéster	0,03
	Filtro prensado multifibra	0,20
	Acero	50,20

Fuente: (Trujillo, Machado 2021)

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2022

En los cristales de los vehículos, estos llevan vidrio laminado o aislante dependiendo del modelo de vehículo y fabricante, algunas de las propiedades del vidrio se detallan en la **Tabla 11-2**.

**Tabla 11-2:** Propiedades de superficies acristaladas.

Vidrio	Emisividad	Absortividad	Reflectividad	Transmisividad
Laminado	0,85	0,14	0,08	0,78
Aislante	-	0,55	0,26	0,19

Fuente: (Olazo 2012)

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2022

### 2.1.5.3 *Parámetros ambientales que inciden en el confort*

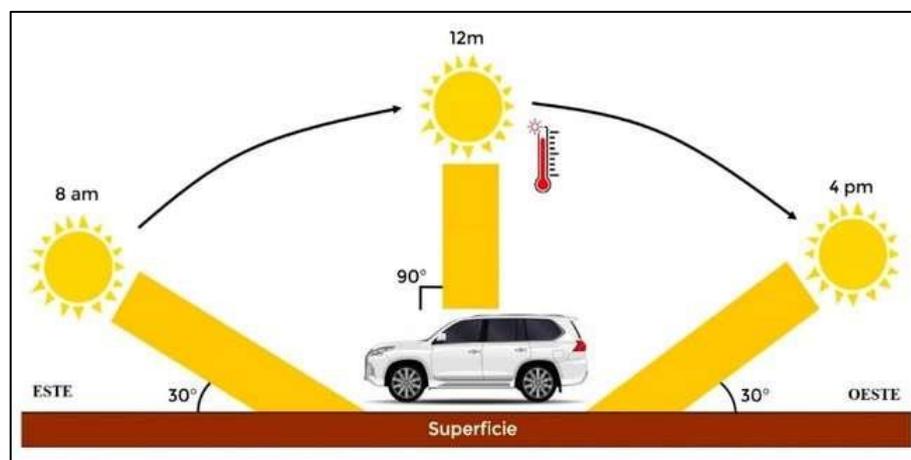
Como se habló en apartados anteriores el equilibrio térmico del cuerpo humano va a depender de los intercambios de calor que se efectúe con el ambiente que lo rodea, estos parámetros ambientales que mayor incidencia tienen en estos intercambios de calor son: la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del aire.

#### 2.1.5.3.1 *Temperaturas al interior del vehículo*

Teniendo en consideración parámetros de temperaturas y la humedad relativa ya que son índices que se van a asociar a la sensación térmica, este tipo de temperaturas en el interior del vehículo

van a ser unas temperaturas críticas. Cuando el vehículo se encuentra en una zona que está expuesto a la radiación solar, este se va a calentar ocasionando que la temperatura en la cabina suba provocando un efecto invernadero, un índice importante es la intolerancia térmica que se la conoce de dos maneras; en Canadá con el término índice humidex mientras que en los Estados Unidos se lo conoce como índice de calor, donde se tiene en cuenta la interacción de temperaturas secas, elevadas y la humedad relativa.

En condiciones normales la temperatura de la cabina debe estar entre los 8°C a 10°C con diferencia a la exterior, cuando la temperatura ambiental sobrepasa los 26.6°C, la temperatura de la cabina puede alcanzar los 40.6°C en menos de 20 minutos lo que puede llegar a ser perjudicial para las personas que se encuentren en el interior del vehículo (Rojas Reinoso et al. 2020, p.81).



**Ilustración 14-2:** Incidencia de la radiación en el Ecuador.  
Realizado por: Chica J., Vinuesa M, 2022

En la **Ilustración 14-2** nos muestra como es el trayecto del sol en el Ecuador, el sol sale del Este y se esconde por el Oeste, a diferencia de otros países en el Ecuador el sol rodea de forma semicircular, esto quiere decir que en ciertas horas del día el sol llegara a formar un ángulo de 90° con la superficie en donde el sol emite radiación con mayor incidencia que en otros países, es por ello que analizarlo en las regiones del Ecuador se podrá observar el comportamiento de la radiación y las temperaturas que se producen al interior de los vehículos.

#### 2.1.5.3.2 Humedad relativa

La humedad relativa tiene un efecto considerable sobre la comodidad porque es una medida de la capacidad del aire para absorber humedad, por lo que, afecta la cantidad de calor que un cuerpo puede disipar por evaporación. Cuando la humedad relativa es elevada, va a retardar el rechazo de calor por evaporación mientras que la baja humedad relativa lo acelera. El nivel incitante de humedad relativa se encuentra en el rango de los 30-70% siendo el más deseable, el 50% debido

a que la mayor parte de las personas no sienten frío ni calor en esas condiciones, por lo que el cuerpo no activa mecanismos de defensa para mantener la temperatura corporal ideal. (Cengel y Chajar, 2007b, p.42)

En la **Tabla 12-2** se observa la relación entre la humedad relativa y la temperatura del aire en clima cálido, en donde se tiene los siguientes parámetros:

**Tabla 12-2:** Valores de sensación térmica por calor

		TEMPERATURA DEL AIRE EN GRADOS CELSIUS (°C)																	
		27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
HUMEDAD RELATIVA (%)	45	27	28	29	30	32	33	35	37	39	41	43	46	49	51	54	57	61	64
	50	27	28	30	31	33	34	36	38	41	43	46	49	52	55	58	62		
	55	28	29	30	32	34	36	38	40	43	46	48	52	55	59	62			
	60	28	29	31	33	35	37	40	42	45	48	51	55	59	63				
	65	28	30	32	34	36	39	41	44	48	51	55	58	63					
	70	29	31	33	35	38	40	43	47	50	54	58	62						
	75	29	31	34	36	39	42	46	49	53	58	62							
	80	30	32	35	38	41	44	48	52	57	61								
	85	30	33	36	39	43	47	51	55	60	65								
	90	31	34	37	41	45	49	54	58	64									
	95	31	35	38	42	47	51	57	62										
	100	32	36	40	44	49	54	60											

Fuente: (AEMet, s.f)

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2022

- En el rango de 27 a 32 existe una precaución debido a que se puede producir fatiga por exposición prolongada o actividad física.
- En el rango de 33 a 40 existe una precaución extrema, en este rango existe insolación, golpe de calor, calambres al igual que en el rango de 41 a 53 con la diferencia de que a partir de este rango la exposición es bastante prolongada o la actividad física es muy forzada.
- A partir de los 54 o más se tiene un peligro extremo en donde la insolación es inminente.

Permanecer bajo el sol incrementa los valores de sensación térmica, sin embargo, cuando la temperatura es menor que los 32°C, el viento va a disminuir la sensación térmica y si es mayor que los 32°C va a aumentar.

#### 2.1.5.3.3 *Velocidad del aire*

Otro factor importante en el confort térmico es el movimiento o flujo de aire excesivo, que elimina la necesidad de enfriamiento local en el cuerpo humano. Las corrientes de aire son familiares para muchos, ya que son una molestia en los lugares de trabajo, los vehículos y los aviones. Las personas que usan ropa interior con regularidad y trabajan en una posición sentada liviana a menudo experimentan problemas de corrientes de aire y las personas con altos niveles de actividad tienen más probabilidades de verse afectadas.

La velocidad del aire debe mantenerse por debajo de 9 m/min en el invierno y 15 m/min en el verano, esto reducirá la incomodidad producida por la corriente de aire, en especial si el aire es frío. Por lo tanto, el movimiento del aire debe ser lo suficiente como para eliminar el calor y la humedad del entorno del cuerpo, pero sutil como para pasar desapercibido, los movimientos rápidos del viento crean incomodidad en el exterior. (Cengel y Chajar, 2007b, p.42)

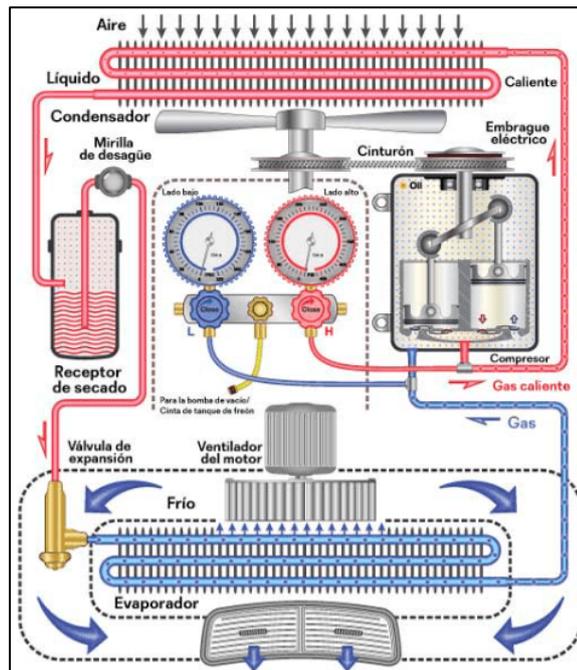
#### 2.1.6 *Sistema de climatización*

Como en una habitación climatizada, donde se deben calcular las ganancias y pérdidas, el coeficiente de transferencia de calor de los distintos compartimientos, las cargas térmicas internas y la ventilación requerida, en el caso de los vehículos las expresiones utilizadas son similares. Las excepciones son, por ejemplo; la reducción del espacio en la cabina, el aumento del intercambio de aire o el calentamiento del motor. Se requiere un análisis de flujo de energía, teniendo en cuenta todas las ganancias de calor potenciales que pueden considerarse números significativos y las pérdidas necesarias para calentar o enfriar el ambiente dentro del vehículo.

Entre las posibles fuentes de calor que se deben tomar en consideración son: el motor, el exterior de la cabina del vehículo, la actividad metabólica (establecida para el máximo de ocupantes). Es preciso realizar un balance energético entre las ganancias de calor y las pérdidas debido a ciertos factores como: la ventilación, las temperaturas externas de las estaciones frías y la apertura de las ventanas y puertas, para diseñar convenientemente los sistemas de climatización (Mata Carrera, 2005, p.65).

### 2.1.6.1 Consumo térmico del aire acondicionado

Cuando un sistema de aire acondicionado se pone en funcionamiento, la energía requerida va a provenir de una fracción del motor, para que el motor se ponga en funcionamiento necesita de la energía química del combustible y esta a su vez la transforma en energía mecánica para lograr un funcionamiento óptimo, por lo que el uso del aire acondicionado hace que el motor realice un esfuerzo extra para suplir la demanda de energía del sistema, ocasionando un mayor consumo de combustible.



**Ilustración 15-2:** Componentes del sistema de climatización.  
Fuente: (ANDIRA, s.f)

En la **Ilustración 15-2** se observa los componentes que conforman el sistema de climatización del vehículo que está compuesto de: compresor, válvula de expansión, filtro deshidratador, evaporador, condensador, tuberías, entre otros aditamentos. El equipo de aire acondicionado debe recibir mantenimiento para que funcione eficientemente y brinde el confort adecuado en la cabina del vehículo. En promedio, los sistemas de aire acondicionado alcanzan una temperatura de entre los 21°C y 25°C, tras extraer el calor interno del vehículo.

En la región Costa del Ecuador la noche es más frías que en el día, por lo que se puede aprovechar para enfriar casi gratuitamente el vehículo utilizando solo la ventilación del aire fresco del ambiente. La cabina del vehículo se enfría reduciendo la carga de trabajo del aire acondicionado,

pero usando menos energía. También puede hacerse el mismo efecto con las ventanas semiabiertas, si la seguridad del alrededor lo permite. Otro aspecto que se debe considerar es el incremento de la eficiencia energética. El uso del aire acondicionado en un vehículo marca Toyota tipo SUV a una altitud de la región Sierra y Costa en el Ecuador pueden aumentar en un 3,38% hasta 6,83% el consumo del combustible, este consumo puede variar dependiendo de las condiciones climatológicas, el número de ocupantes, el estado de las vías al igual que el tráfico. (Acosta y Tello 2016, p.66)

#### 2.1.6.2 Emisiones de gases contaminantes

Una de las principales razones del impacto ambiental es el uso del aire acondicionado debido a que este sistema usa refrigerantes, los cuales muchos de ellos son dañinos para el medio ambiente, además de que al momento de utilizar el aire acondicionado en el vehículo va a necesitar de un consumo extra de combustible emitiendo un porcentaje mayor de gases contaminantes hacia el medio ambiente. El aire acondicionado puede venir ya sea de modo autónomo o manual, pero de cualquier modo es completamente hermético, por lo que el gas refrigerante pasa a través de los componentes del sistema, en su mayoría limpios, sin interferencias, mezcla de refrigerantes de aceite y gas para compresores; áreas que pueden afectar su conductividad térmica o el funcionamiento de otros componentes electromecánicos utilizados en el sistema.

Existen condiciones relativas a la salud y la seguridad en el uso del aire acondicionado, debido a que muchas sustancias químicas con las que cuentan los refrigerantes pueden ser peligrosas si se utilizan de manera inadecuada. Dos categorías importantes de aspectos relativos a la seguridad y a la salud son la inflamabilidad y la toxicidad. En la **Tabla 13-2** nos indica la clasificación en el aspecto de la toxicidad y el de la inflamabilidad obteniendo 2 clases para la toxicidad, el grupo A son refrigerantes con baja toxicidad con un TLV (valores límites de umbral) superior a las 400 ppm, mientras que el grupo B refrigerantes con elevada toxicidad con un TLV superior a 400 ppm y 3 grupos para la inflamabilidad em donde el grupo 1 no tiene inflamabilidad, el grupo 2 tiene una baja inflamabilidad y el grupo 3 con una alta inflamabilidad.

**Tabla 13-2:** Norma 34 de ASHRAE con algunos ejemplos de refrigerantes.

GRUPO		AUMENTA TOXICIDAD		DAD INFLAMABILIDAD AUMENTA
1	R600a (ISOBUTANO) R290 (PROPANO)	R1140 (CLORURO DE VINILO)		
2	HFC32 HFC143a HFC152a	R717 (AMONÍACO)		

<b>3</b>	CFC11 CFC12 HCFC22 HFC125 HFC134a	HCF123	
<b>CLASE</b>	A	B	

Fuente: (ASHRAE, 2007)

Realizado por: Chica J., Vinuesa M. 2022

Se ha demostrado que la capa de ozono en la atmósfera actúa como un escudo contra la radiación del sol. La continua disminución de la concentración de ozono también es un hecho, especialmente en algunas regiones, debido principalmente al uso de CFC (clorofluorocarbonados) presentes tanto en los aerosoles como en refrigerantes. El cloro CFC actúa como catalizador de la reacción de agotamiento del ozono (ciclo catalítico ozono-cloro), bajo la influencia de la energía de la radiación solar, transforma dos moléculas de ozono en tres moléculas de oxígeno y provoca una reacción en cadena. Por lo tanto, la presencia de estos compuestos en la atmósfera provoca un efecto invernadero.

Ante la gravedad de este problema, varias naciones han comenzado a imponer restricciones legales a la producción y venta de estas sustancias. Desde la firma del Protocolo de Montreal en 1989, donde se asumieron compromisos de reducción de las emisiones de CFC en un 50%, hasta el Protocolo de Kioto en 1997, que redujo casi a cero las emisiones de gases de efecto invernadero, hubo compromisos cada vez más restrictivos en cuanto al uso de estos compuestos. Está claro que el R12 es un refrigerante excelente en este caso; sin embargo, su capacidad para descomponer y destruir el ozono de la atmósfera motivó su reemplazo por el R-134a, con un desempeño similar, pero mucho menos agresivo con el medio ambiente. Todos los HFC son un problema de calentamiento global y están incluidos en el Protocolo de Kioto, por lo que su uso también está restringido. La **Tabla 14-2** muestra el agotamiento relativo del ozono y los potenciales de gases de efecto invernadero, junto con la vida media de algunos compuestos de carbono alojados en la atmósfera. (Cabrera, 2004, P.24)

**Tabla 14-2:** Impacto ambiental de ciertos refrigerantes.

Compuesto	Potencial de degradación de ozono (ODP)	Potencial de efecto invernadero (HGWP)	Duración del efecto (años)
<b>CFD 11</b>	1,0	1,0	60
<b>CFD 12</b>	0,92-1,0	2,8-3,4	120
<b>CFD 113</b>	0,82-0,89	1,4	90
<b>CFD 114</b>	0,63-0,79	3,7-4,1	200
<b>CFD 115</b>	0,36-0,45	7,5-7,6	400
<b>HCFC 22</b>	0,042-0,057	0,374-0,37	15,3

<b>HCHC 123</b>	0,013-0,019	0,017-0,20	1,6
<b>HCFC 124</b>	0,016-0,021	0,09-0,10	6,6
<b>HCFC 141b</b>	0,066-0,092	0,087-0,097	7,8
<b>HCFC 142b</b>	0,053-0,059	0,34-0,39	19,1
<b>HFC 125</b>	0	0,51-0,65	28,1
<b>HFC 134a</b>	0	0,25-0,29	15,1
<b>HFC 143a</b>	0	0,72-0,76	41
<b>HFC 152a</b>	0	0,026-0,033	1,7

Fuente: (Cabrera, 2004)

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2022

Con esto se puede dar cuenta de que la sustitución de CFC por HCFC y HFC significa una reducción drástica de los efectos negativos sobre el medio ambiente, en términos del efecto invernadero y también del agotamiento de la capa de ozono.

## 2.2 Antecedentes

En la fabricación de carrocerías de vehículos se utilizan materiales con diversas funcionalidades para poder aprovechar sus cualidades y las ventajas que estos poseen. Todo esto tiene una finalidad y es la de lograr la reducción de peso, aumentar la seguridad de los ocupantes, aumentar su resistencia a través del uso de materiales más ligeros, pero con mejores prestaciones. En los últimos años los materiales más usados para la fabricación de dichas carrocerías han sido las aleaciones de aluminio, de hierro, y también de magnesio. Además de plásticos y aleaciones en los cuales pueden o no ser reforzados, el uso de resinas termoestables con fibra de vidrio o a la vez pueden ser de cristal o carbono.

El hombre se dio cuenta de que el interior de un vehículo era muy caliente e incómodo, y fue ahí donde decidió que debía hacer algo al respecto, por lo que se generó la idea del sistema de aire acondicionado para los vehículos. En la época actual, los equipos de aire acondicionado son fundamentales y cumplen un rol esencial en cualquier vehículo. Al momento de fabricar un vehículo existen varios métodos de trabajo en los cuales se implementan parámetros de confort a tomar en consideración, ya que van a sufrir cargas térmicas por varios motivos como: la temperatura exterior, radiación solar, ocupantes, ventilación e iluminación, los elementos que se encuentran fuera de la cabina del vehículo muchos de ellos son impermeables al paso del calor, pero siempre dependiendo de la temperatura ambiente debido a que en ciertos sectores las altas temperaturas penetran al interior del vehículo ocasionando que su temperatura suba.

Los vehículos en su mayoría al momento de ser fabricados vienen calibrados a nivel del mar, la ciudad de Riobamba es una de las ciudades altas del Ecuador ubicada a 2750 msnm, mientras que

la ciudad de Santo Domingo a pesar de pertenecer a la región Costa del Ecuador se encuentra a una altura de 550 msnm, por lo que al momento de poner a trabajar los motores van a presentar un diferente funcionamiento, consumo y emisiones de gases contaminantes producto de combustiones ineficientes, la altura de estas ciudades también se ven afectadas por la radiación solar lo que provoca que los vehículos sufran un calentamiento en la cabina, ocasionando un malestar tanto para el conductor como para los pasajeros.

A lo largo de los años se han realizado diversas investigaciones que abarcan temas de radiación solar, temperatura interior y exterior de la cabina de vehículos, uso del sistema de aire acondicionado entre otros que han ayudado al análisis de la influencia de la radiación solar en el calentamiento de los vehículos. Dadour et al. (2011) demuestran que, cuando el vehículo se encuentra estacionado al sol, la temperatura de la cabina es 20°C más que la temperatura ambiente, demostrando también que en los vehículos de color negro la temperatura en la cabina del vehículo son 5°C más que en los vehículos de color blanco en un día caluroso de verano, además de que cuando se baja la ventana unos 2,5 cm la temperatura de la cabina solamente se reduce 3°C. Otros autores como Levinson et al. (2011) indican que, un vehículo al encontrarse aparcado en el sol en un día de verano, la temperatura en el interior de la cabina del vehículo puede llegar hasta los 80°C, mientras que Al-Kayiem et al. (2010) nos dan a conocer que, el aire más caliente se acumula en la parte superior de la cabina del vehículo, mientras que en sus pruebas experimentales con las ventanas laterales delanteras abiertas 2 cm causa una reducción de temperatura en esa zona en un 20%.

Años atrás ya se ha venido trabajando sobre modelos térmicos en las cabinas de vehículos, Marcos et al. (2014b) realizaron un modelo matemático en cual se puede utilizar para el diseño y prueba de un sistema de HVAC de un vehículo al igual que para su estudio de rendimiento y consumo de combustible, este modelo se basa en ecuaciones de transferencia de calor, inercia térmica y la influencia de radiación. Torregrosa-Jaime et al. (2015b) desarrollaron un modelo térmico con parámetros agrupados del comportamiento de pasajeros de un vehículo en donde se reproduce con precisión el calentamiento y enfriamiento de la cabina del vehículo, en su estudio se utilizó un minibús al aire libre en donde la renovación de aire representa desde el 7% hasta el 53% de la carga térmica, mientras que la radiación representa el 18% al 32%.

Fayazbakhsh Y Bahrami (2013) proponen un modelo de estimación de carga que utiliza la geometría de la cabina y las propiedades del material como entradas para lograr estimar las cargas térmicas para un periodo de simulación en tiempo real, también mencionan que el sistema de aire

acondicionado del vehículo es necesario para el confort térmico del conductor y pasajeros ya que el uso de este mantiene la temperatura y humedad del aire confortable en la cabina. Khayyam et al. (2011b) mencionan que, los sistemas de aire acondicionado aumentan la comodidad térmica en la cabina de los vehículos, pero aumentan el consumo de energía provocando un aumento en el consumo de combustible, además de que lograr el confort térmico de manera eficiente es una tarea complicada que va a requerir de una buena coordinación del sistema de aire acondicionado y el motor, en su documento de investigación presentan un sistema coordinado de gestión de energía para reducir el consumo de energía del sistema de aire acondicionado del vehículo manteniendo la comodidad térmica que coordina y gestiona el funcionamiento del condensador, evaporador y compuertas de aire fresco al igual que la recirculación para proporcionar la temperatura de confort deseada con una buena calidad de aire interior en diferentes condiciones ambientales.

Vásconez-Núñez et al. (2018) presentan un modelo térmico dinámico de un minibús tipo furgón que comprende dos zonas, una para la zona delantera (conductor) y otra la zona posterior (pasajeros), este modelo lo desarrollan en TRNSYS, es capaz de predecir el comportamiento térmico de la cabina expuesta a temperaturas ambiente variables y radiación solar, para validar el modelo utilizan datos experimentales donde engloban temperatura ambiente, radiación solar, temperatura interior cuando se encuentra aparcado dentro y fuera de un garaje de la ciudad de Turín (Italia), este modelo también permite calcular la carga de refrigeración de la cabina en un día de verano. Se ha demostrado que al poner en funcionamiento el sistema de aire acondicionado, este tiene un gran impacto en las emisiones de gases contaminantes y el ahorro de combustible ya que puede aumentar las emisiones de NOx del 15% al 100% (Welstand et al., 2003). En otros estudios Lambert y Jones (2006) concluyen que, el compresor mecánico del sistema de aire acondicionado podría aumentar el consumo de combustible del vehículo en un 12% y 17% para vehículos subcompactos a medianos.

Todos estos estudios se han realizado en ciudades europeas y Norteamericanas y no se han centrado en países con regiones variadas, en donde la radiación solar es mucho más alta; por lo que, este estudio se realiza en uno de los países con gran variedad de ecosistemas en donde se encuentra la línea ecuatorial que va a ser de mucha importancia para futuros estudios que se realicen, tanto para el conocimiento de la influencia de la radiación solar en las regiones Sierra y Costa del Ecuador como en la demanda térmica del uso del aire acondicionado.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Enfoque de Investigación

Dado que se busca comprobar la hipótesis anteriormente mencionada, así como los objetivos establecidos, en el presente trabajo de investigación se usó un enfoque cuantitativo, ya que se manejan datos numéricos para obtener las distintas correlaciones y poder justificar los resultados. Por lo tanto, nos permitió tener una secuencia lógica en el análisis de datos de cada parámetro que influye en la incidencia de la radiación solar.

Debido al uso de esta metodología es necesario que los resultados tanto de temperatura, humedad, radiación solar y demanda térmica del aire acondicionado se use la técnica experimental para obtener información y ser comparados bajo distintas condiciones ambientales, logrando tener datos válidos que ayuden a futuras investigaciones.

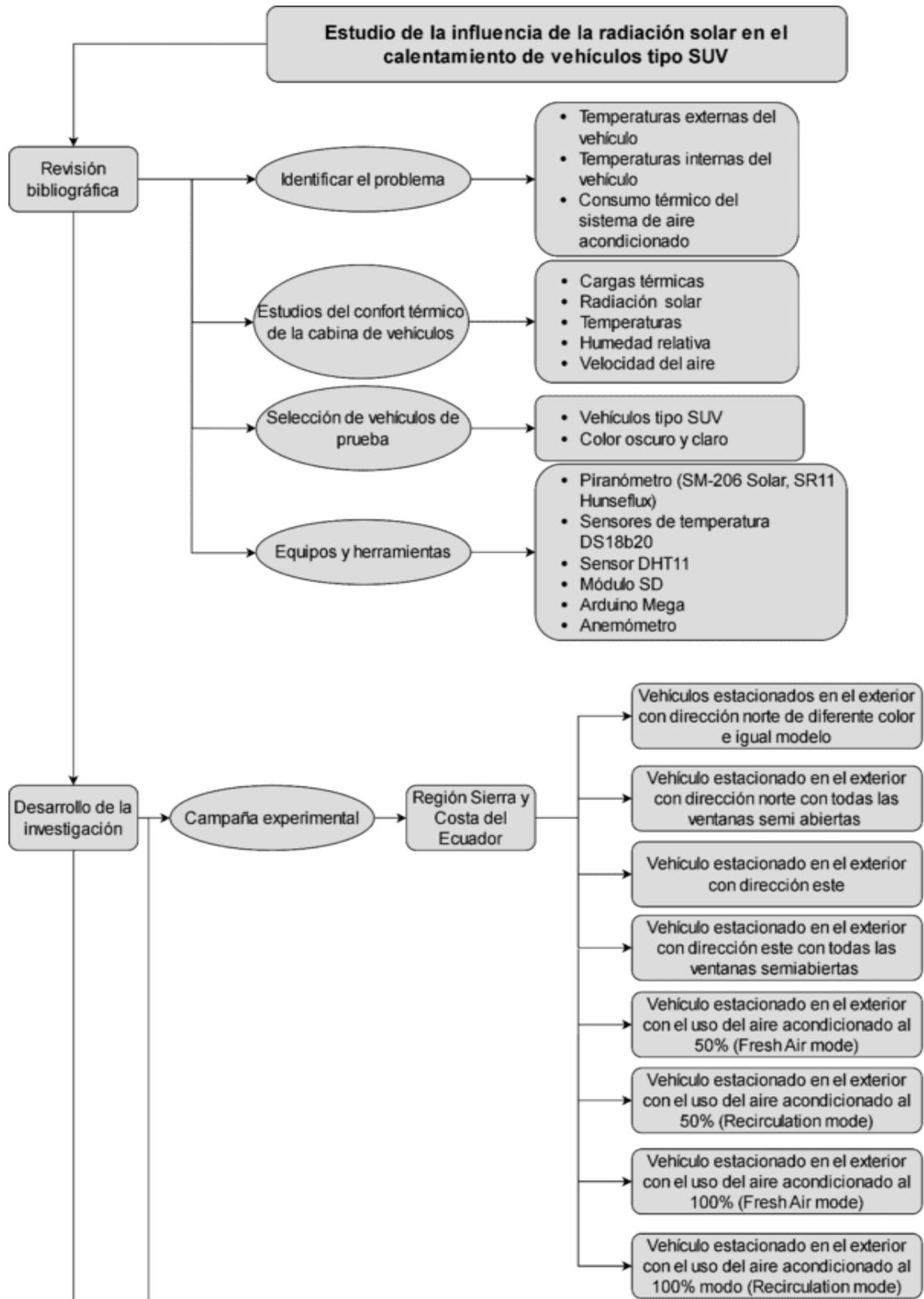
#### 3.2 Nivel de Investigación

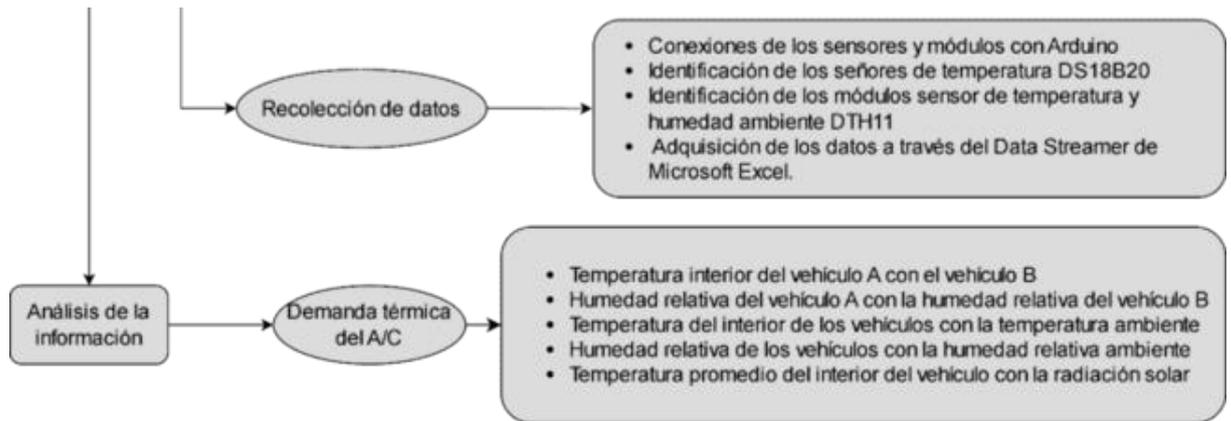
Se utilizó un nivel de investigación predictivo basado en medidas experimentales que nos ayudó a obtener datos tanto de temperatura, humedad y radiación solar para recopilarlos y ser utilizados en un análisis cuantitativo. Para lo cual, se van a utilizaron equipos para la obtención de datos como: sensores de temperatura, sensores de humedad relativa, piranómetro, anemómetro cada uno de estos elementos de medición nos proporcionó una serie de datos en distintos lapsos de tiempos y considerando varios parámetros ambientales.

Esta investigación experimental se la realizó en la región Sierra y Costa del Ecuador utilizando vehículos tipo SUV para la recolección de datos, para luego ser comparados y ver su comportamiento, ayudando a tener una mejor visión sobre la influencia de la radiación en el calentamiento de estos vehículos, con la diferencia de que en la región Sierra se ocuparon los datos de radiación solar global proporcionados por la estación meteorológica ESPOCH mientras que en la región Costa se utilizó el piranómetro SM206- Solar.

### 3.3 Diseño de Investigación

En la **Ilustración 1-3**, se indica de forma cronológica el inicio de la investigación según los objetivos planteados.





**Ilustración 1-3:** Esquema del diseño del trabajo de investigación

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2022

### 3.4 Tipo de estudio

Se realizó un estudio experimental y descriptivo, donde a partir de lo descrito y explicado en capítulos anteriores nos centramos en la afirmación o negación de la hipótesis planteada. Realizando una campaña experimental, controlando algunas variables como; la orientación del vehículo y sus ventanas totalmente cerradas o semi abiertas, color y funcionamiento del aire acondicionado al 50% o 100% para así obtener una base sólida de datos y poder comparar resultados en función de estadísticas. Este tipo de estudio experimental se lo realizó de forma cronológica y modificando variables independientes, usando razonamiento hipotético-deductivo y con una metodología cuantitativa para predecir lo que ocurrirá y llevar a cabo los objetivos de la investigación controlando el fenómeno estudiado. Este tipo de investigación presenta las siguientes etapas:

- ✓ A partir de una revisión bibliográfica se identificó el problema
- ✓ Identificación y definición del problema
- ✓ Definición de hipótesis y variables
- ✓ Diseño de la campaña experimental
- ✓ Confiabilidad de datos
- ✓ Realización de la experimentación
- ✓ Tratamiento de datos

### 3.5 Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra

La población de estudio se encuentra dentro de la gama de vehículos tipo SUV por su alta demanda comercial que existe actualmente a nivel nacional en el Ecuador. Según AEADE (2022b,

p.5) entre los meses de enero y mayo del 2022 se vendieron un total de 55390 vehículos de todo tipo, pero el mayor número de ventas lo tuvo los vehículos tipo SUV con ventas totales de 25151, así como se muestra en la **Tabla 1-3**. Por tal motivo se seleccionó el segmento de vehículos tipo SUV, excluyendo cualquier marca comercial y haciendo uso de estos tipos de vehículos para efectuar el estudio.

Otra variable que se considero fue la selección de los colores, oscuros que se asemejen al color negro y colores claro como el blanco, ya que el color del vehículo afecta a la carga generada por radiación solar como la emisividad y absorptividad donde en colores oscuros será mayor que en colores claros y la reflectividad será mayor en colores claros y menor en oscuros.

**Tabla 1-3:** Venta de vehículos en el Ecuador por segmento

Segmento	May 2022	May 2021	Ene-May 2022	Ene-May 2021
<b>SUV</b>	5 149	3 449	25 151	17 334
<b>AUTOMOVIL</b>	2 726	2 948	14 200	14 163
<b>CAMIONETA</b>	2 125	1 615	9 471	7 326
<b>CAMION</b>	896	800	4 592	3 894
<b>VAN</b>	350	299	1 726	1 335
<b>BUS</b>	65	28	250	100
<b>Total</b>	11 311	9 139	55 390	44 152

Fuente: (AEADE, 2022b)

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2022

Según la planificación se escogió cuatro vehículos de tipo SUV sin importar la marca del fabricante, para realizar las pruebas respectivas de acuerdo con la campaña experimental descrita en el diseño de la investigación, se dividió; dos vehículos designados para la región Sierra del Ecuador específicamente en la ciudad de Riobamba con una gama de colores en tonalidades clara y oscura, dos vehículos para la región Costa del Ecuador en la ciudad de Santo Domingo de igual manera de colores con tonalidades clara y oscura que se asemejen al blanco y negro respectivamente.

### 3.6 Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

En este apartado se detallará cada método, técnica e instrumentos que se utilizaron para el desarrollo de este trabajo de investigación, tomando en cuenta cada parámetro establecido en los objetivos específicos.

### 3.6.1 *Mediciones experimentales de temperatura exterior, interior, humedad relativa y radiación solar*

Con el objetivo de realizar medidas experimentales de temperatura exterior, interior, radiación solar y humedad relativa tanto dentro como fuera del vehículo, fue necesario utilizar ciertos equipos de medición tales como: piranómetros, sensor de temperatura, sensor de humedad relativa y anemómetro. Después de la adquisición de los equipos se realizó un ajuste a la recolección de datos y su respectivo guardado, además, se detallan los vehículos utilizados para las mediciones al igual que las condiciones geográficas y climatológicas de las ciudades escogidas para las pruebas.

#### 3.6.1.1 *Equipos de medición*

##### 3.6.1.1.1 *Piranómetro*

Es un instrumento que mide la radiación solar global, se utilizó para la toma de datos cuando los vehículos se encontraban aparcados en la intemperie, por lo cual, se usó el piranómetro SM206-Solar como se muestra en la **Ilustración 2-3** para la toma de datos en la región Costa, mientras que, para la toma de datos en la región Sierra se usó el piranómetro SR11 Hukseflux los cuales fueron proporcionados por la estación meteorológica ESPOCH como se muestra en la **Ilustración 3-3**.



**Ilustración 2-3:** Piranómetro SM206-SOLAR  
Realizado por: Chica J., Vinuesa M. 2022

Este aparato de medición nos arroja datos de radiación global en dos unidades ya se en el sistema internacional ( $W/m^2$ ) o en el sistema inglés ( $Btu/ft^2h$ ), además de que nos permite la retención del valor máximo y mide directamente sin ningún tipo de ajuste. En la **Tabla 2-3** se detallan las especificaciones técnicas del equipo.

**Tabla 2-3:** Especificaciones técnicas del piranómetro SM206-SOLAR

<b>Especificaciones Piranómetro SM206-SOLAR</b>	
<b>Rango de error</b>	$\pm 10 W/m^2$ [ $\pm 3 Btu/ft^2h$ ] o $\pm 5\%$ del valor medido
<b>Error de temperatura</b>	$\pm 0,38 W/m^2/^\circ C$ [ $\pm 0,12 Btu/ft^2h/^\circ C$ ]
<b>Resolución</b>	$0,1 W/m^2 - 0,1 Btu/ft^2h$
<b>Valor máximo</b>	3999
<b>Rango de medición</b>	$0,1 - 399,9 W/m^2$ $1 - 3999 W/m^2$ $0,1 - 399,9 Btu/(ft^2h)$ $1 - 3999 Btu/ft^2h$
<b>Tiempo de muestreo</b>	0,25 s/hora
<b>Temperatura y humedad de funcionamiento</b>	$0^\circ C$ a $50^\circ C < 80\% RH$
<b>Temperatura y humedad de almacenamiento</b>	$-10^\circ C$ A $60^\circ C < 70\% RH$

Fuente: (VIAINDUSTRIAL, 2022)

Realizado por: Chica J., Vinueza M., 2022



**Ilustración 3-3:** Piranómetro SR11 Hukseflux

Realizado por: Chica J., Vinueza M., 2022

En la **Ilustración 3-3** se muestra un piranómetro de alta precisión y cumple con la norma ISO 9060 que establece las especificaciones y clasificación de instrumentos para medir la radiación hemisférica y solar directa, además de que es uno de los piranómetros preferidos para la toma de datos de sistemas fotovoltaicos según la norma ASTM E2848, especifica el método de prueba para la presentación de informes del cálculo de rendimiento para los sistemas fotovoltaicos, confirmando que el piranómetro es un instrumento ideal para pruebas de plantas y sistemas de energía fotovoltaica, el piranómetro SR11 mide la radiación solar a partir de una superficie plana con un ángulo de  $180^\circ$ . En la **Tabla 3-3** se muestran las especificaciones técnicas de este equipo.

**Tabla 3-3:** Especificaciones técnicas del piranómetro SR11 Hukseflux

<b>Especificaciones Piranómetro SR11 Hukseflux</b>	
<b>Clasificación ISO (ISO 9060:1990)</b>	Primera clase
<b>Nivel de desempeño (WMO-No-8)</b>	Buena calidad
<b>Tiempo de respuesta (95%)</b>	18 seg
<b>Compensación cero a (respuesta a 200 W/m<sup>2</sup> de radiación térmica neta)</b>	5 W/m <sup>2</sup> sin ventilación
<b>Compensación cero b (respuesta a un cambio de 5 K/h en la temperatura ambiente)</b>	< ± 4 W/m <sup>2</sup>
<b>No estabilidad</b>	< ± 1% cambio por año
<b>No linealidad</b>	< ± 1% (100 a 1000 W/m <sup>2</sup> )
<b>Respuesta de dirección</b>	< ± 20 W/m <sup>2</sup>
<b>Selectividad espectral</b>	< ± 5% (0,35 a 1,5x10 <sup>-6</sup> )
<b>Respuesta de temperatura</b>	< ± 2% (-10 a +40 °C)
<b>Respuesta de inclinación</b>	< ± 2% (0 a 90° a 1000 W/m <sup>2</sup> )

Fuente: (Kintech Engineering, 2019)

Realizado por: Chica J., Vinueza M., 2022

#### 3.6.1.1.2 *Sensores de temperatura DS18B20*

Este sensor de temperatura DS18B20 que se observa en la **Ilustración 4-3**, fue utilizado para medir la temperatura en el interior y exterior de los vehículos tipo SUV, con un total de 9 sensores y posicionados en varios puntos como: en el tablero de instrumentos, parte posterior, ventanas, exterior del vehículo, asientos y cabeceras. La toma de datos en los diferentes puntos internos y externos de los vehículos se la llevo a cabo con el fin de poder comparar las temperaturas máximas y mínimas producto de la radiación solar.



**Ilustración 4-3:** Sensor de temperatura DS18B20

Realizado por: Chica J., Vinueza M, 2022

Otra de sus características de este sensor es que se puede usar varios sensores simultáneamente conectados en serie en el mismo bus de datos (1-Wire), ya que, cada sensor tiene un identificador único de fábrica de 64 bits (8 bytes), donde el primer byte identifica el tipo de componente, en este caso para los sensores DS18B20 es el número 28 en hexadecimal. En nuestra investigación se realizó una programación distinta donde ocupamos 9 sensores con varios pines de datos (DATA) conectados a los distintos pines digitales del microcontrolador como lo es el Arduino mega y sin la necesidad de conocer su código único, con el fin de poder identificar y nombrar cada sensor con mayor facilidad y así ubicarlos dentro y fuera del vehículo. Por eso se usó el Arduino mega ya que tiene mayor número de entradas de pines digitales. En la siguiente **Tabla 4-3**, se muestra las especificaciones técnicas del sensor DS18B20.

**Tabla 4-3:** Especificaciones técnicas del sensor de temperatura DS18B20

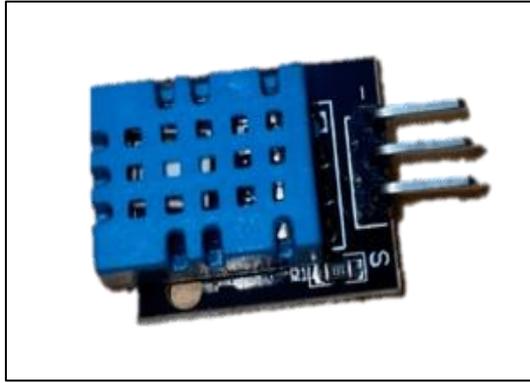
<b>Especificaciones Sensor DS18B20</b>	
<b>Alimentación</b>	3v a 5,5v
<b>Rango de temperatura</b>	-55°C a 125°C
<b>Rango de error</b>	$\pm 0,5^{\circ}C$ (-10°C a 85°C) $\pm 1^{\circ}C$ (-30°C a 100°C) $\pm 2^{\circ}C$ (-55°C a 125°C)
<b>Tiempo de muestreo</b>	1 seg
<b>Compatibilidad</b>	Arduino, PIC, ESP8266 y ESP32
<b>Distancia de cable</b>	1 m
<b>Peso</b>	23 gr
<b>Dimensiones de sonda</b>	5mm D y 50 mm L
<b>Cantidad de pines</b>	3 pines (GND, VCC, DATA)

Fuente: (Naylamp, 2021)

Realizado por: Chica J., Vinueza M., 2022

#### 3.6.1.1.3 *Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11*

Este tipo de sensor de temperatura y humedad relativa que se observa en la **Ilustración 5-3**, se usó para medir tanto la humedad relativa como más puntos de temperatura dentro y fuera del vehículo. Se hizo uso de 2 sensores tipo DHT11 para poder comprar la humedad relativa del medio ambiente y la humedad relativa al interior del vehículo que es generada por la radiación solar y la temperatura ambiente, con el fin de conocer la humedad existente en la cabina de los vehículos tipo SUV.



**Ilustración 5-3:** Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11  
 Realizado por: Chica J., Vinueza M, 2022

Este tipo de sensor tiene una característica en particular que, para poder conectar varios sensores a un mismo Arduino, este deberá tener su propio pin de datos conectado a un pin digital del microcontrolador. De la misma manera este tipo de sensor, se realizó una conexión única a un pin digital del Arduino mega para poder obtener los datos de cada sensor. En la **Tabla 5-3**, se puede observar las especificaciones técnicas del sensor DHT11.

**Tabla 5-3:** Especificaciones técnicas del sensor de temperatura y humedad relativa DHT11  
**Especificaciones del Sensor DHT11**

<b>Alimentación</b>	3v a 5v
<b>Rango de temperatura</b>	0°C a 50°C
<b>Rango de error</b>	$\pm 2^{\circ}C$ (0°C a 50°C )
<b>Rango de humedad</b>	20% a 90% RH
<b>Rango de error</b>	$\pm 5\%$ RH
<b>Tiempo de muestreo</b>	2 seg
<b>Compatibilidad</b>	Arduino, Raspberry Pi y Node MCU
<b>Peso</b>	1 gr
<b>Dimensiones</b>	16*12*5 mm
<b>Cantidad de pines</b>	4 pines (GND, VCC, DATA, NC)

Fuente: (Naylamp, 2021)

Realizado por: Chica J., Vinueza M., 2022

#### 3.6.1.1.4 Anemómetro

Este tipo de termo anemómetro impermeable que se muestra en la **Ilustración 6-3**, se usó para realizar mediciones de velocidad del aire, temperatura y sensación térmica, para los escenarios de experimentación, donde se usó el aire acondicionado de los vehículos en un 50% y 100% en los distintos modos, como recirculación y aire fresco.



**Ilustración 6-3:** Mini anemómetro Extech 45158

Realizado por: Chica J., Vinueza M., 2022

Este modelo de anemómetro tiene una particularidad que es la retención de datos manual a través de un botón, congelando la lectura más reciente por lo tanto no tiene la opción de guardar datos. En la **Tabla 6-3** se puede observar las especificaciones técnicas del anemómetro Extech 45158.

**Tabla 6-3:** Especificaciones técnicas del anemómetro Extech 45158

<b>Especificaciones del Anemómetro Extech 45158</b>	
<b>Alimentación</b>	Batería de litio
<b>Rango de temperatura</b>	-18°C a 50°C
<b>Rango de error</b>	$\pm 1^{\circ}\text{C}$ (-18°C a 50°C)
<b>Rango de humedad</b>	10% a 95% RH
<b>Rango de error</b>	$\pm 5\%$ RH
<b>Rango de velocidad del aire</b>	0,50 a 28 m/s 1,8 a 100,6 km/h
<b>Rango de error</b>	$\pm (3\% + 0.2 \text{ m/s})$ $\pm (3\% + 1,4 \text{ km/h})$
<b>Tiempo de muestreo</b>	1 lectura por segundo para velocidad de aire y temperatura 1 lectura cada 15 segundo para humedad
<b>Peso</b>	95 g
<b>Dimensiones</b>	133*70*19 mm, veleta: 24 mm diámetro

Fuente: (EXTECH INSTRUMENTS CORPORATION, 2011)

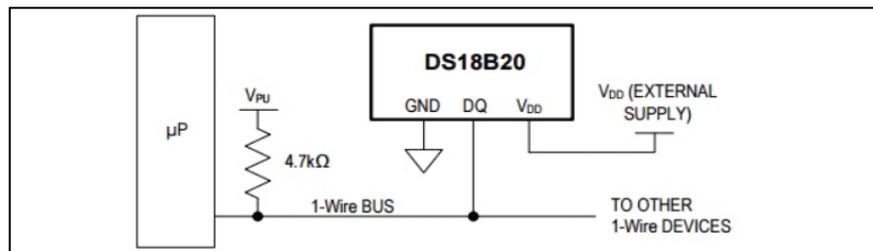
Realizado por: Chica J., Vinueza M., 2022

### 3.6.2 Adquisición de datos

La recolección de datos se la realizó a partir de una programación de los sensores tanto de temperatura como humedad, para ello se utilizaron sensores DS18B20 y DHT11 en donde, para la adquisición de los datos se consideró la implementación de una fuente externa junto con un convertidor de voltaje para el funcionamiento del Arduino, debido a que los vehículos de prueba se encontraron estacionados a la intemperie y se necesitó de una fuente de corriente para el testeo de más de 7 horas al día. Para la programación del sistema, se tomó como referencia los ejemplos que nos proporciona el software Arduino tanto de los sensores de temperatura, humedad y módulo SD. (Ver ANEXO A)

#### 3.6.2.1 Conexiones de los sensores de temperatura DS18B20 con Arduino

En el caso de los sensores de temperatura DS18B20, estos van a tener tres pines, los cuales serán distribuidos un pin para alimentación  $V_{DD}$ , un pin para tierra GND y un pin para la transmisión de datos DQ. El sensor DS18B20 es un sensor digital que utiliza el protocolo 1-Wire, con este protocolo solo necesita un pin para la transmisión de los datos y así poder comunicarse, además de que nos permite conectar más de un sensor en el mismo bus. El sensor DS18B20 tiene dos métodos de alimentación, puede ser a través del pin de datos o usando una fuente externa, para el desarrollo de este trabajo de investigación y debido a que se van a realizar pruebas con el vehículo aparcado a la intemperie se optó por la conexión a una fuente externa, de esta manera el sensor se alimenta a través del pin  $V_{DD}$  siendo más estable e independiente del tráfico del bus 1-Wire, esto se lo puede ver en el diagrama mostrado en la **Ilustración 7-3**.

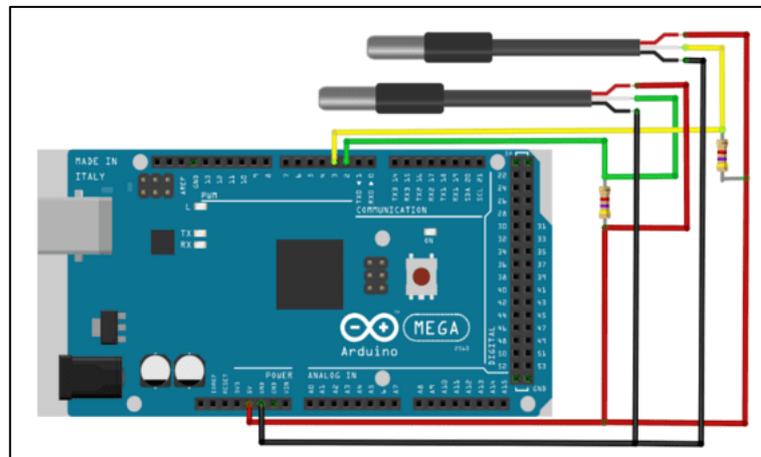


**Ilustración 7-3:** Diagrama de conexión del sensor DS18B20 usando una fuente externa

Fuente: (Naylamp 2021)

Existen dos maneras de conectar varios sensores de temperatura al módulo Arduino, uno es usando varios DS18B20 en diferentes pines del Arduino y la otra es usando varios DS18B20 conectados en serie a un solo pin del Arduino, la que se escogió es la primera por mayor facilidad

al momento de programar debido a que se ahorró tiempo, esta manera de conexión se observa en la **Ilustración 8-3**.



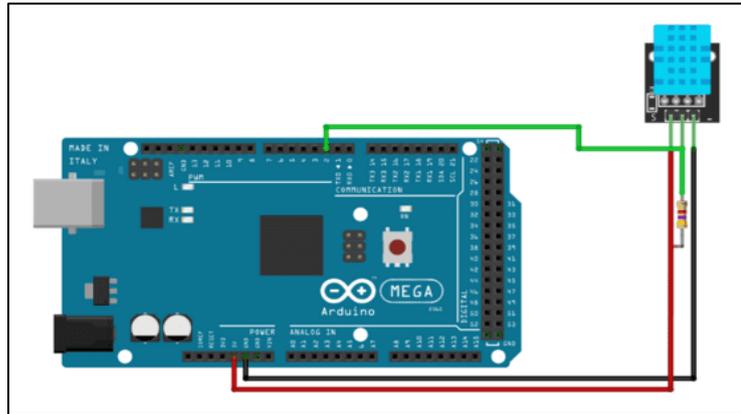
**Ilustración 8-3:** Conexiones usando varios sensores DS18B20 con diferentes pines del Arduino

**Realizado por:** Chica J., Vinueza M, 2022

Hay que tomar en cuenta que para conexión de estos sensores se lo debe hacer junto con una resistencia conectada en serie en el pin  $V_{DD}$  con el pin DQ, esta resistencia tiene que ser de 4,7 Kohm, esta forma de conectar varios sensores es mucho más sencillo y fácil de entender debido a que al momento de programar le corresponde un protocolo 1-Wire a cada pin de datos de los sensores (Ver ANEXO A), haciéndolo más útil cuando se tiene pines disponibles como un Arduino Mega.

### 3.6.2.2 Conexiones de los sensores de humedad relativa y temperatura DHT11 con Arduino

Para los sensores DHT11 se debe de tener en cuenta que para su conexión necesita una resistencia de entre 4.7 Kohmios y 10 Kohmios, además que se debe incluir la librería de adafruit. este componente utiliza un sensor capacitivo de humeado y un termistor para medir el aire circulante en un solo pin de datos. Para la lectura de este sensor se utilizó como código base el que viene incluido en el software Arduino (Ver ANEXO A), para ahorrar tiempo en el testeo de datos de una forma más simple, la conexión al Arduino se la realizó como se muestra en la **Ilustración 9-3**.



**Ilustración 9-3:** Conexión del sensor DHT11 a los diferentes pines del Arduino

Realizado por: Chica J., Vinueza M, 2022

### 3.6.2.3 Adquisición y guardado de los datos a través de un módulo microSD

El módulo SD se usó en la recolección y almacenamiento de datos de temperatura de los sensores DS18B20 y humedad relativa de los sensores DHT11, para lo cual, fue necesario implementar las conexiones en el Arduino Mega debido a que éste tiene más pines digitales de lectura de datos. En su conexión se debe de tomar en cuenta en qué pines conectar, para su correcto funcionamiento esto se lo muestra en la **Tabla 7-3**.

**Tabla 7-3:** Pines de conexión del módulo microSD para los distintos Arduino

Módulo SD	Arduino Uno, Nano	Arduino Mega
<b>GND</b>	GND	GND
<b>+3,3V</b>	No conectado	No conectado
<b>+5V</b>	5V	5V
<b>CS</b>	4	4
<b>MOSI</b>	11	51
<b>SCK</b>	13	52
<b>MISO</b>	12	50

Fuente: (Naylamp, 2021)

Realizado por: Chica J., Vinueza M., 2022

La comunicación de la memoria SD es por SPI, pero estos trabajan con 3.3V, mientras que para utilizarlo en el Arduino se necesitó de módulos externos debido a que estos aparte de constar con el socket, traen componentes necesarios para adaptar los voltajes a TTL y poder conectar con el Arduino. El software Arduino IDE incluye una librería denominada SD para que pueda correr con normalidad, la utilización de la librería y el código correspondiente en anexos, (Ver **ANEXO A**).

### 3.6.2.4 Vehículos de prueba

La selección de los vehículos de prueba según la población y muestra fueron los vehículos tipo SUV de las siguientes marcas y modelos; Renault Duster y Kia Sportage Active en diferentes colores, los cuales nos ayudaron a realizar las distintas pruebas planteadas para los escenarios experimentales. Además, para el cálculo de la demanda térmica del sistema de aire acondicionado fue necesario obtener las especificaciones técnicas, características geométricas y los materiales de la cabina de estos vehículos.

#### 3.6.2.4.1 Características del vehículo

El siguiente vehículo tipo SUV del fabricante Renault y modelo Duster, fue usado para realizar la campaña experimental planificada en la ciudad de Riobamba de la región Sierra del Ecuador. En la **Tabla 8-3** se muestra lo más importante de la ficha técnica del vehículo.

**Tabla 8-3:** Especificaciones técnicas del vehículo Renault Duster

<b>Ficha técnica Renault Duster</b>					
<b>Cilindraje</b>	2.0	<b>Peso del vehículo</b>	1 763 kg	<b>Número de puertas</b>	5
<b>Tracción</b>	4*4	<b>Largo</b>	4 341 mm	<b>Número de asientos</b>	5
<b>Potencia máxima</b>	114 HP/5 500 rpm	<b>Ancho</b>	1 832 mm	<b>Fabricante</b>	Renault
<b>Torque máximo</b>	156 Nm/4 700 rpm	<b>Alto</b>	1 693 mm	<b>Modelo</b>	Duster
<b>Caja de velocidad</b>	Manual de 5 velocidades más reversa	<b>Distancia entre ejes</b>	2 674 mm	<b>Año de fabricación</b>	2015
<b>Sistema A/C</b>	A/C manual	<b>Altura del piso</b>	209 mm	<b>Chasis</b>	SUV

Realizado por: Chica J., Vinuesa M., 2022

En el caso de la región Costa del Ecuador en la ciudad de Santo Domingo se usó el siguiente vehículo tipo SUV del fabricante Kia y modelo Sportage Active para culminar con la campaña experimental planificada. En la **Tabla 9-3** se muestra lo más importante de la ficha técnica del vehículo.

**Tabla 9-3:** Especificaciones técnicas del vehículo Kia Sportage Active

<b>Ficha técnica Kia Sportage Active</b>					
Cilindraje	2.0	<b>Peso del vehículo</b>	1 460 kg	<b>Numero de puertas</b>	5
Tracción	4*2	<b>Largo</b>	4 350 mm	<b>Número de asientos</b>	5
Potencia máxima	140 HP/6 000 rpm	<b>Ancho</b>	1 800 mm	<b>Fabricante</b>	Kia
Torque máximo	184 Nm/4 500 rpm	<b>Alto</b>	1 695 mm	<b>Modelo</b>	Sportage Active
Caja de velocidad	Manual de 5 velocidades más reversa	<b>Distancia entre ejes</b>	2 630 mm	<b>Año de fabricación</b>	2015
Sistema A/C	A/C manual	<b>Altura del piso</b>	172 mm	<b>Chasis</b>	SUV

Realizado por: Chica J., Vinueza M., 2022

### 3.6.2.5 Condiciones ambientales en las ciudades de prueba

Teniendo en cuenta que la campaña experimental sucede en dos regiones del Ecuador, se han tomado como ciudades de prueba para la región Costa, la ciudad de Santo Domingo de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, mientras que para la región Sierra se consideró la ciudad de Riobamba de la provincia del Chimborazo, estas ciudades tienen diferencias importantes tanto en su situación geográfica como climática, por lo tanto, para el estudio de este trabajo de investigación es de mucha importancia saber el comportamiento de las temperaturas al interior de los vehículos debido a la incidencia de la radiación solar, permitiendo obtener datos para poder compararlos. Para lo cual, se ha establecido una tabla comparativa con las características geográficas y climatológicas de estas dos ciudades mostrada en la **Tabla 10-3**.

**Tabla 10-3:** Características geográficas y climatológicas de las ciudades de Santo Domingo y Riobamba

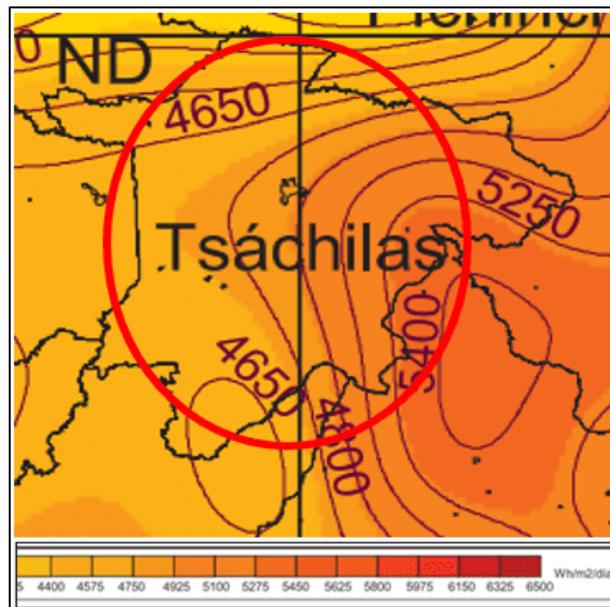
<b>Características geográficas y climatológicas</b>		
<b>Ciudades</b>	Santo Domingo	Riobamba
<b>Región</b>	Costa	Sierra
<b>Altitud</b>	550 msnm	2 750 msnm
<b>Clima</b>	Lluvioso tropical	Frío
<b>Temperatura máxima media anual (C)</b>	25,1	19
<b>Temperatura mínima media anual (C)</b>	20	7
<b>Horas de sol</b>	1 111,9	65,6
<b>Humedad relativa anual (%)</b>	87,3	84,9

Fuente: (Climate Data, s.f.)

Realizado por: Chica J., Vinueza M., 2022

El clima en la ciudad de Santo Domingo se lo considera de transición debido a que comprende el clima lluvioso y el monzónico, se caracteriza por sus altas temperaturas en el mes de abril con

temperatura promedio de 22,7 C y la más fría en el mes de junio con una temperatura promedio de 21,8 C. En la actualidad estos valores han cambiado debido al cambio climático es por ello que, se ha evidenciado temperaturas superiores a los 23°C y menores a los 20°C en los últimos años, esto también se ha visto reflejado en la radiación solar donde en los últimos años ha ido aumentando, por lo que, provoca mayores temperaturas al interior de los vehículos, en la **Ilustración 10-3** se evidencia el comportamiento de la insolación global del mes de diciembre del año 2008 en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas con valores comprendidos entre 4650-4800 Wh/m<sup>2</sup> al día.



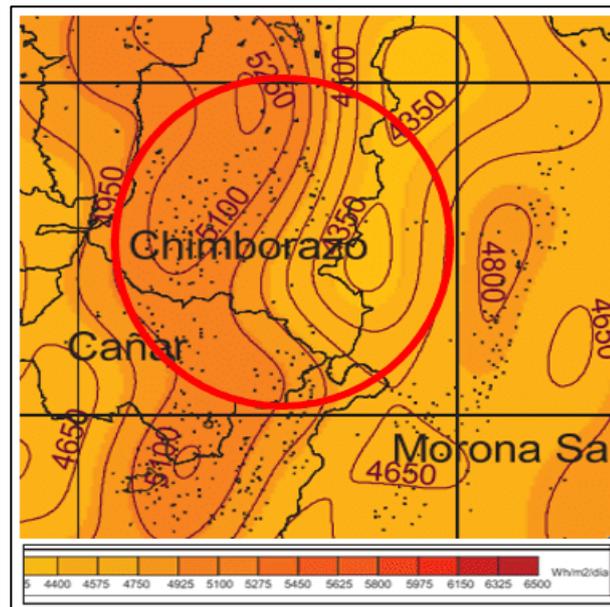
**Ilustración 10-3:** Insolación global del mes de diciembre de 2008 de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas

Fuente: (CIE, 2008)

El clima en la ciudad de Riobamba por lo general es frío comprendiendo dos estaciones como son la estación húmeda y la estación seca, debido a que se encuentra rodeada de volcanes y nevados, la ciudad recibe un afluente de vientos desde la cordillera generando la sensación térmica de frío, sin embargo, en ciertos meses del año la temperatura puede alcanzar hasta los 28°C.

En la actualidad estos valores han cambiado por motivo de los cambios climáticos es por ello que se ha evidenciado temperaturas superiores a los 20°C y menores a los 8°C en los últimos años, esto también se ha visto reflejado en la radiación solar donde en los últimos años ha ido aumentando, por lo que, provoca mayores temperaturas al interior de los vehículos, en la **Ilustración 11-3** se evidencia el comportamiento de la insolación global del mes de diciembre del

año 2008 en la provincia de Chimborazo con valores comprendidos entre 5275-5450 Wh/m<sup>2</sup> al día.



**Ilustración 11-3:** Insolución global del mes de diciembre de 2008 de la provincia de Chimborazo

Fuente: (CIE, 2008)

### 3.6.3 Evaluación del campo experimental

Al tener en cuenta el tercer objetivo específico expuesto en este trabajo de investigación, se evaluó de manera experimental la influencia de la orientación del vehículo, color del vehículo, apertura de ventanas y el uso del sistema de aire acondicionado sobre el calentamiento de vehículos tipo SUV. Se planteó una serie de escenarios experimentales, sobre los cuales nos ayudaron a distinguir cada uno de los parámetros estudiados y analizar su comportamiento.

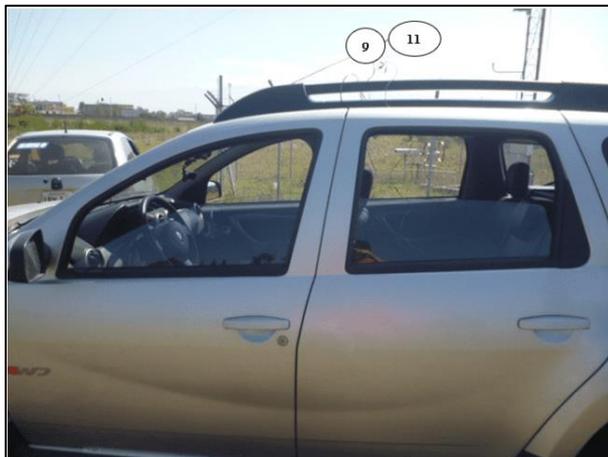
#### 3.6.3.1 Escenarios experimentales

Para realizar estas experimentaciones se utilizaron sensores de temperatura y humedad que fueron colocados en diferentes puntos al interior y exterior del vehículo como se muestra en la **Ilustración 12-3** y en la **Ilustración 13-3**, donde cada uno de estos sensores estará conectado al Arduino mega que será el encargado de solicitar información a cada sensor y también de almacenar datos controlados por un módulo SD que fueron explicados en el apartado **3.6.2** de adquisición de datos.



**Ilustración 12-3:** Ubicación de los sensores DS18B20 y DHT11 al interior del vehículo

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2022



**Ilustración 13-3:** Ubicación de sensores DS18B20 y DHT11 en el exterior del vehículo

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2022

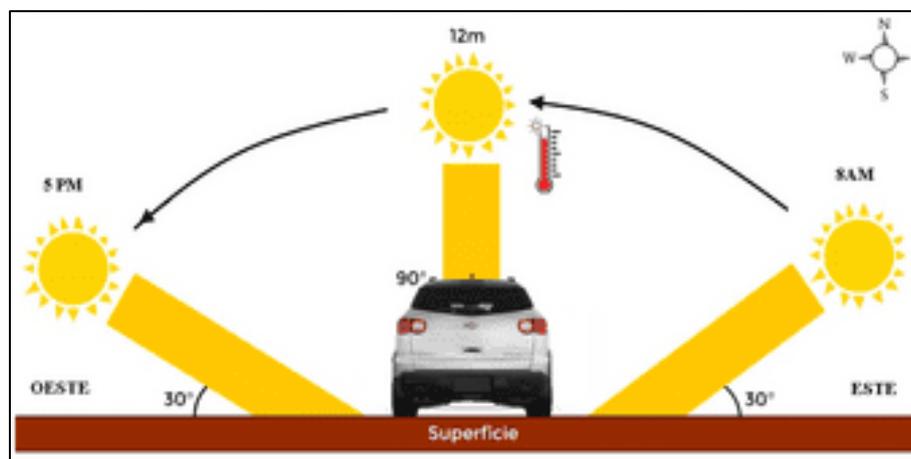
En donde:

- 1= Sensor de temperatura DS18B20, asiento del conductor
- 2= Sensor de temperatura DS18B20, asiento del copiloto
- 3= Sensor de temperatura DS18B20, cabecera del conductor
- 4= Sensor de temperatura DS18B20, cabecera del copiloto
- 5= Sensor de temperatura DS18B20, asientos posteriores
- 6= Sensor de temperatura DS18B20, ventana
- 7= Sensor de temperatura DS18B20, parabrisas posterior
- 8= Sensor de temperatura DS18B20, parabrisas delantero
- 9= Sensor de temperatura DS18B20, ambiente
- 10= Sensor de humedad relativa y temperatura DHT11, interior del vehículo

- 11= Sensor e humedad relativa y temperatura DHT11, exterior del vehículo

### 3.6.3.2 Escenario 1: Vehículos estacionados en el exterior con dirección Norte de diferente color

En esta experimentación se utilizó dos vehículos de igual modelo, pero diferente color, uno de color claro y el otro de color oscuro en donde se los ubicó en dirección Norte como se muestra en la **Ilustración 14-3**, estos vehículos se encontraron expuestos al sol en el transcurso del día de 9 am a 5 pm para la ciudad de Riobamba y de 10 am a 5 pm para la ciudad de Santo Domingo con el objetivo de estudiar el comportamiento de sus temperaturas internas.



**Ilustración 14-3:** Orientación del vehículo hacia el Norte  
Realizado por: Chica J., Vinuesa M. 2022

Para este escenario se implementó el uso de sensores de temperatura y humedad relativa que fueron colocados al interior de los vehículos en diferentes ubicaciones como: los asientos, cabeceras, parabrisas y ventanas, con el objetivo de analizar el comportamiento del ascenso y descenso de temperaturas y su porcentaje de humedad. De esta manera se podrá realizar comparaciones y así saber cómo afectó la radiación solar en ambos vehículos para las regiones Sierra y Costa del Ecuador de las ciudades de prueba.

Los datos de radiación solar de la ciudad de Riobamba fueron proporcionados por la estación meteorológica ESPOCH, mientras que en la ciudad de Santo Domingo se adquirió de forma manual a través del equipo SM-206 SOLAR que fue ubicado junto al vehículo para la toma de datos por cada minuto transcurrido, **VER ANEXO B**. En la **Tabla 11-3** se detalla las condiciones, instrumentos y objetivos para poder realizar los ensayos para ambas regiones de este primer escenario. Por último, este escenario ayudó analizar el estudio del vehículo de color claro ubicado

en dirección Norte con las ventanas cerradas en ambas ciudades para poder cumplir los objetivos de la investigación.

**Tabla 11-3:** Especificaciones de los ensayos que intervienen dos vehículos de diferente color

	<b>Ensayo en la región Sierra</b>	<b>Ensayo en la región Costa</b>
<b>Objetivos del experimento</b>	Comparar temperaturas internas del vehículo de color claro. Comparar humedades relativas con temperaturas promedios de ambos vehículos. Comparar radiación solar con temperaturas promedios de ambos vehículos y ambiente.	Comparar temperaturas internas del vehículo de color claro. Comparar humedades relativas con temperaturas promedios de ambos vehículos. Comparar radiación solar con temperaturas promedios de ambos vehículos y ambiente.
<b>Número de vehículos</b>	2	2
<b>Tipo de vehículo</b>	Renault	Kia
<b>Color de vehículo</b>	Plateado y gris oscuro	Plateado y negro
<b>Ubicación del vehículo</b>	Riobamba	Santo Domingo
<b>Orientación del vehículo</b>	Norte	Norte
<b>Horas de prueba</b>	8h	7h
<b>Instrumentos</b>	Sensores DS18B20 Sensores DHT11 Piranómetro SR11-Hukseflux Arduino mega	Sensores DS18B20 Sensores DHT11 Piranómetro SM206-SOLAR Arduino mega
<b>Variables medidas</b>	Radiación solar Temperatura interior vehículo Temperatura exterior ambiente Humedad relativa interior vehículo Humedad relativa exterior ambiente	Radiación solar Temperatura interior vehículo Temperatura exterior ambiente Humedad relativa interior vehículo Humedad relativa exterior ambiente
<b>Fecha</b>	28/01/2023	04/02/2023

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2022

### 3.6.3.3 *Escenario 2: vehículo estacionado en el exterior con dirección al Norte con todas las ventanas semi abiertas*

En este segundo escenario se consideró un solo vehículo con los mismos parámetros del **escenario 1** en la ciudad de Riobamba y la ciudad de Santo Domingo, con la diferencia de que el vehículo se encontraba con las ventanas semiabiertas en dirección Norte durante todo el transcurso del día a partir de las 8 am hasta las 5 pm y las 9 am hasta las 4 pm respectivamente. Esta experimentación se lo realizo con el fin de poder comparar temperaturas internas con uno de los vehículos del **escenario 1**, que tiene la misma orientación, ya que al encontrarse con las ventanas semi abiertas el calentamiento al interior del vehículo producido por la radiación solar y la temperatura

ambiente se reducirá. En la **Tabla 12-3** se detalla las condiciones, instrumentos y objetivos del siguiente escenario.

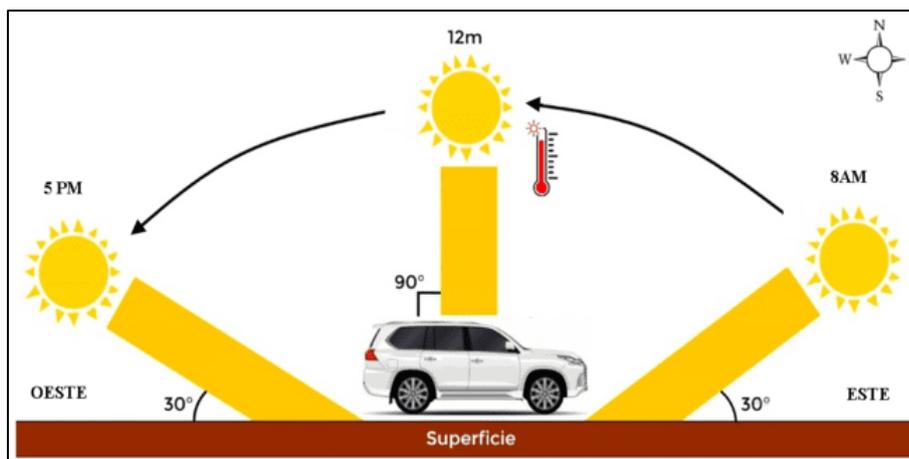
**Tabla 12-3:** Especificaciones de los ensayos que interviene un solo vehículo con ventanas semi abiertas con dirección Norte

	<b>Ensayo en la región Sierra</b>	<b>Ensayo en la región Costa</b>
<b>Objetivos del experimento</b>	Comparar temperaturas internas. Comparar humedad relativa con temperatura promedio. Comparar radiación solar con temperatura promedio del vehículo y ambiente.	Comparar temperaturas internas. Comparar humedad relativa con temperatura promedio. Comparar radiación solar con temperatura promedio del vehículo y ambiente.
<b>Número de vehículos</b>	1	1
<b>Tipo de vehículo</b>	Renault	Kia
<b>Color de vehículo</b>	Plateado	Plateado
<b>Ubicación del vehículo</b>	Riobamba	Santo Domingo
<b>Orientación del vehículo</b>	Norte	Norte
<b>Ventanas del vehículo</b>	Semi abiertas	Semi abiertas
<b>Horas de prueba</b>	9h	7h
<b>Instrumentos</b>	Sensores DS18B20 Sensores DHT11 Piranómetro SR11- Hukseflux Arduino mega	Sensores DS18B20 Sensores DHT11 Piranómetro SM206-SOLAR Arduino mega
<b>Variables medidas</b>	Radiación solar Temperatura interior vehículo Temperatura exterior ambiente Humedad relativa interior vehículo Humedad relativa exterior ambiente	Radiación solar Temperatura interior vehículo Temperatura exterior ambiente Humedad relativa interior vehículo Humedad relativa exterior ambiente
<b>Fecha</b>	28/12/2022	03/02/2023

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2022

#### 3.6.3.4 Escenario 3: Vehículo estacionado en el exterior con dirección al Este

En esta experimentación se utilizó un vehículo para la región Sierra en la ciudad de Riobamba con dirección Este durante todo el transcurso del día a partir de las 9 am hasta las 5 pm con el fin de demostrar que el cambio de orientación del vehículo como se muestra en la **Ilustración 15-3** tiene una importancia muy significativa según la salida y puesta del sol que se encarga de calentar con mayor rapidez ciertos puntos internos del vehículo.



**Ilustración 15-3:** Orientación del vehículo hacia el Este  
 Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2022

Este escenario servirá para compararlo con el **escenario 1**, con uno de los dos vehículos que estuvieron en dirección Norte del mismo color, para analizar el comportamiento de la temperatura interna de ambos vehículos, en la **Tabla 13-3** se detalla las condiciones, instrumentos y objetivos.

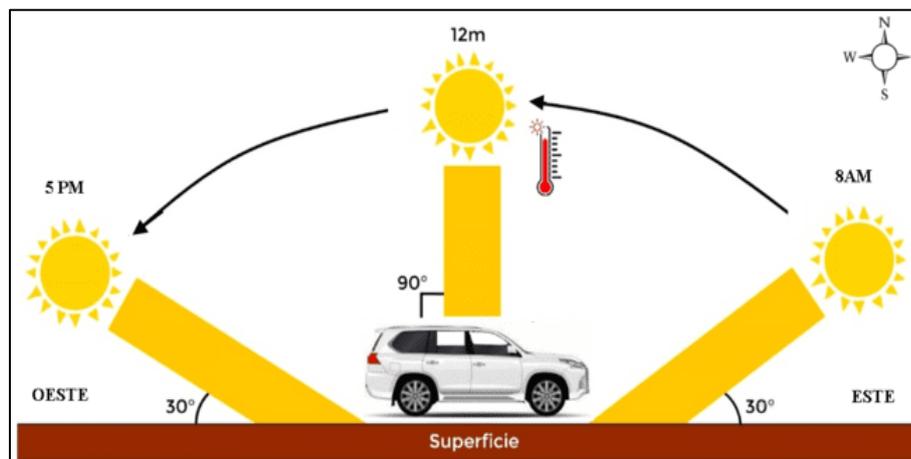
**Tabla 13-3:** Especificaciones del ensayo que interviene un solo vehículo con dirección Este  
**Ensayo en la región Sierra**

<b>Objetivos del experimento</b>	Comparar temperaturas internas. Comparar humedad relativa con temperatura promedio. Comparar radiación solar con temperatura promedio del vehículo y ambiente.
<b>Número de vehículos</b>	1
<b>Tipo de vehículo</b>	Renault
<b>Color de vehículo</b>	Plateado
<b>Ubicación del vehículo</b>	Riobamba
<b>Orientación del vehículo</b>	Este
<b>Horas de prueba</b>	8h
<b>Instrumentos</b>	Sensores DS18B20 Sensores DHT11 Piranómetro SR11-Hukseflux Arduino mega
<b>VARIABLES MEDIDAS</b>	Radiación solar Temperatura interior vehículo Temperatura exterior ambiente Humedad relativa interior vehículo Humedad relativa exterior ambiente
<b>Fecha</b>	22/12/2022

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2022

3.6.3.5 *Escenario 4: Vehículo estacionado en el exterior con dirección al Este con todas las ventanas semi abiertas*

De la misma manera que el **escenario 3**, solo se usó un vehículo en dirección Este para la ciudad de Riobamba, con la diferencia de que estuvo con las ventanas semi abiertas ubicado a la intemperie durante todo el transcurso del día a partir de las 9 am hasta las 5 pm, para poder comparar el comportamiento de sus temperaturas internas con el anterior escenario, como se muestra en la **Ilustración 16-3**.



**Ilustración 16-3:** Orientación del vehículo hacia el Este con ventanas semi abiertas  
Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2022

En la **Tabla 14-3** se detalla las condiciones, instrumentos y objetivos que se realizó de este escenario para poder compararlas con todos los escenarios que involucren orientación y ventanas semi abiertas.

**Tabla 14-3:** Especificaciones del ensayo que intervine un solo vehículo con ventanas semi abiertas con dirección Este

Ensayo en la región Sierra	
<b>Objetivos del experimento</b>	Comparar temperaturas internas. Comparar humedad relativa con temperatura promedio. Comparar radiación solar con temperatura promedio del vehículo y ambiente.
<b>Número de vehículos</b>	1
<b>Tipo de vehículo</b>	Renault
<b>Color de vehículo</b>	Plateado
<b>Ubicación del vehículo</b>	Riobamba
<b>Orientación del vehículo</b>	Este
<b>Ventanas del vehículo</b>	Semi abiertas
<b>Horas de prueba</b>	8h

<b>Instrumentos</b>	Sensores DS18B20 Sensores DHT11 Piranómetro SR11-Hukseflux Arduino mega
<b>VARIABLES MEDIDAS</b>	Radiación solar Temperatura interior vehículo Temperatura exterior ambiente Humedad relativa interior vehículo Humedad relativa exterior ambiente
<b>Fecha</b>	23/12/2022

Realizado por: Chica J., Vinuesa M. 2022

### 3.6.3.6 Escenario 5: Vehículos estacionados en el exterior con el uso del aire acondicionado al 50% y 100% en modo aire fresco

El siguiente escenario se usó un vehículo en dirección Este para las ciudades de Riobamba y Santo Domingo con el fin de poder evaluar el comportamiento del aire al interior del vehículo y verificar el tiempo de calentamiento y enfriamiento. Con la ayuda de la radiación solar y la temperatura ambiente se calentó el vehículo hasta su máxima temperatura de 40°C para después poder enfriarlo con el aire acondicionado hasta su temperatura de confort de 22°C, teniendo una duración de 1h con 30 min en la ciudad de Riobamba y una duración de 2h en la ciudad de Santo Domingo en la modalidad aire fresco.

**Tabla 15-3:** Especificaciones de los ensayos que interviene un solo vehículo con el A/C en modo aire fresco

	<b>Ensayo en la región Sierra</b>	<b>Ensayo en la región Costa</b>
<b>Objetivos del experimento</b>	Obtener temperatura interna del vehículo. Obtener temperatura y velocidad del aire acondicionado que sale por la rejilla central. Analizar el comportamiento del calentamiento y enfriamiento del aire en la cabina.	Obtener temperatura interna del vehículo. Obtener temperatura y velocidad del aire acondicionado que sale por la rejilla central. Analizar el comportamiento del calentamiento y enfriamiento del aire en la cabina.
<b>Número de vehículos</b>	1	1
<b>Tipo de vehículo</b>	Renault	Kia
<b>Color de vehículo</b>	Plateado	Plateado
<b>Ubicación del vehículo</b>	Riobamba	Santo Domingo
<b>Orientación del vehículo</b>	Este	Este
<b>Sistema A/C del vehículo</b>	50% y 100% Aire fresco	50% y 100% Aire fresco
<b>Horas de prueba</b>	1 h y 30 min	2h
<b>Instrumentos</b>	Sensores DS18B20 Sensores DHT11 Piranómetro SR11-Hukseflux Anemómetro	Sensores DS18B20 Sensores DHT11 Piranómetro SM206-SOLAR Anemómetro

	Arduino mega	Arduino mega
<b>VARIABLES MEDIDAS</b>	Radiación solar Temperatura interior vehículo Temperatura exterior ambiente Humedad relativa interior vehículo Humedad relativa exterior ambiente Temperatura y velocidad del aire acondicionado que sale por la rejilla central	Radiación solar Temperatura interior vehículo Temperatura exterior ambiente Humedad relativa interior vehículo Humedad relativa exterior ambiente Temperatura y velocidad del aire acondicionado que sale por la rejilla central
<b>Fecha</b>	30/12/2022	05/02/2023

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2022

### 3.6.3.7 Escenario 6: Vehículos estacionados en el exterior con el uso del aire acondicionado al 50% y 100% en modo recirculación

De la misma manera que el escenario 5, se evaluó el calentamiento y enfriamiento del aire al interior del vehículo en el modo recirculación donde tuvo una duración de 1h para la ciudad de Riobamba y 1h 40 min para la ciudad de Santo Domingo.

**Tabla 16-3:** Especificaciones de los ensayos que interviene un solo vehículo con el A/C en modo recirculación

	Ensayo en la región Sierra	Ensayo en la región Costa
<b>Objetivos del experimento</b>	Obtener temperatura interna del vehículo. Obtener temperatura y velocidad del aire acondicionado que sale por la rejilla central. Analizar el comportamiento del calentamiento y enfriamiento del aire en la cabina.	Obtener temperatura interna del vehículo. Obtener temperatura y velocidad del aire acondicionado que sale por la rejilla central. Analizar el comportamiento del calentamiento y enfriamiento del aire en la cabina.
<b>Número de vehículos</b>	1	1
<b>Tipo de vehículo</b>	Renault	Kia
<b>Color de vehículo</b>	Plateado	Plateado
<b>Ubicación del vehículo</b>	Riobamba	Santo Domingo
<b>Orientación del vehículo</b>	Este	Este
<b>Sistema A/C del vehículo</b>	50% y 100% Recirculación	50% y 100% Recirculación
<b>Horas de prueba</b>	1 h	1h y 40 min
<b>Instrumentos</b>	Sensores DS18B20 Sensores DHT11 Piranómetro SR11-Hukseflux Anemómetro Arduino mega	Sensores DS18B20 Sensores DHT11 Piranómetro SM206-SOLAR Anemómetro Arduino mega

<b>VARIABLES MEDIDAS</b>	Radiación solar Temperatura interior vehículo Temperatura exterior ambiente Humedad relativa interior vehículo Humedad relativa exterior ambiente Temperatura y velocidad del aire acondicionado que sale por la rejilla central	Radiación solar Temperatura interior vehículo Temperatura exterior ambiente Humedad relativa interior vehículo Humedad relativa exterior ambiente Temperatura y velocidad del aire acondicionado que sale por la rejilla central
<b>Fecha</b>	30/12/2022	05/02/2023

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2022

### 3.6.4 *Demanda térmica del sistema de aire acondicionado*

Con el pasar de los años se han implementado diversos modelos matemáticos para determinar el calor que se produce al interior de la cabina del vehículo permitiendo tener una perspectiva del calor que se genera cuando un vehículo se encuentra en la intemperie expuesto a la radiación solar, todos estos modelos abarcan cargas térmicas consideradas en las superficies del vehículo, tomando en cuenta temperaturas internas y externas, humedad relativa, radiación solar, cargas metabólicas entre otras, obteniendo como resultado un calor excesivo en la cabina del vehículo.

Uno de los objetivos de este trabajo de investigación es determinar la demanda térmica del sistema de aire acondicionado, por lo que, se utilizó un modelo desarrollado por Vásconez (2019b), usando el software TRNSYS para el análisis de la demanda térmica del consumo del aire acondicionado, para ello se utiliza varios parámetros para su cálculo como: las temperaturas al interior del vehículo, la radiación solar, la humedad relativa, la geometría y los materiales de la cabina del vehículo; junto con ecuaciones que ayudan para el cálculo de esta demanda térmica. En la **Ilustración 17-3** se muestra que para el cálculo de la demanda térmica se dividió en dos zonas la cabina del vehículo para ver el comportamiento que se genera en su interior.



**Ilustración 17-3:** Zonas térmicas de las cabinas de los vehículos de prueba

Realizado por: Chica J., Vinuesa M. 2023

El cálculo de esta demanda térmica se la realizó en las dos ciudades de prueba por eso se tomó en cuenta la geometría de ambos vehículos utilizados en la campaña experimental, (ver ANEXO C). Cabe recalcar que para cada ciudad se usó un modelo diferente de vehículo, pero con aspectos similares, estos datos se detallan en la **Tabla 17-3**, en donde se describen las áreas, espesores y materiales tanto para superficies opacas como acristaladas del vehículo.

**Tabla 17-3:** Características geométricas de los vehículos de prueba

		Superficie	Zona 1 [m <sup>2</sup> ]	Zona 2 [m <sup>2</sup> ]	Espesor [m]
<b>Renault Duster 2015</b>	Superficies	Techo	0,66	1,74	-
		Suelo	1,74	2,45	-
		Derecha	0,96	1,56	-
		Izquierda	0,96	1,56	-
		Frontal	1,09	-	-
		Posterior	-	0,99	-
	Ventanas	Izquierda	0,31	0,44	0,002
		Derecha	0,31	0,44	0,002
		Frontal	1,03	-	0,005
		Posterior	-	0,54	0,003
<b>Kia Sportage Active 2015</b>	Superficies	Techo	0,85	1,15	-
		Suelo	1,61	2,12	-
		Derecha	1,26	1,90	-
		Izquierda	1,26	1,90	-
		Frontal	1,11	-	-
		Posterior	-	1,03	-
	V e	Derecha	0,32	0,54	0,002

	Izquierda	0,32	0,54	0,002
	Frontal	1,06	-	0,005
	Posterior	-	0,64	0,003

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2022

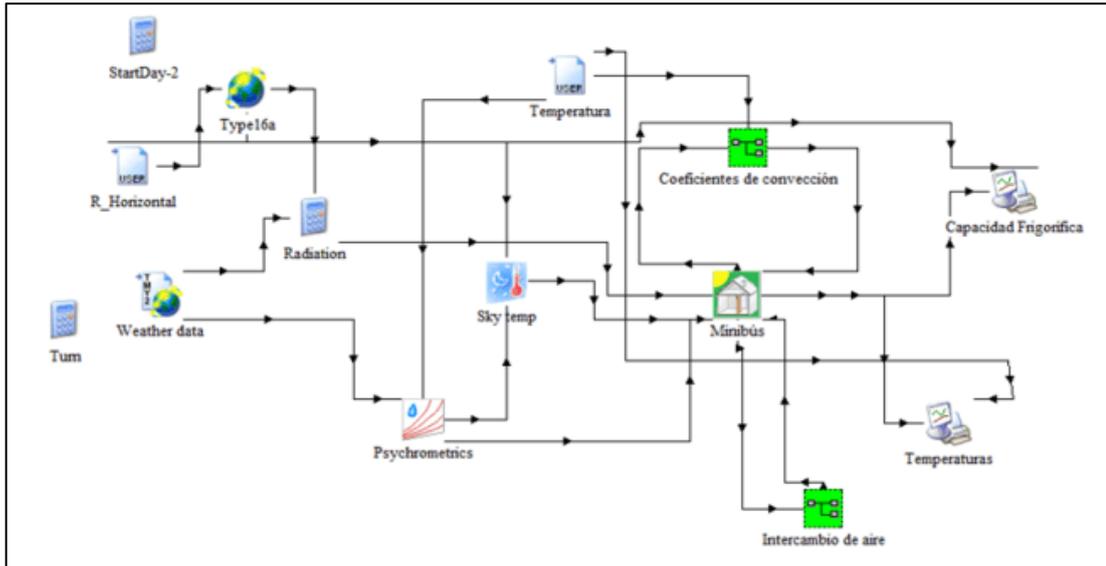
Con lo que compete al tipo de material de cada superficie se debe de tomar en cuenta su conductividad térmica, capacidad calorífica y densidad esto se muestra en la **Tabla 18-3**.

**Tabla 18-3:** Propiedades de las superficies del vehículo

Superficie	Materiales	Conductividad ( $W m^{-1}K^{-1}$ )	Capacidad calorífica ( $J kg^{-1}K^{-1}$ )	Densidad ( $kg m^{-3}$ )
<b>Externas</b>	Acero laminado	160	0,51	7 800
<b>Internas</b>	Poliuretano	0,08	1,47	35
	Cloruro de polivinilo	0,92	1,17	1 450

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2022

El modelo de TRNSYS consta de entradas y salidas en las cuales se toman en consideración datos de temperatura ambiente, humedad relativa y radiación solar, como se muestra en la **Ilustración 18-3**. En este modelo se adaptan varios Types, uno de ellos va a ser el Types16a el cual realiza el cálculo de la radiación solar que incide sobre las superficies de la cabina, tomando en cuenta los datos experimentales. Otro es el TMY2 que sirve para obtener los datos de humedad relativa y el ángulo de incidencia sobre una superficie horizontal, al tener dos zonas térmicas y sabiendo que no se tiene una superficie de forma física que las separe, el aire que se encuentre al interior de la cabina va a circular libremente por las dos zonas colocando coeficientes de transferencia de calor por convección para el cálculo de la demanda frigorífica del sistema de aire acondicionado.



**Ilustración 18-3:** Modelo desarrollado en TRNSYS para el cálculo de la demanda térmica  
**Realizado por:** Chica J., Vinueza M. 2023

TRNSYS dispone de una serie de ecuaciones fundamentales para el cálculo de la demanda térmica del sistema de aire acondicionado, una de las ecuaciones que nos va a servir es la de la demanda frigorífica en donde se debe de tener tres ganancias, la ganancia por conducción, convección y radiación, la ganancia por las infiltraciones y las ganancias internas. (Vásconez 2019b)

$$\dot{Q}_{c,demanda} = \dot{Q}_{sup} + \dot{Q}_{inf} + \dot{Q}_{g,c,i} \quad (5)$$

## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se mostrará un análisis de resultados de manera resumida de cada objetivo planteado, donde se tomarán en cuenta cada uno de los escenarios de experimentación para analizar el comportamiento de las temperaturas y humedades relativas que se producen al interior del vehículo por efecto de la radiación y temperatura ambiente. Con el fin de poder interpretar, comparar y validar los resultados entre estas dos regiones del Ecuador.

La campaña experimental fue desarrollada en diferentes días para poder cumplir cada escenario de experimentación ya que la disponibilidad de los vehículos y la situación climatológica de las ciudades de prueba fueron muy variables, se debe tomar en consideración que para las pruebas realizadas en la región Sierra y en la región Costa se utilizaron dos modelos diferentes de vehículos con dimensiones similares, para tener una comparación entre estas regiones; además, se utilizaron dos tipos de piranómetros diferentes para cada región, el SM206-SOLAR y SR11-Hukseflux por motivos de disponibilidad. Además, la toma de datos de radiación solar global es levemente diferente en las dos ciudades, en la ciudad de Riobamba los datos fueron proporcionados por la estación meteorología ESPOCH minuto a minuto con una alta precisión y en la ciudad de Santo Domingo se obtuvieron datos de forma manual cada minuto con un rango de error de +/- 5% del valor medido.

#### 4.1 Comportamiento térmico de un vehículo SUV en la ciudad de Riobamba

En este apartado se cumplió con los objetivos planteados para la región Sierra del Ecuador, donde se describe los resultados obtenidos de la campaña experimental, tomando en cuenta seis escenarios y mencionando variables como: el color, apertura de ventanas, orientación y uso del aire acondicionado del vehículo.

##### 4.1.1 *Escenario 1, vehículos de diferente color estacionados a la intemperie con dirección Norte y ventanas cerradas*

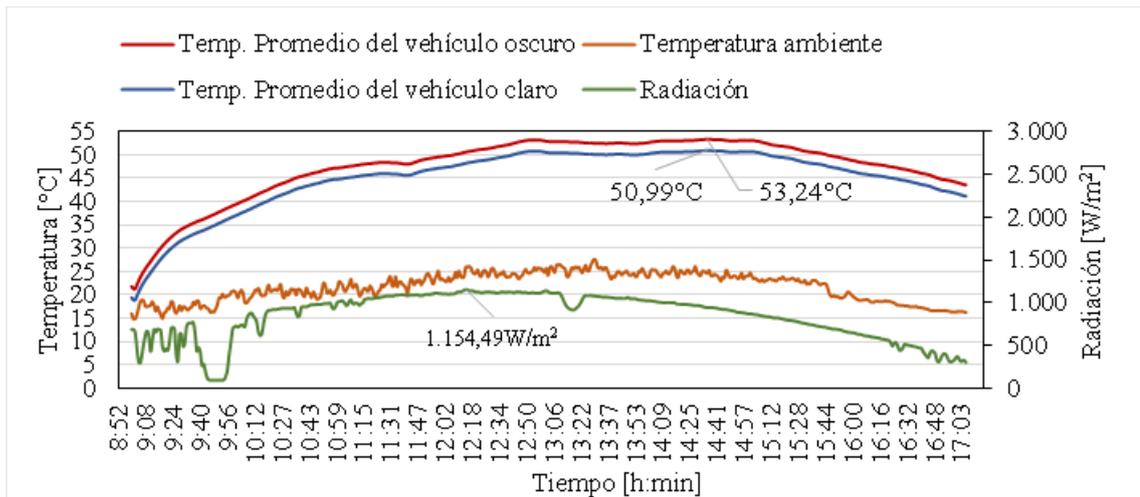
En este escenario se ensayaron los vehículos con las ventanas cerradas, como se observa en la **Ilustración 1-4**, los dos vehículos utilizados tienen la particularidad de que uno representa un color claro y el otro un color oscuro porque se pretende analizar el efecto de la emisividad de los

colores de las superficies en el calentamiento de los vehículos. Es importante detallar que el vehículo de color oscuro consta de películas de polarización en sus ventanas y parabrisas posterior (ver **ANEXO D**).



**Ilustración 1-4:** Orientación Norte de los vehículos con sus ventanas cerradas  
**Realizado por:** Chica J., Vinueza M. 2023

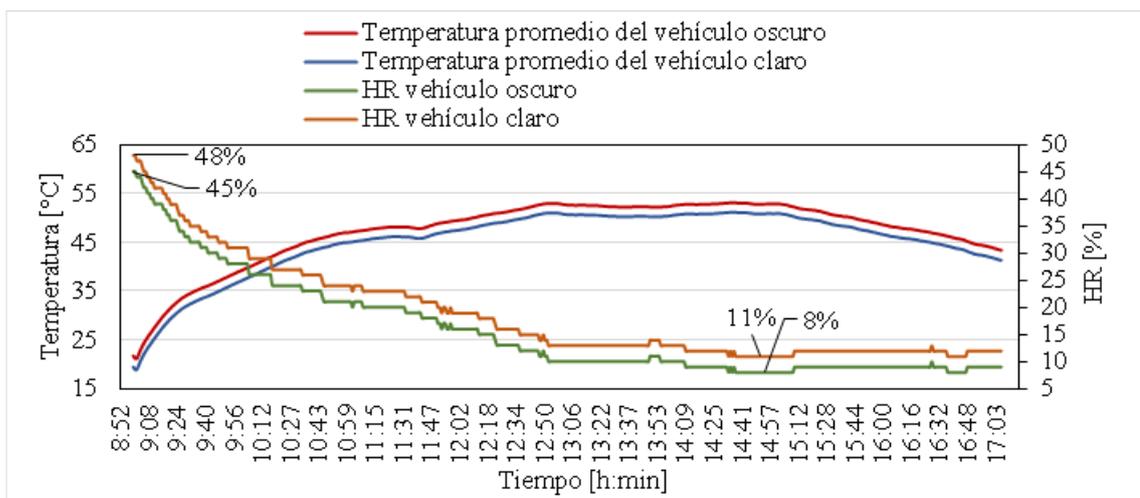
En la **Ilustración 2-4** se observa el promedio de temperaturas al interior de los vehículos teniendo una tendencia similar con el comportamiento de la radiación solar, pero con un retardo provocado por la inercia térmica de los materiales que componen las cabinas de los vehículos. La radiación máxima se registró a las 12:15 horas con un valor de  $1154,99 \text{ W/m}^2$ , como resultado se obtuvo una temperatura máxima al interior del vehículo oscuro de  $53,24^\circ\text{C}$  mientras que en el vehículo claro fue de  $50,99^\circ\text{C}$  esto se da a las 14:36 horas demostrando que existe un retardo de tiempo hasta calentar el vehículo por efecto de la inercia térmica; la diferencia de temperaturas entre los dos vehículos es de aproximadamente  $2,5^\circ\text{C}$  a pesar de que el vehículo oscuro tiene películas en sus ventanas. En ese día de prueba la temperatura ambiente se encontró en un rango de  $9^\circ\text{C}$  a  $24^\circ\text{C}$  según el INAMHI; tomando en cuenta que la máxima temperatura ambiente fue de  $24^\circ\text{C}$  y la del interior de los vehículos fue de  $50,99^\circ\text{C}$  y  $53,24^\circ\text{C}$  existe una diferencia entre  $27^\circ\text{C}$  y  $30^\circ\text{C}$  siendo más del doble de temperatura que existe entre la temperatura ambiente y las cabinas de los vehículos, esto se debe a que la radiación solar se mantuvo por más de una hora sobrepasando los  $1000 \text{ W/m}^2$ .



**Ilustración 2-4:** Temperaturas promedio y radiación global de los vehículos estacionados con dirección Norte y ventanas cerradas

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2023

En la **Ilustración 3-4** se observa la relación entre las temperaturas promedio del interior de los vehículos con la humedad relativa en su interior. Al encontrarse los vehículos con las ventanas cerradas se va a producir un efecto invernadero en su interior por lo que el aire se va a secar, provocando que la humedad relativa en el interior disminuya mientras que la temperatura aumenta. Al inicio, las mediciones de temperatura interior de los vehículos fueron de 19,44°C y 21,69°C para los vehículos claro y oscuro, por lo que se tiene una humedad relativa de 45% y 48%, respectivamente; al pasar las horas los vehículos se calientan hasta unas temperaturas máximas de 50,99°C y 53,24°C produciéndose una humedad relativa de 11% y 8%, respectivamente a las 14:36 horas. La humedad relativa baja considerablemente debido a que el aire se vuelve seco, y al no existir cargas metabólicas por ocupantes se obtienen porcentajes bajos de humedad relativa.

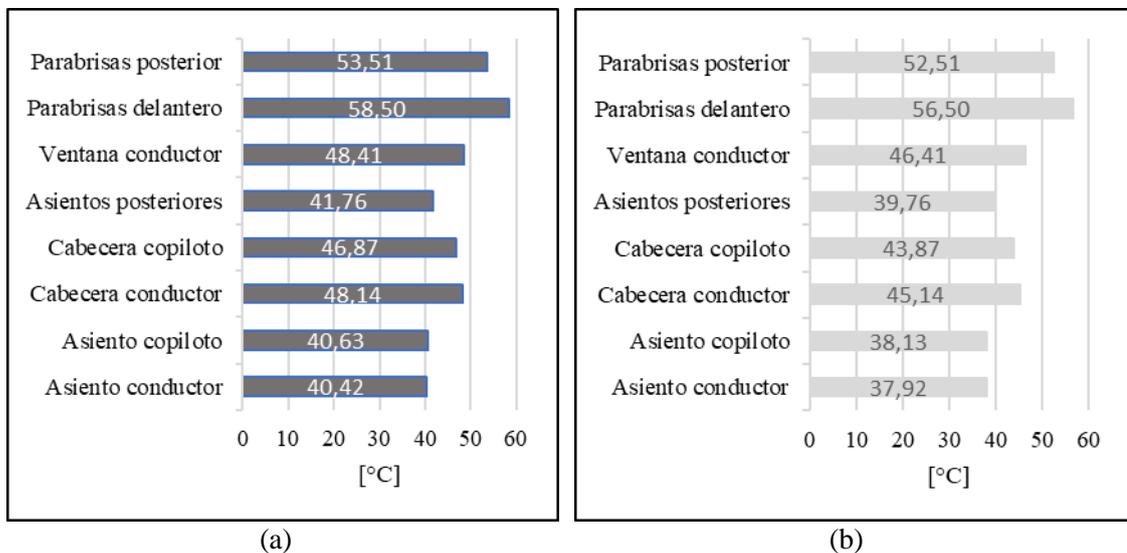


**Ilustración 3-4:** Humedades relativas al interior y temperaturas promedio de los vehículos

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2023

En la **Ilustración 4-4** se observa una comparación de todos los sensores al interior de los dos vehículos. En este escenario se tienen dos efectos, el primero es el color del vehículo, mientras más oscuro es el vehículo su absortividad es mayor, por lo que calienta más el interior que un vehículo claro. El segundo efecto son las películas polarizadas de las ventanas y parabrisas posterior. Un acristalamiento con película polarizada tiene menor transmisividad que un cristal claro, por lo que transmite menor radiación al interior del vehículo calentándolo menos.

Los resultados muestran que a pesar de que el vehículo oscuro tiene películas polarizadas en las ventanas y parabrisas posterior, las temperaturas en el interior de su cabina son superiores al del vehículo claro. Esto se debe a que los acristalamientos con película presentan una mayor absortividad, calentando en mayor medida el cristal, posteriormente, ese calor se transfiere por convección al interior del vehículo. En este contexto, las temperaturas del vehículo oscuro superan a las del claro entre 1°C a 3°C. Por ejemplo, los parabrisas delanteros de ambos vehículos no constan de películas polarizadas teniendo una diferencia de 2°C siendo mayor a la de los parabrisas posteriores con 1°C debido a que el vehículo oscuro se encuentra con el polarizado.



**Ilustración 4-4:** Promedio de los sensores de temperatura al interior de los vehículos. a) vehículo oscuro, b) vehículo claro.

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2023

#### 4.1.2 *Escenario 2, vehículo estacionado a la intemperie con dirección Norte y ventanas semiabiertas*

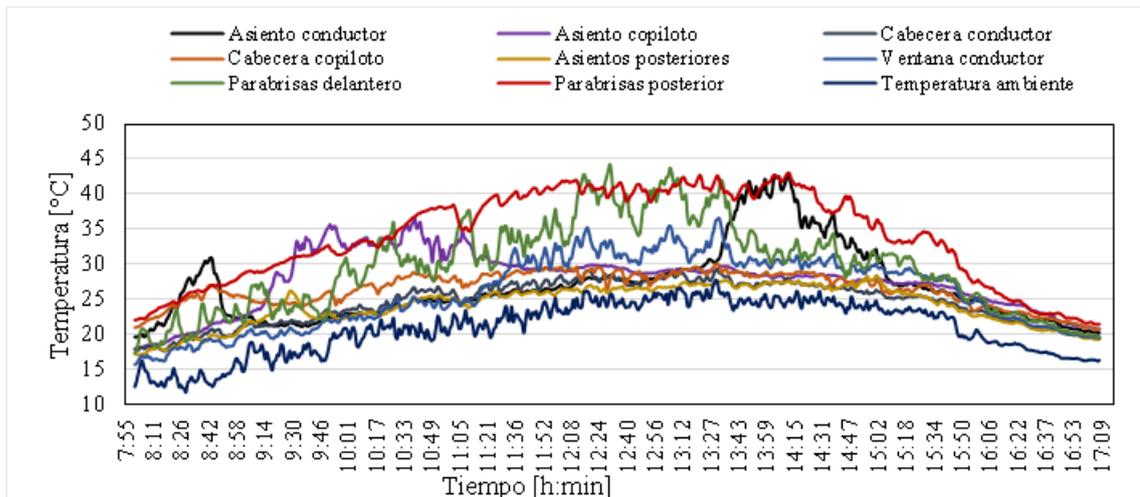
Este escenario se ensayó el vehículo de color claro con las ventanas semiabiertas, como se muestra en la **Ilustración 5-4**, para empezar con la prueba fue necesario ubicar todas sus ventanas aun 50% de apertura.



**Ilustración 5-4:** Orientación Norte del vehículo con sus ventanas semiabiertas

**Realizado por:** Chica J., Vinueza M. 2023

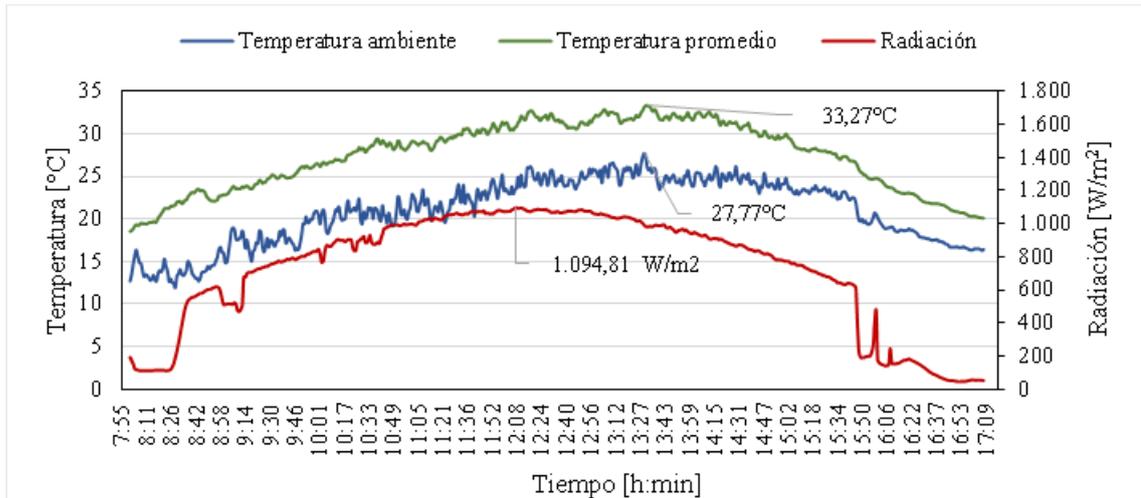
En la **Ilustración 6-4** se observar que la mayoría de los sensores al interior del vehículo sus temperaturas son similares a la temperatura ambiente, las curvas que tienen temperaturas más altas pertenecen a los sensores que se encuentran ubicados en zonas acristaladas, con temperaturas mayores de 40°C debido a su transmisividad. La temperatura máxima del asiento del copiloto ocurre a las 10:39 horas mientras que, el asiento del conductor su temperatura máxima se da a las 14:11 horas, esto se debe a la trayectoria del sol que cruza de Este a Oeste, calentando con mayor intensidad en horas de la mañana la parte derecha del vehículo y en horas de la tarde la parte izquierda. Por otro lado, la curva del parabrisas posterior al no encontrarse con ventilación su temperatura será mayor mientras que el resto de los sensores al estar expuesto a ventilación el aire que ingresa del exterior al interior del vehículo ocasiona que se disipe parte del calor con un comportamiento similar a la temperatura ambiente.



**Ilustración 6-4:** Temperaturas internas y ambiente del vehículo estacionado con dirección Norte y ventanas semiabiertas

Realizado por: Chica J., Vinuesa M. 2023

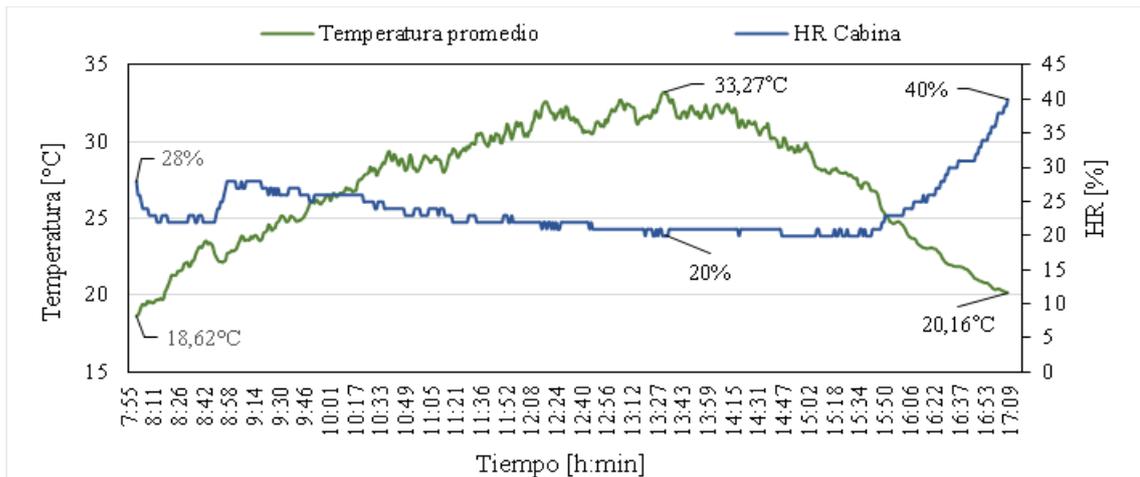
Después de analizar la temperatura de cada sensor al interior del vehículo, como se observa en la **Ilustración 7-4** se realizó un promedio de estas temperaturas para determinar el proceso de calentamiento y enfriamiento el cual tiene una tendencia similar al comportamiento de la radiación solar, pero con un retardo provocado por la inercia térmica de los materiales que componen la cabina del vehículo. La radiación máxima se registró a las 12:08 pm con un valor de  $1094,81 \text{ W/m}^2$ , como resultado se obtuvo una temperatura máxima al interior del vehículo de  $33,27^\circ\text{C}$  a la 13:32 pm, demostrando que existe un desfase de más de una hora, esto ocurre debido a las absorptividad y transmisividad de los materiales. La radiación máxima solo se produce en un instante y en consecuencia la temperatura al interior del vehículo no supera los  $33^\circ\text{C}$ . La fase de calentamiento inicia a las 8:00 horas ascendiendo hasta su punto más alto a las 13:32 horas teniendo una duración de 7 horas, a partir de ahí la curva empieza a descender llegando a una temperatura interior del vehículo de  $20,16^\circ\text{C}$ , siendo una temperatura aun mayor al ambiente.



**Ilustración 7-4:** Temperatura promedio y radiación global del vehículo estacionado con dirección Norte y ventanas semiabiertas

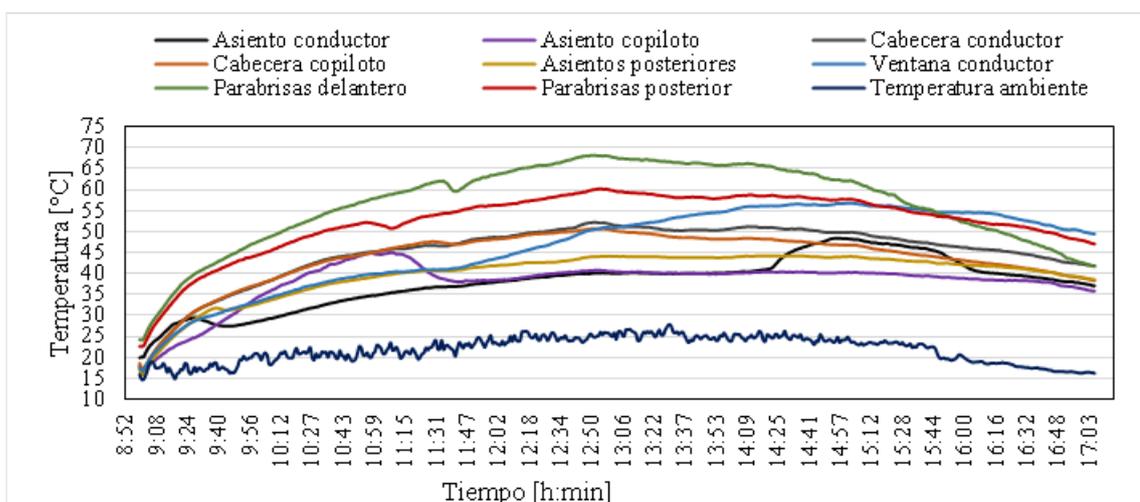
Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2023

En la **Ilustración 8-4** se observa la relación entre la temperatura promedio al interior del vehículo junto con la humedad relativa interior. Al encontrarse el vehículo con las ventanas semiabiertas se tiene una mezcla del aire interno con el aire externo ocasionando que exista mayor humedad al interior del vehículo y provocando que la humedad relativa en su interior no baje excesivamente mientras que la temperatura aumenta. Se observa que, al aumentar la temperatura la humedad relativa baja llegando a un punto en donde se mantiene constante; es por ello que al iniciar con las mediciones se tiene una temperatura al interior del vehículo de 18,68°C con una humedad relativa del 28%, al transcurrir las horas y calentarse la cabina del vehículo la temperatura máxima es de 33,27°C manteniendo una humedad relativa del 20% a las 13:32 horas, al culminar la toma de datos se muestra el descenso de temperatura y el aumento de humedad relativa en la cabina del vehículo llegando a una temperatura interior de 20,16°C y 40% de humedad relativa a las 17:08 horas.



**Ilustración 8-4:** Humedad relativa al interior y temperatura promedio del vehículo  
**Realizado por:** Chica J., Vinueza M. 2023

Al finalizar las experimentaciones del escenario 1 y 2 es importante conocer las diferencias que existen entre ventanas cerradas y ventanas semiabiertas. En la **Ilustración 9-4** se observa las temperaturas del vehículo claro con las ventanas cerradas, teniendo temperaturas superiores al vehículo con ventanas semiabiertas y sin presencia de picos, esto se debe a que no existe infiltraciones de aire al interior del vehículo. Una diferencia muy notoria se observa en el parabrisas delantero en donde la temperatura máxima del vehículo con las ventanas cerradas es de 68,06°C mientras que en la del vehículo con las ventanas semiabiertas es de 44,19°C, esto se debe al ingreso de aire frío desde el exterior hacia el interior del vehículo permitiendo que se disipe el calor con mayor rapidez y ocasionando que no se produzcan temperaturas muy elevadas, teniendo una diferencia de aproximadamente 24°C entre estos dos escenarios.



**Ilustración 9-4:** Temperaturas internas y ambiente del vehículo estacionado con dirección Norte y ventanas cerradas  
**Realizado por:** Chica J., Vinueza M. 2023

#### 4.1.3 *Escenario 3, vehículo estacionado a la intemperie con dirección Este y ventanas cerradas*

En este escenario se ensayó el vehículo de color claro con las ventanas cerradas, cómo se observa en la **Ilustración 10-4**, al estar ubicado el vehículo en esta dirección la trayectoria del sol será del parabrisas frontal hacia el parabrisas posterior provocando que la parte izquierda del vehículo no reciba radiación de forma directa.



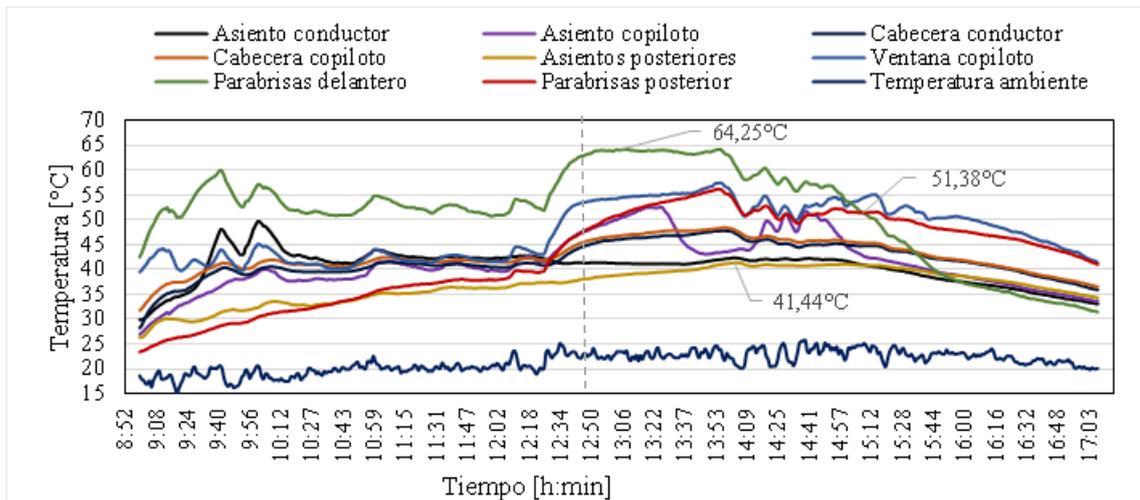
**Ilustración 10-4:** Orientación Este del vehículo con sus ventanas cerradas

**Realizado por:** Chica J., Vinueza M. 2023

La **Ilustración 11-4** muestra un comportamiento similar en todas las curvas hasta las 12:25 horas excepto la del asiento y parabrisas posteriores ya que no tienen radiación directa, a partir de esta hora la curva de tendencia de cada una de las ubicaciones toma una trayectoria única. La temperatura máxima se encuentra en el parabrisas delantero con  $64,25^{\circ}\text{C}$  ya que está expuesto al sol en casi todo su trayecto al contrario del asiento posterior que no tuvo contacto directo con la radiación solar teniendo una curva sin oscilaciones con el valor más alto de temperatura de  $41,44^{\circ}\text{C}$ , existiendo una máxima desviación entre estas dos curvas de  $22,81^{\circ}\text{C}$ .

Como la orientación del vehículo se encuentra apuntando hacia el Este, se observa que la temperatura del parabrisas delantero es mayor a la temperatura del parabrisas posterior hasta las 15:09 horas, a partir de esta hora la temperatura del parabrisas delantero empieza a disminuir y aumenta la temperatura del parabrisas posterior debido a que el sol se oculta por el Oeste y afecta directamente la radiación. También, se observa que las curvas de la cabecera del conductor y copiloto tienen una misma tendencia con leves oscilaciones a lo largo de su trayecto, tanto en la fase de calentamiento como la fase de enfriamiento debido que se encuentran expuestas al sol sin sombra alguna.

Por último, las temperaturas de los asientos del conductor y copiloto tienen una tendencia similar hasta medio día, a partir ahí la temperatura del asiento del conductor es constante hasta su enfriamiento y la temperatura del asiento del copiloto tiene leves oscilaciones al igual que su ventana siendo afectados por la radiación directa del sol.



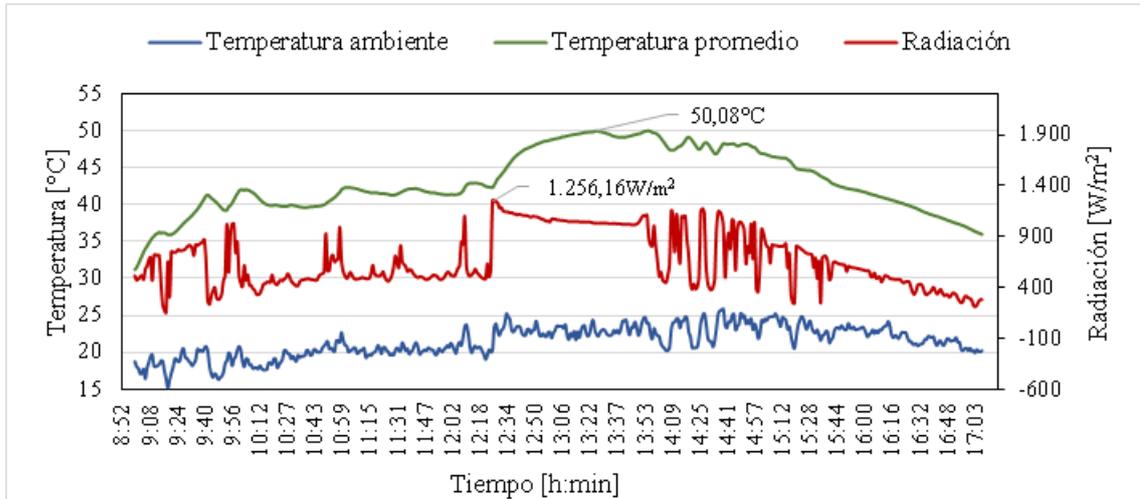
**Ilustración 11-4:** Temperaturas internas y ambiente del vehículo estacionado con dirección Este y ventanas cerradas

Realizado por: Chica J., Vinuesa M. 2023

Una vez analizado las temperaturas internas de cada sensor, en la **Ilustración 12-4** se realizó un promedio de estas temperaturas para analizar el proceso de calentamiento y enfriamiento el cual resulto con una tendencia similar a los picos de radiación solar y temperatura ambiente, pero con un retardo provocado por el impacto de la inercia térmica de los materiales que componen la cabina del vehículo. Estas curvas de radiación y temperatura ambiente muestran un comportamiento no uniforme, ya que presenta caídas súbitas debido al ambiente nublado, pero comparten similitud entre sus picos con mínimo desfase.

La radiación máxima se registró a las 12:26 pm con un valor de  $1256,16 \text{ W/m}^2$ , como resultado se obtuvo una temperatura máxima al interior del vehículo de  $50,08^\circ\text{C}$  a las 13:26 pm, demostrando que existe desfase de una hora. Se evidencia que las propiedades de los cuerpos solidos de absorber, almacenar y ceder calor a través de estas superficies opacas y acristaladas causan un efecto de retardo en el calentamiento de la cabina del vehículo. Por lo tanto, la masa, el calor específico y el coeficiente de conductividad térmica de los materiales tendrán un efecto significativo en el calentamiento de la cabina del vehículo. A partir de las 9:00 horas con menos de  $35^\circ\text{C}$ , la curva de calentamiento de la temperatura interna subió hasta los  $40^\circ\text{C}$  en los primeros 38 min hasta llegar a su punto máximo con  $50,08^\circ\text{C}$ , después empezó la curva de enfriamiento

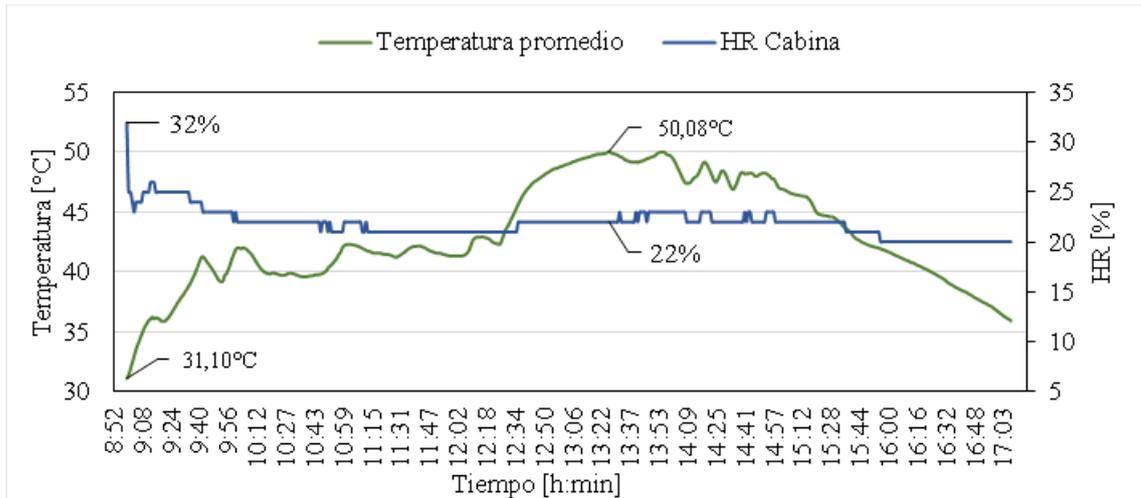
con un descenso prolongado por efecto de las caídas súbitas de radiación y temperatura ambiente llegando a su final con 36,81°C a las 17:00 horas tiempo en el que se terminó la toma de datos. En las primeras 3 horas la radiación no supera 1000 W/m<sup>2</sup> y la temperatura mantiene un rango de 40°C a 45 °C, después la radiación mantiene valores mayores a 1000 W/m<sup>2</sup> con temperaturas superiores a los 45°C durante 3 horas seguidas siendo directamente proporcional la radiación a la temperatura.



**Ilustración 12-4:** Temperatura promedio y radiación global del vehículo estacionado con dirección Este y ventanas cerradas

**Realizado por:** Chica J., Vinueza M. 2023

En la **Ilustración 13-4** se observa el comportamiento de la humedad relativa y a su vez la temperatura promedio al interior del vehículo. Al subir la temperatura interna del vehículo con ventanas cerradas el aire en su interior se vuelve seco, mostrando un valor de 32% de humedad relativa a una temperatura interior de 31,10°C al inicio de la experimentación, mientras va aumentando la temperatura de la cabina del vehículo la humedad relativa va disminuyendo, es así como al llegar a una temperatura máxima de 50,08°C se tiene 22% de humedad relativa siendo el aire cada vez más seco que al inicio de la prueba, constatando que el calentamiento de la cabina del vehículo la cantidad de agua en el aire va a disminuir.



**Ilustración 13-4:** Humedad relativa al interior y temperatura promedio del vehículo  
 Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2023

#### 4.1.4 Escenario 4, vehículo estacionado a la intemperie con dirección Este y ventanas semiabiertas

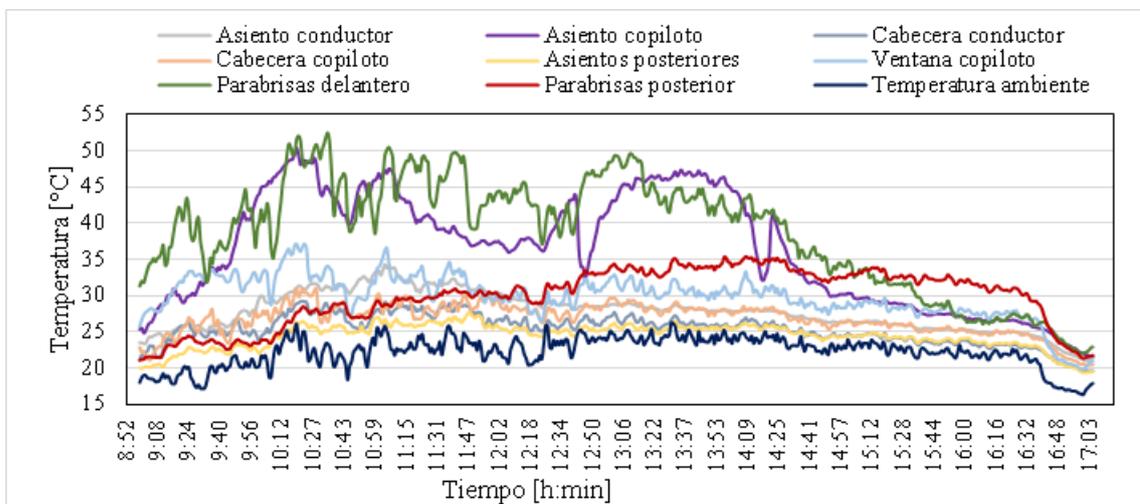
Este escenario se ensayó el vehículo de color claro con las ventanas semiabiertas, como se observa en la **Ilustración 14-4**, al inicio de la prueba fue necesario ubicar todas sus ventanas a un 50% de apertura, también se debe de tomar en cuenta que el día en que se realizó esta prueba existió nubosidad y vientos fuertes.



**Ilustración 14-4:** Orientación Este del vehículo con sus ventanas semiabiertas  
 Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2023

La **Ilustración 15-4** muestra el comportamiento de todos los sensores de temperatura con pequeñas oscilaciones debido a la nubosidad y viento, por tal motivo los sensores se van a calentar y enfriar por ciertos periodos de tiempo. A partir de las 12:18 horas los sensores colocados en las

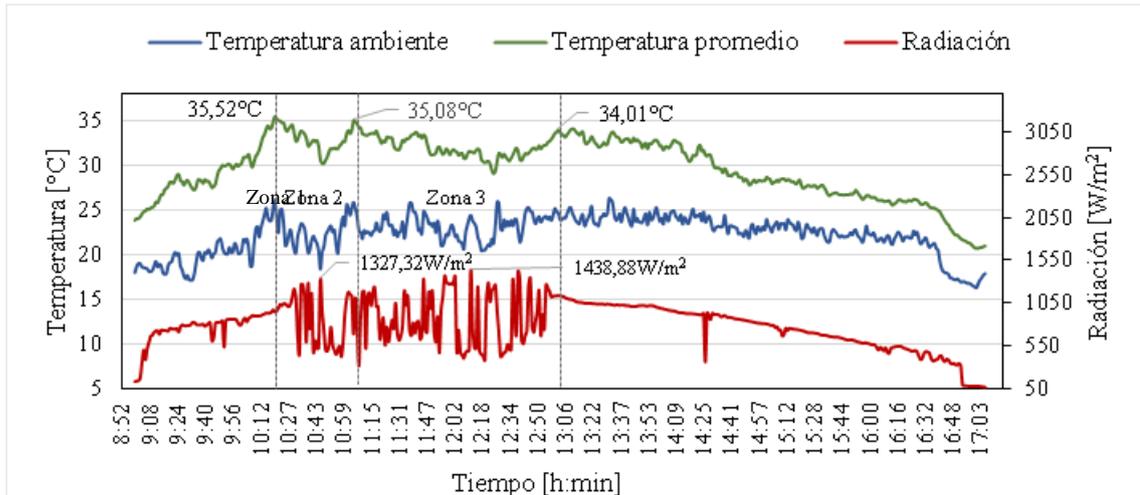
superficies opacas y acristaladas al interior del vehículo muestran un comportamiento similar manteniendo valores inferiores a los 35°C hasta finalizar la prueba, esto se debe a las ventanas semiabiertas del vehículo permitiendo el ingreso del aire exterior y ayudando a disipar el calor, mientras que en el parabrisas delantero y el asiento del copiloto muestran temperaturas altas debido a la radiación directa que se dio en ciertos periodos de tiempo. La temperatura máxima registrada fue a las 10:36 horas correspondientes al parabrisas delantero con 52,50°C acompañado del asiento del copiloto con una temperatura máxima de 50,31°C a las 10:20 horas notándose también que en la parte derecha del vehículo es donde más le afecto la radiación y esto se debe a la trayectoria del sol ya que el vehículo se encuentra orientado hacia el Este.



**Ilustración 15-4:** Temperaturas internas y ambiente del vehículo estacionado con dirección Este y ventanas semiabiertas

Realizado por: Chica J., Vinuesa M. 2023

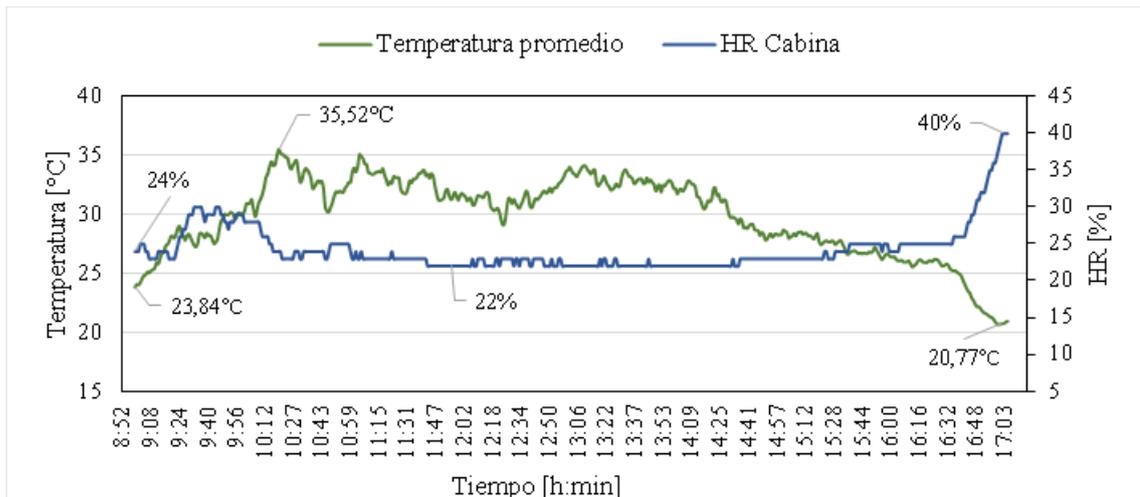
Después de analizar las temperaturas internas de cada sensor, se realizó un promedio de todas las temperaturas para poder comprar con la radiación solar y temperatura ambiente, así como se observa en la **Ilustración 16-4**, donde a partir de las 9:08 horas empieza a subir la radiación solar hasta llegar aproximadamente a los 1000 W/m<sup>2</sup> provocando que la temperatura al interior del vehículo llegue a los 35,52°C (zona 1), sin embargo los vientos fuertes en ese día ocasionaron que se enfríe la cabina, llegando a una temperatura interior de 30°C, por el contrario la radiación solar sigue aumentando llegando a 1327,32 W/m<sup>2</sup> causando que suba la temperatura al interior de la cabina con 35,08°C (zona 2), la nubosidad más el viento ocasionó nuevamente que la temperatura de la cabina descienda por ciertos lapsos de tiempo, sin embargo se produce la máxima radiación solar a las 12:12 horas y se mantienen radiaciones superiores a los 1000 W/m<sup>2</sup> hasta las 13:06 horas provocando que la cabina del vehículo llegue a 34,01°C, debido a que en ese día de prueba la mayor parte del tiempo estuvo nublado.



**Ilustración 16-4:** Temperatura promedio y radiación global del vehículo estacionado con dirección Este y ventanas semiabiertas

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2023

En la **Ilustración 17-4** se observa la relación entre la temperatura promedio del interior del vehículo con la humedad relativa en su interior, es importante recordar que para este escenario se colocan las ventanas semiabiertas existiendo una combinación de aire del exterior con la del interior del vehículo, al inicio de la toma de datos se tiene una humedad relativa del 24% con una temperatura de 23,84°C a las 9:00 horas, a pesar de que no es una temperatura alta al interior del vehículo el aire en su interior era seco por lo que su humedad relativa es baja, mientras va pasando las horas se puede observar que la cabina del vehículo aumenta 11,68°C con una humedad relativa que disminuye 2% que a pesar de estar las ventanas semiabiertas el ambiente del interior del vehículo se reduce la cantidad de vapor de agua en el aire, cuando se termina la toma de datos la temperatura al interior del vehículo disminuye a 20,77°C en donde ese día el sol no emitía una radiación alta debido a la nubosidad y se tuvo una humedad relativa del 40% tornándose el aire al interior del vehículo con más humedad.



**Ilustración 17-4:** Humedad relativa al interior y temperatura promedio del vehículo  
 Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2023

#### 4.1.5 Escenario 5, vehículo estacionando a la intemperie con el uso del A/C en modo aire fresco

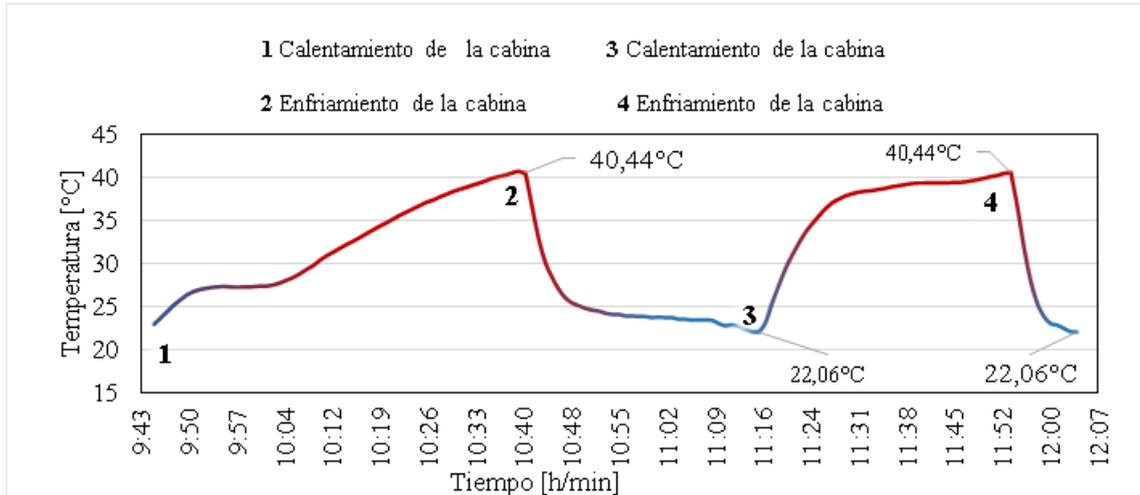
En este escenario se usó el 50% y 100% del aire acondicionado para el calentamiento y enfriamiento de la cabina del vehículo en modo aire fresco tal y como se muestra la **Ilustración 18-4** y así poder comparar el tiempo que tarda en llegar a la temperatura de confort en las etapas de enfriamiento.



**Ilustración 18-4:** Activación del aire acondicionado en modo aire fresco  
 Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2023

En la **Ilustración 19-4** se observa cuatro etapas que consistieron en el calentamiento y enfriamiento de la cabina del vehículo, esta prueba se la realizó a partir de las 9:45 horas empezando con la etapa (1) de calentamiento de la cabina hasta llegar a una temperatura máxima de 40,44°C, una vez alcanzada esa temperatura empieza la etapa (2) de enfriamiento, para lo cual se enciende el aire acondicionado a velocidad 2 que representa al 50% teniendo un tiempo de enfriamiento de 35 minutos para llegar a una temperatura de confort de 22,06°C, de nuevo se empieza con la etapa (3) de calentamiento hasta llegar a una temperatura interior de 40,44°C para

encender el aire acondicionado a velocidad 4 que representa el 100%, empezando con la etapa (4) de enfriamiento hasta lograr tener la temperatura de confort de 22,06°C esto se logra en un tiempo de 10 minutos. Para las etapas 2 y 4 de enfriamiento la velocidad del aire acondicionado influyo considerablemente mostrando una reducción de 25 minutos que representa más tiempo de activación de este sistema.



**Ilustración 19-4:** Etapas del uso de A/C al 50% y 100% en modo aire fresco

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2023

#### 4.1.6 Escenario 6, vehículo estacionado a la intemperie con el uso del A/C en modo recirculación

En este escenario se usó el 50% y 100% del aire acondicionado en modo recirculación, así como se muestra en la **Ilustración 20-4** para comparar el tiempo que tardaría en llegar a la temperatura de confort en ambas velocidades de las etapas de enfriamiento.

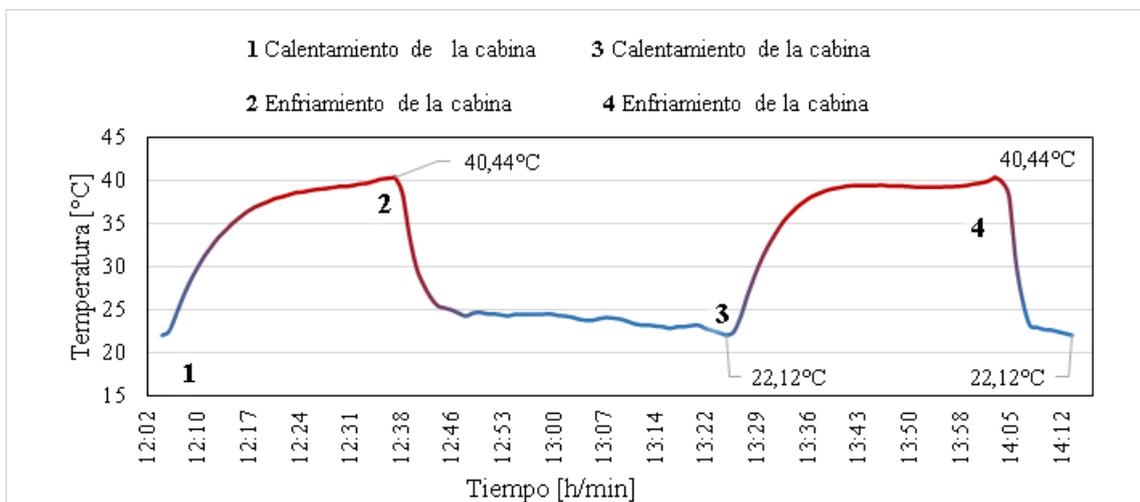


**Ilustración 20-4:** Activación del aire acondicionado en modo recirculación

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2023

En la **Ilustración 21-4** se observa cuatro etapas que consistieron en el calentamiento y enfriamiento de la cabina del vehículo, esta prueba se la realizó a partir de las 12:05 horas

empezando con la etapa (1) de calentamiento de la cabina hasta llegar a una temperatura máxima de 40,44°C, una vez alcanzada esa temperatura empieza la etapa (2) de enfriamiento, para lo cual se enciende el aire acondicionado a velocidad 2 que representa al 50% teniendo un tiempo de enfriamiento de 47 minutos para llegar a una temperatura de confort de 22,12°C, de nuevo se empieza con la etapa (3) de calentamiento hasta llegar a una temperatura interior de 40,44°C para encender el aire acondicionado en nivel 4 que representa el 100%, empezando con la etapa (4) de enfriamiento hasta lograr tener la temperatura de confort de 22,12°C, esto se logra en un tiempo de 11 minutos. De la misma manera que el modo aire fresco, también se tiene una reducción muy notable de 36 minutos entre estas dos velocidades representando más tiempo de activación del aire acondicionado.



**Ilustración 21-4:** Etapas del uso de A/C al 50% y 100% en modo recirculación

Realizado por: Chica J., Vinuesa M. 2023

Entre los modos de activación arie fresco y recirculación no se tuvo grandes diferencias al usar el aire acondicionado a velocidad 4 con un promedio de 10 minutos en evacuar todo el calor al interior del vehículo, mientras que utilizarlo a velocidad 2 la diferencia fue muy notable con un promedio de 41 minutos en evacuar el calor. Por lo tanto, la diferencia de ambos modos estaría en los 31 minutos aumentando hasta un 70% la activación del aire acondicionado en la velocidad 2, lo que significa mayor consumo de combustible y más emisiones de gases contaminantes hacia el medio ambiente. Esto se da a causa de la velocidad y temperatura en la que sale el aire por las rejillas del vehículo con 2,1 m/s para la segunda velocidad y de 4,8 m/s para la cuarta velocidad y temperaturas de 12°C y 10,5°C en modo aire fresco y temperaturas de 11,4°C y 6,3°C en modo recirculación respectivamente, donde a menor velocidad menor será su enfriamiento al interior del vehículo, (ver ANEXO E).

## 4.2 Comportamiento térmico de un vehículo SUV en la ciudad de Santo Domingo

En este apartado se cumplió con los objetivos planteados en la región Costa del Ecuador, donde se describe los resultados obtenidos de la campaña experimental, tomando en cuenta tres escenarios y mencionando variables como: el color, apertura de ventanas y uso del aire acondicionado del vehículo.

### 4.2.1 *Escenario 1 vehículos de diferente color estacionados a la intemperie con dirección Norte y ventanas cerradas*

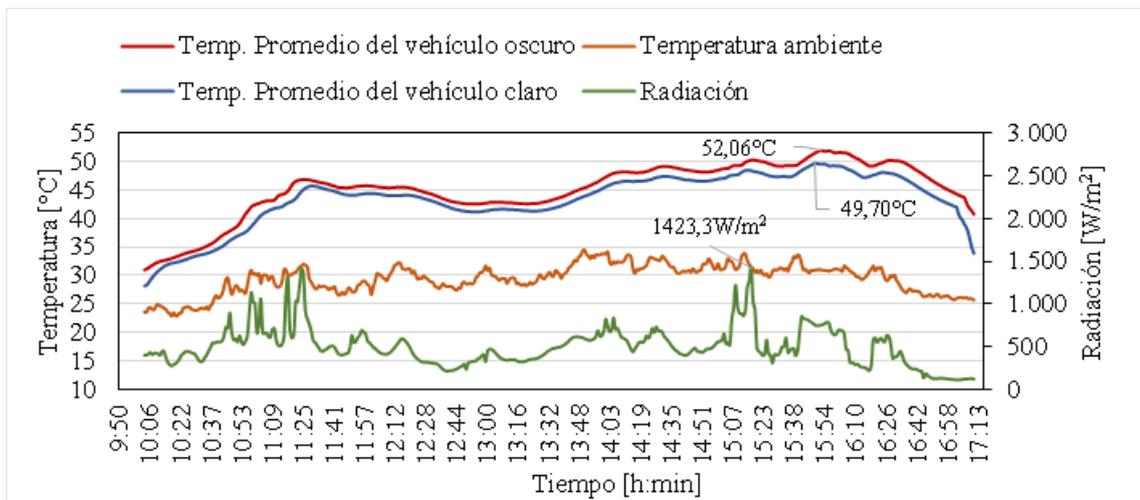
En este escenario se ensayaron los vehículos con las ventanas cerradas, como se observa en la **Ilustración 22-4**, cada vehículo utilizado representa un color claro y un color oscuro debido a que se pretende analizar el efecto de la emisividad de los colores de las superficies en el calentamiento de los vehículos. Los dos vehículos constan de películas polarizadas, el vehículo claro tiene en todas ventanas como en parabrisas posterior la misma tonalidad de polarizado y una tonalidad menor en su parabrisas delantero, mientras que el vehículo oscuro tiene polarizado en sus ventanas y parabrisas posteriores, (ver **ANEXO F**).



**Ilustración 22-4:** Orientación Norte de los vehículos con sus ventanas cerradas  
Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2023

En la **Ilustración 23-4** se observa el promedio de las temperaturas de ambos vehículos con una similar tendencia a la radiación solar, pero con retardo provocado por la inercia térmica de los materiales que componen las cabinas de los vehículos. La radiación máxima se registró a las 15:17 horas con un valor de  $1423,3 \text{ W/m}^2$ , teniendo como resultado una máxima temperatura al interior del vehículo oscuro de  $52,06^\circ\text{C}$  mientras que el vehículo claro es de  $49,70^\circ\text{C}$  esto se dio a las 15:52 horas demostrando un retardo de tiempo que existe para calentar el vehículo por efecto de

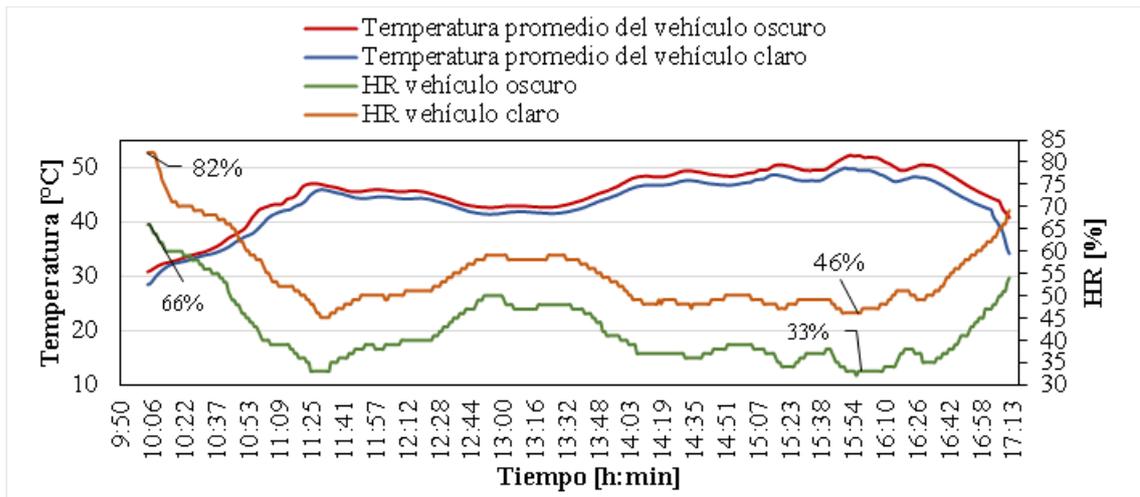
la inercia térmica, la diferencia de temperaturas entre los dos vehículos es de aproximadamente 2,5°C. El rango de temperatura ambiente registrada en ese día según el INAMHI fue de 24°C a 28°C, tomando en cuenta que la máxima temperatura ambiente y la de ambos vehículos, existe una diferencia entre 24°C y 21°C siendo casi el doble de temperatura que existe entre la temperatura ambiente y la temperatura de la cabina de los vehículos, estos valores se dan por el efecto de la radiación solar y la sensación térmica que se genera con mayor intensidad en la región Costa.



**Ilustración 23-4:** Temperaturas promedio y radiación global de los vehículos estacionados con dirección Norte y ventanas cerradas

Realizado por: Chica J., Vinuesa M. 2023

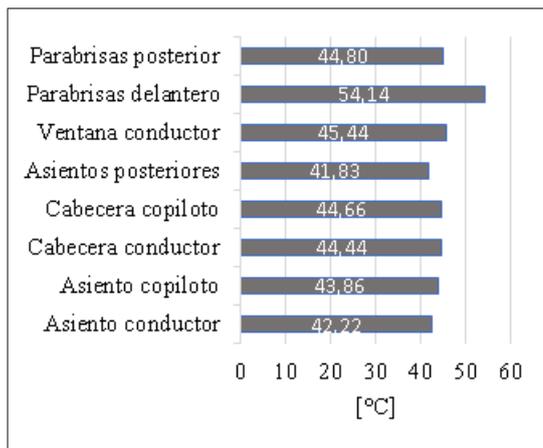
La **Ilustración 24-4** se observa la relación entre las temperaturas promedio de los vehículos y las humedades relativas que se encuentran al interior de la cabina. El efecto que se produce al tener las ventanas cerradas de los vehículos es un efecto invernadero por lo que el aire interno se va a secar, provocando que la humedad relativa disminuya mientras que la temperatura aumenta. Al iniciar con las mediciones, la temperatura al interior de los vehículos es de 28°C y 31°C para los vehículos claro y oscuro, por lo que se tiene una humedad relativa de 82% y 66% respectivamente; al paso del tiempo los vehículos se irán calentando, llegando a temperaturas máximas de 49,70°C y 52,06°C produciendo humedades relativas de 46% y 33%, respectivamente a las 15:58 horas. El porcentaje bajo de las humedades relativas se da debido a que el aire se vuelve seco sin la presencia de cargas metabólicas.



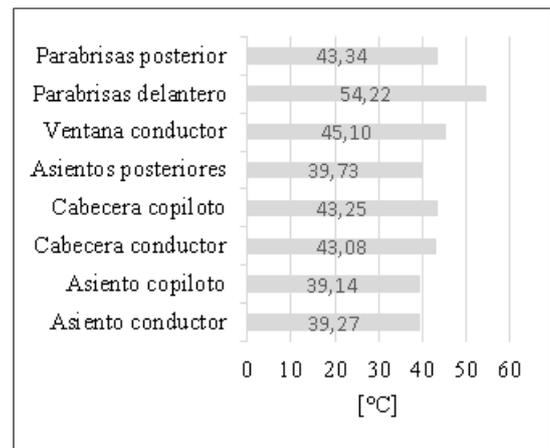
**Ilustración 24-4:** Humedades relativas al interior y temperaturas promedio de los vehículos  
**Realizado por:** Chica J., Vinuesa M. 2023

En la **Ilustración 25-4** se observa una comparación de los sensores que se encuentran al interior de los vehículos. En este escenario también se tiene dos efectos, el primero es debido al color del vehículo, mientras más oscuro su absorptividad es mayor, calentando más el interior que un vehículo de color claro. El segundo efecto son las películas polarizadas que llevan las ventanas y los parabrisas, teniendo menor transmisividad que al tener un acristalamiento transparente, transmitiendo menor radiación al interior del vehículo, provocando que se caliente menos.

Los resultados muestran que las temperaturas al interior del vehículo oscuro son mayores con excepción del parabrisas delantero del vehículo claro, que consta de una pequeña tonalidad de película polarizada, (ver **ANEXO F**). Esto se debe a que los acristalamientos con película presentan mayor absorptividad, calentando al cristal, transfiriendo el calor por convección al interior del vehículo. En este contexto, las temperaturas del vehículo oscuro superan a las del vehículo claro excepto el parabrisas delantero entre 0,34°C a 5°C. Por ejemplo, en el asiento del copiloto del vehículo oscuro se tiene una temperatura de 43,86°C, mientras que en el del vehículo claro se tiene 39,14°C, teniendo una diferencia aproximada de 5°C, esto se produce debido a los dos efectos mencionados, ya que al no tener película polarizada en la ventana del copiloto el vehículo oscuro permitirá el paso directo de radiación solar calentando con mayor intensidad esta superficie y también por su absorptividad del color en este vehículo siendo mayor que el vehículo de color claro, lo que no ocurre con los asientos posteriores que tan solo se tiene una diferencia de 2.4°C, en donde los dos vehículos al tener en sus ventanas películas polarizadas tienen mayor absorptividad en el cristal, pero transmiten con menor intensidad la radiación solar la superficie interior del vehículo.



(a)



(b)

**Ilustración 25-4:** Promedio de los sensores de temperatura al interior de los vehículos. a) vehículo oscuro, b) vehículos claro

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2023

#### 4.2.2 Escenario 2, vehículo estacionado a la intemperie con dirección Norte y ventanas semiabiertas

En este escenario se ensayó un vehículo de color claro con las ventanas semiabiertas, como se muestra en la **Ilustración 26-4**, para empezar con la prueba fue necesario ubicar todas sus ventanas con un 50% de apertura; también hay que tomar en cuenta que el día de la experimentación existió poca radiación.

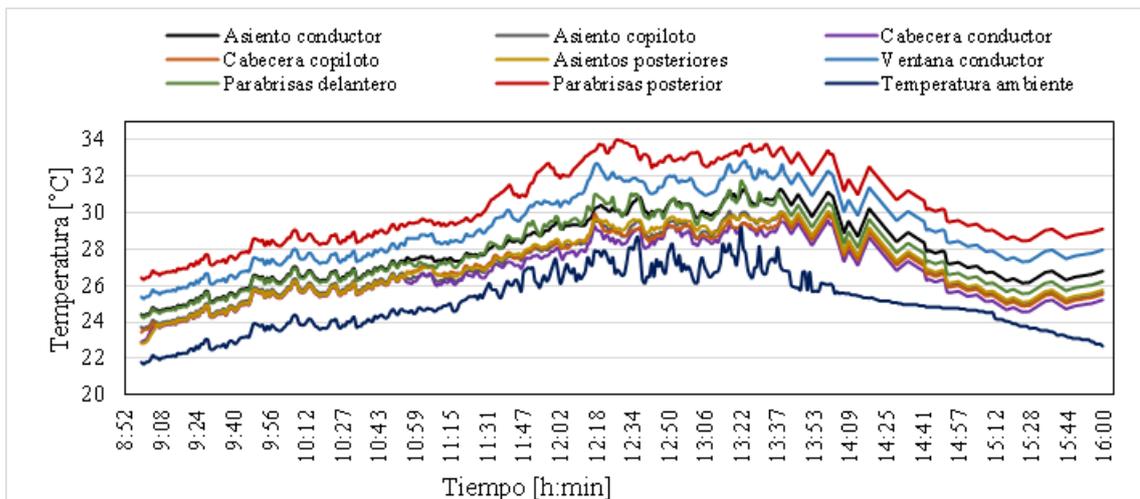


**Ilustración 26-4:** Orientación Norte del vehículo con sus ventanas semiabiertas

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2023

En la **Ilustración 27-4** se observa que todas las temperaturas al interior del vehículo siguen la misma tendencia que la temperatura ambiente, las temperaturas mayores pertenecen a los sensores que se encuentran ubicados en las zonas acristaladas debido a su transmisividad. Si se compara la temperatura del parabrisas delantero con la del posterior este será menor debido al

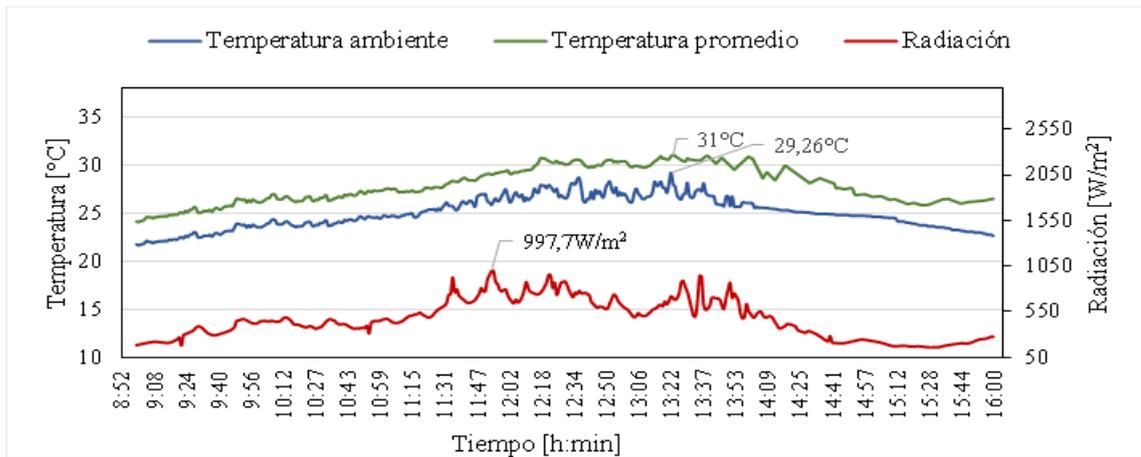
posicionamiento de las ventanas abiertas al 50%, por lo tanto, el aire que ingresa del exterior al interior del vehículo permite que se disipe el calor con mayor rapidez en el parabrisas delantero, lo que no ocurre en el parabrisas posterior. Por último, las temperaturas menores pertenecen a los sensores ubicados en las superficies opacas sin embargo no tienen la misma temperatura que la del ambiente.



**Ilustración 27-4:** Temperaturas al interior del vehículo en dirección Norte con ventanas semiabiertas y temperatura ambiente

Realizado por: Chica J., Vinuesa M. 2023

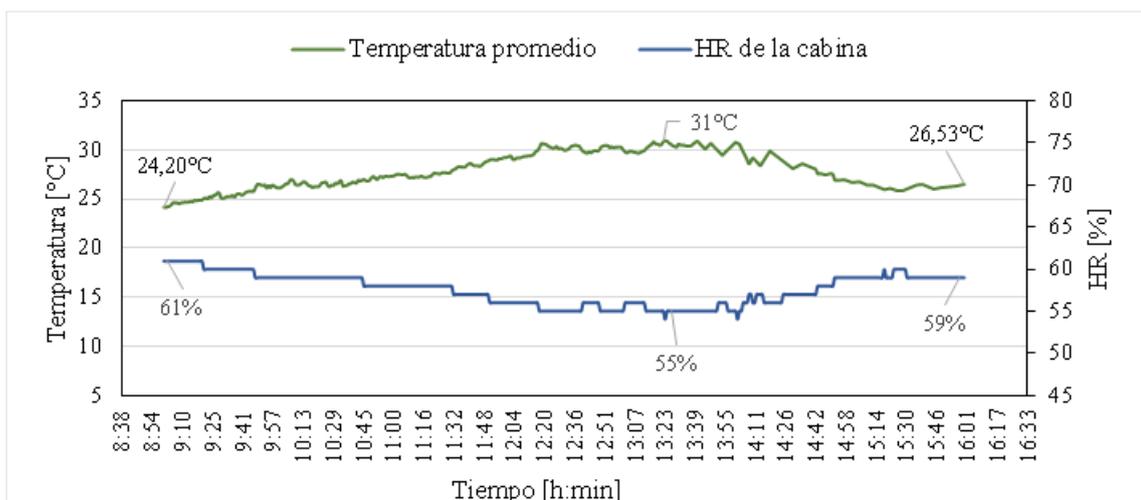
Una vez analizado las temperaturas que se producen en los sensores de temperatura instalados al interior del vehículo, se toma un promedio de los sensores para observar el comportamiento que tiene respecto a la curva de radiación solar, como se muestra en la **Ilustración 28-4**. La curva promedio de temperaturas internas del vehículo durante el proceso de calentamiento y enfriamiento tienen similar comportamiento a la radiación solar, pero con un retardo provocado por la inercia térmica de los materiales de la cabina del vehículo. La radiación máxima se registró a las 11:54 horas con un valor de  $997,7 \text{ W/m}^2$ , como resultado se obtuvo una temperatura máxima al interior del vehículo de  $31^\circ\text{C}$  a las 13:23 horas, demostrando que existe desfase de más de una hora, esto se debe a las propiedades de los materiales como su absorptividad y transmisividad. La radiación máxima solo se da en un corto tiempo y empieza a descender al igual que la temperatura al interior del vehículo, sin superar los  $31^\circ\text{C}$  en todo su trayecto.



**Ilustración 28-4:** Temperatura promedio del vehículo aparcado en dirección Norte con las ventanas semiabiertas y radiación global

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2023

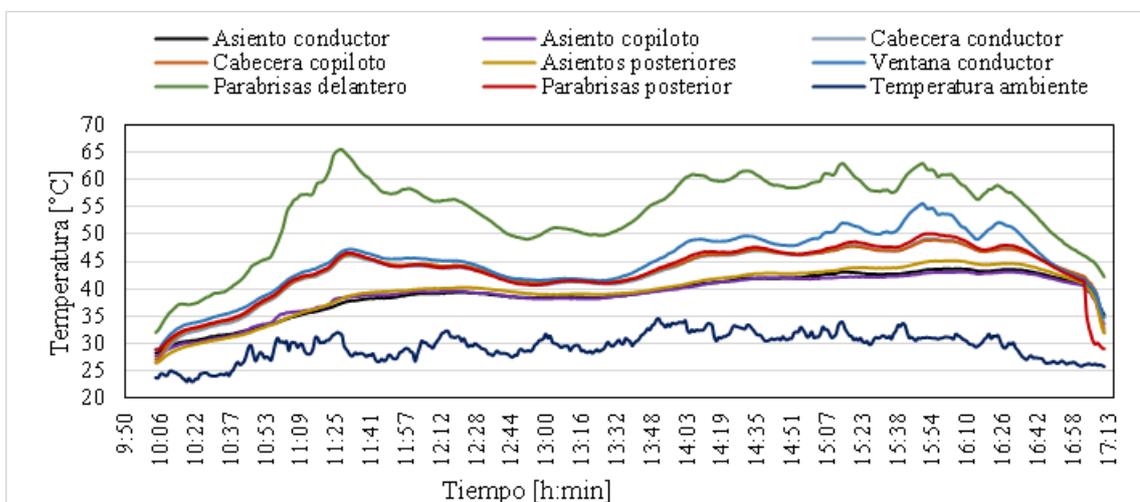
En la **Ilustración 29-4** se observa la relación entre temperatura promedio y la humedad relativa al interior del vehículo, donde tenemos una mezcla de aire exterior y aire interior por encontrarse con las ventanas semiabiertas ocasionando que el aire al interior del vehículo no sea tan seco, lo que se observa es el aumento de temperatura y una corta disminución de la humedad relativa. Por lo tanto, al iniciar las mediciones se tiene una temperatura promedio de 20.20°C con una humedad relativa del 61, al pasar las horas y calentarse la cabina del vehículo la temperatura máxima es de 31°C teniendo una humedad relativa de 55% a la 13:23 horas, al terminar la toma de datos se muestra un descenso de temperatura y un leve aumento de humedad relativa llegando a una temperatura interior de 26,53°C y 59% de humedad relativa a las 16:00 horas.



**Ilustración 29-4:-** Humedad relativa al interior y temperatura promedio del vehículo

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2023

Concluida la experimentación del escenario 1 y 2 en la ciudad de Santo Domingo, es importante conocer las diferencias que existen en la toma de temperaturas de cada uno de los sensores ubicados al interior del vehículo, como se muestra en la **Ilustración 30-4**. Los datos de temperatura del vehículo con las ventanas cerradas son mayores que los datos de temperatura del vehículo con las ventanas semiabiertas; además, no existe esos pequeños picos de temperatura que se generan por razón del viento ya que se encuentra con las ventanas totalmente cerradas. La máxima temperatura que se produce en el parabrisas delantero del vehículo con ventanas cerradas es de 65,62°C mientras que el vehículo con ventanas semiabiertas es de 31,75°C ya que disipa calor a causa de la mezcla del aire interior con la del exterior y teniendo en cuenta que se tiene mayor humedad en el aire exterior encargándose de bajar la temperatura en la cabina del vehículo, teniendo una diferencia aproximada de 34°C.



**Ilustración 30-4:** Temperaturas al interior del vehículo en dirección Norte con ventanas cerradas y temperatura ambiente

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2023

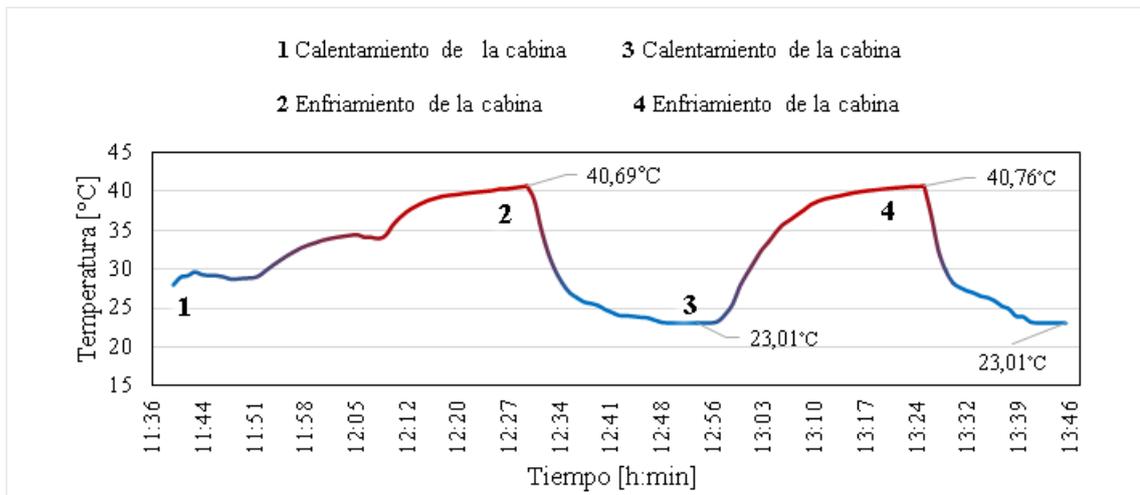
#### 4.2.3 *Escenario 3, vehículo estacionado a la intemperie con el uso del A/C en modo aire fresco*

Este escenario se utilizó el 50% y 100% del aire acondicionado en modo aire fresco tal y como se muestra en la **Ilustración 31-4** para comparar el tiempo que tarda en enfriar el aire interno de la cabina del vehículo hasta llegar a la temperatura de confort en las etapas de enfriamiento.



**Ilustración 31-4:** Activación del aire acondicionado en modo aire fresco  
 Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2023

En la **Ilustración 32-4** se observa las cuatro etapas que se realizó para el calentamiento y enfriamiento de la cabina del vehículo, esta prueba inicio a las 11:40 horas con la etapa (1) de calentamiento de la cabina hasta llegar a una temperatura máxima de 40,69°C, después de alcanzar la temperatura máxima empezó la etapa (2) de enfriamiento activando el aire acondicionado a velocidad 2 que representa el 50% para reducir el calor interno del vehículo teniendo una duración de 24 minutos y alcanzando una temperatura de 23,01°C, la etapa (3) de calentamiento inicio a las 12:54 horas llegando a una temperatura máxima de 40,76°C, de igual manera se volvió activar el aire acondicionado finalizando con la etapa (4) de enfriamiento con una velocidad 4 que representa el 100% hasta lograr tener una temperatura de 23,01°C con una duración de 20 minutos. Estas etapas de enfriamiento en modo aire fresco muestran una reducción de 4 minutos alcanzando valores mínimos de 23,01°C al interior del vehículo, esto se debe a que la temperatura exterior ambiente se encuentra con valores de 27°C impidiendo que la temperatura interna del vehículo llegue a los 22°C lo que implica mayor activación del aire acondicionado en ambas velocidades.



**Ilustración 32-4:** Etapas del uso de A/C al 50% y 100% en modo aire fresco  
 Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2023

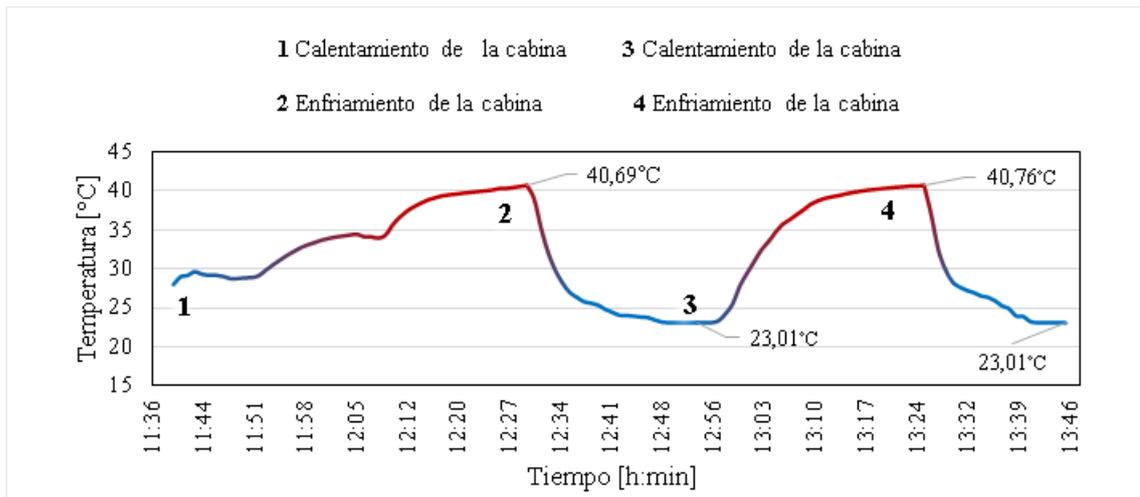
#### 4.2.4 Escenario 4, vehículo estacionado a la intemperie con el uso del A/C en modo recirculación

En este escenario se usó el 50% y 100% del aire acondicionado en modo recirculación, así como se muestra en la **Ilustración 33-4** para poder comparar el tiempo que tarda en llegar a la temperatura de confort de las etapas de enfriamiento.



**Ilustración 33-4:** Activación del aire acondicionado en modo recirculación  
Realizado por: Chica J., Vinuesa M. 2023

En la **Ilustración 34-4** se observa las cuatro etapas que se realizó para el calentamiento y enfriamiento de la cabina del vehículo, esta prueba inicio a las 13:46 horas con la etapa (1) de calentamiento de la cabina hasta llegar a una temperatura máxima de 39,50°C, después de alcanzar la temperatura máxima empezó la etapa (2) de enfriamiento activando el aire acondicionado a velocidad 2 que representa el 50% para reducir el calor interno del vehículo teniendo una duración de 14 minutos y alcanzando una temperatura de 22,19°C, la etapa (3) de calentamiento inicio a las 14:30 horas llegando a una temperatura máxima de 38,28°C, de igual manera se volvió activar el aire acondicionado finalizando con la etapa (4) de enfriamiento con una velocidad 4 que representa el 100% hasta lograr una temperatura de 22,18°C con una duración de 11 minutos. Para estas etapas de enfriamiento en modo recirculación se tuvo una reducción de 3 minutos llegando a los 22°C siendo efectiva ambas velocidades y con un tiempo corto de activación del aire acondicionado.



**Ilustración 34-4:** Etapas de uso de A/C al 50% y 100% en modo recirculación  
**Realizado por:** Chica J., Vinueza M. 2023

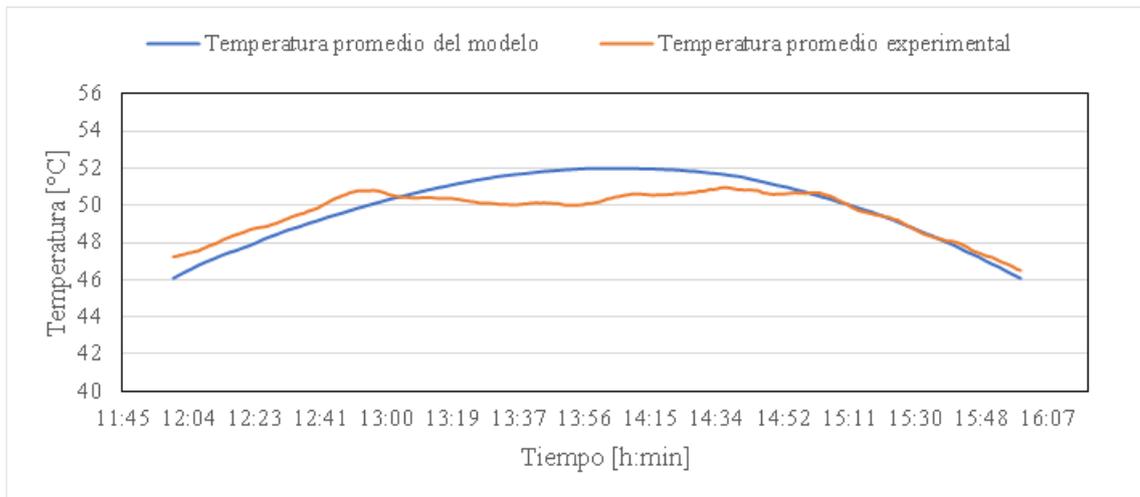
Analizando estos dos modos de activación aire fresco y recirculación se tuvo grandes diferencias al usar el aire acondicionado en el modo aire fresco ya que no evacua por completo todo el calor al interior del vehículo llegando a valores de 23,01°C, mientras que el modo recirculación si llega a los 22°C en ambas velocidades lo que implica menor tiempo de activación del A/C y menos consumo de combustible reduciendo las emisiones de gases contaminantes hacia el medio ambiente. La razón por la que el modo aire fresco no alcanza a llegar a una temperatura de confort se debe principalmente a la temperatura del medio ambiente que se encontraba alrededor de los 27°C mientras que el modo recirculación utiliza el mismo aire interno de la cabina del vehículo para llegar disminuir la temperatura alcanzando pronto los 22°C.

### 4.3 Demanda térmica del sistema de aire acondicionado considerando los factores que influyen en el calentamiento del vehículo.

Siendo uno de los objetivos de este trabajo de investigación, para el cálculo de la demanda térmica del sistema de aire acondicionado se utilizó un modelo térmico transitorio desarrollado en el programa TRNSYS, en donde se debe establecer una temperatura de confort para la cabina del vehículo. Para poder calcular la demanda térmica, el modelo utiliza una serie de ecuaciones de transferencia de calor, además de datos importantes como las áreas de las superficies acristaladas como opacas del vehículo, datos de temperatura ambiente y radiación solar, orientación del vehículo, humedad relativa y la hora a la que el vehículo estuvo expuesto al sol. Una vez que se tiene todos los datos correspondientes, lo primero que se realizó fue una validación del campo experimental para así poder asegurarnos de que al momento de realizar el cálculo de la demanda térmica, el valor que nos arroje sea confiable.

#### 4.3.1 Validación del escenario 1: orientación Norte y con todas sus ventanas cerradas

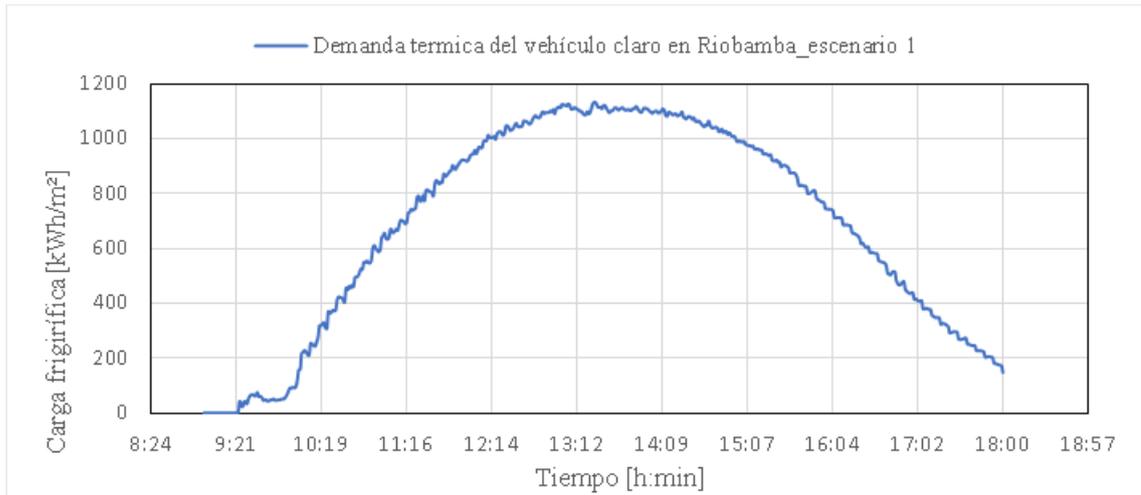
En la **Ilustración 35-4** se observan las curvas promedios tanto del modelo como de la parte experimental, para la validación se tomó en cuenta a partir de las 12 horas hasta las 16 horas en donde se tiene mayor incidencia de la radiación, obteniendo las temperaturas más altas en el interior del vehículo en ese lapso de tiempo; al analizar estas curvas se tiene un valor de error medio cuadrático de 0,87 lo que significa que no existe mayor diferencia entre curvas dándonos por validado el escenario.



**Ilustración 35-4:** Validación del escenario 1 usando el modelo térmico transitorio de TRNSYS  
Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2023

#### 4.3.2 Cálculo de la demanda térmica de cada escenario

En la **Ilustración 36-4** se observa la curva de demanda térmica del escenario 1 considerando solo el vehículo de color claro; al inicio, dada que la temperatura al interior del vehículo no es tan alta la demanda térmica no supera los  $200 \text{ Wh/m}^2$ , al pasar las horas la temperatura al interior del vehículo va a ir aumentando por lo que se tendrá mayor demanda térmica para contrarrestar ese calor y llegar a una temperatura de confort de  $23^\circ\text{C}$ .



**Ilustración 36-4:** Curva de demanda térmica de la cabina del vehículo  
**Realizado por:** Chica J., Vinueza M. 2023

A continuación, se muestra el dato promedio de demanda térmica para cada escenario, esto se muestra en la **Tabla 1-4**.

**Tabla 1-4:** Tabla comparativa de los escenarios experimentales con su demanda térmica

ESCENARIOS/ CIUDADES		RIOBAMBA			SANTO DOMINGO		
		Temperatura máx. [°C]	Radiación promedio [W/m <sup>2</sup> ]	Demanda térmica [kWh/m <sup>2</sup> ]	Temperatura máx. [°C]	Radiación promedio [kWh/m <sup>2</sup> ]	Demanda térmica [kWh/m <sup>2</sup> ]
Norte, colores y ventanas cerradas	Oscuro	53,24	843,43	172,20	52,06	493,57	144,44
	Claro	50,99		140,26			132,74
Norte y ventanas semiabiertas		33,27	726,01	-	31	463,27	
Este y ventanas cerradas		50,08	673,63	108,84	-	-	-
Este y ventanas semiabiertas		35,08	786,48	-	-	-	-

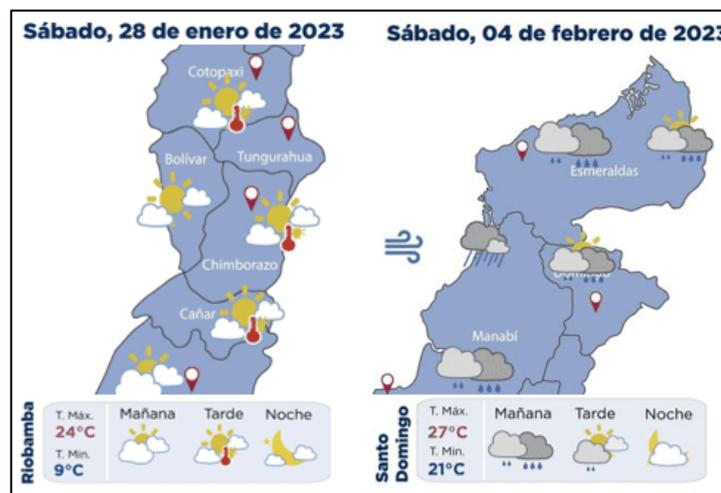
**Realizado por:** Chica J., Vinueza M. 2022

#### 4.4 Comparación del comportamiento térmico de los vehículos y la influencia de los factores estudiados entre las ciudades de Riobamba y Santo Domingo.

Teniendo en cuenta que no se realizaron las pruebas en el mismo día para la ciudad de Riobamba como para la ciudad de Santo Domingo, se va a tener que tomar en cuenta para trabajos futuros, otro de los factores a tomar en consideración son las películas con las que cuentan los vehículos en los que se realizó la toma de datos.

#### 4.4.1 Comparación de colores de los vehículos en las ciudades de prueba

Para este apartado se tomarán en cuenta el escenario 1 tanto en la ciudad de Riobamba como en la ciudad de Santo Domingo comparando los vehículos de color oscuro, tomando en cuenta que se realizó en diferentes días la toma de datos, en la **Ilustración 37-4** se muestra las temperaturas pronóstico arrojadas por el INAMHI para la ciudad de Riobamba, el día 28 de enero de 2023 tiene como temperatura máxima 24°C teniendo gran parte del día radiación solar, mientras que para la ciudad de Santo Domingo el día 4 de febrero de 2023 con una temperatura máxima de 27°C teniendo la mayor parte del tiempo nubosidad.

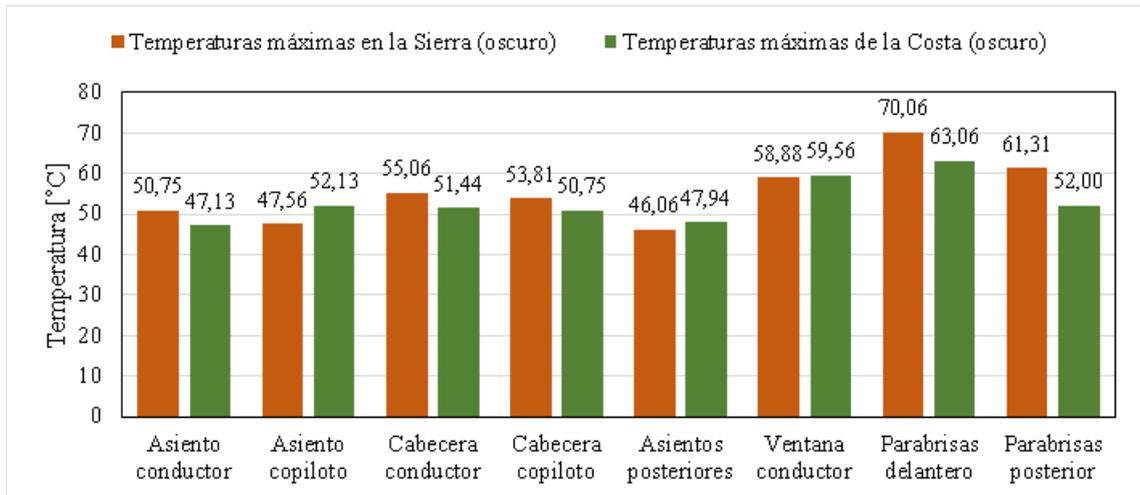


**Ilustración 37-4:** Pronóstico del clima en las ciudades de prueba para el escenario 1

Realizado por: Chica J., Vinuesa M. 2023

La **Ilustración 38-4** se aprecian las temperaturas máximas de los sensores de temperatura tanto para el vehículo estacionado en la ciudad de Riobamba como en el vehículo estacionado en la ciudad de Santo Domingo, en las superficies opacas la temperatura máxima que se da tienen una diferencia entre los dos vehículos que va de la 3°C a 5°C, en las superficies acristaladas tanto en el parabrisas delantero como en el posterior existe una gran diferencia de temperaturas siendo mayor la del vehículo de la Sierra esto se debe tanto al clima del día de la toma de datos como a la característica del vidrio empleado en el vehículo, los parabrisas delanteros de los dos vehículos son de iguales características pero debido a la gran cantidad de radiación solar que existió en Riobamba se tiene una temperatura mayor teniendo una diferencia de 9°C; en el parabrisas posterior la diferencia de temperaturas también es alta, esto ocurre porque el parabrisas posterior del vehículo de la Costa consta con película polarizada, impidiendo que emita parte de la radiación

solar al interior del vehículo, es por ello que al tener un parabrisas transparente este emitirá más del 90% de la radiación solar e impide el escape de la radiación infrarroja que provienen de las superficies interiores del vehículo lo que ocasiona que se eleve la temperatura.

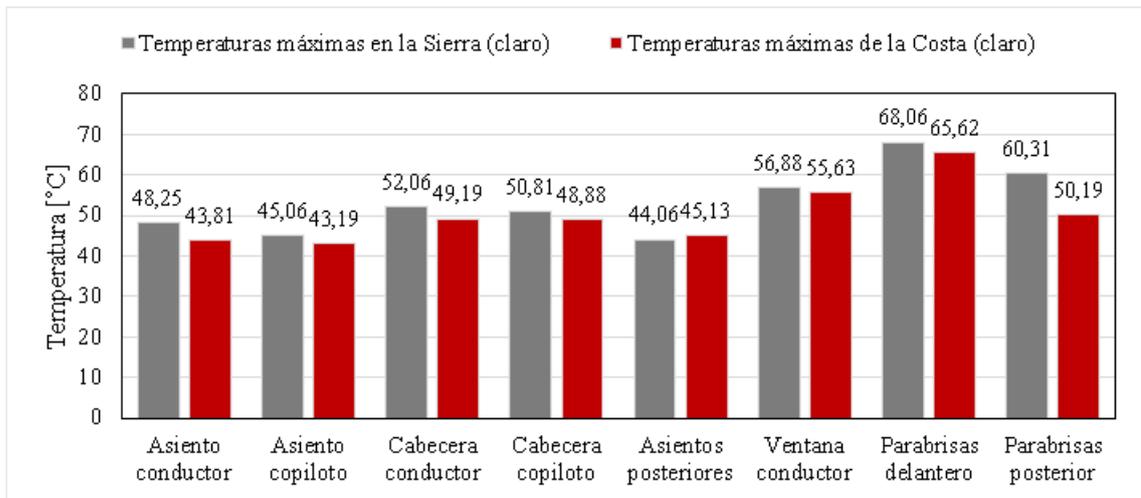


**Ilustración 38-4:** Temperaturas máximas de los vehículos oscuros de las ciudades de prueba  
Realizado por: Chica J., Vinuesa M. 2023

#### 4.4.2 Comparación de ventanas cerradas con dirección Norte en las ciudades de prueba

Para realizar esta comparación se tomó en cuenta el escenario 1 con los vehículos estacionados con dirección Norte y de colores claros tanto para la ciudad de Riobamba como para la ciudad de Santo Domingo.

La **Ilustración 39-4** muestra las máximas temperaturas de los diferentes sensores de temperatura colocados al interior del vehículo, es importante recordar que los vehículos se encontraban estacionados con dirección Norte y con las ventanas cerradas, el vehículo con el que se tomó los datos en la región Costa tiene películas en todas sus ventanas un factor importante debido a que impide el paso de radiación solar al interior del vehículo, sin embargo la sensación térmica que se tiene en esta región es alta ocasionando que suba la temperatura de la cabina, como se puede observar las temperaturas del vehículo de Riobamba son superiores al vehículo de Santo Domingo debido a la falta de sol, a pesar de eso son mínimas las diferencias que existen entre las superficies opacas que van entre 1°C a 4,5°C, mientras que en las superficies cristalinas existe una gran diferencia en los parabrisas, en el parabrisas posterior la temperatura del vehículo de Riobamba tiene 10°C más que el de la ciudad de Santo Domingo donde se ve claramente la influencia de la radiación solar para el calentamiento de la cabina del vehículo y como la película polarizada impide que se emita la radiación al interior de la cabina.

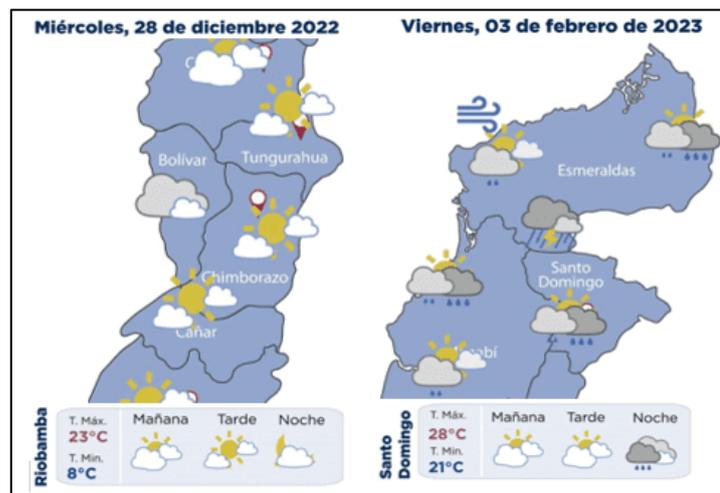


**Ilustración 39-4:** Temperaturas máximas de los vehículos claros en dirección Norte con las ventanas cerradas de las ciudades de prueba

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2023

#### 4.4.3 Comparación de ventanas semiabiertas con dirección Norte en las ciudades de prueba

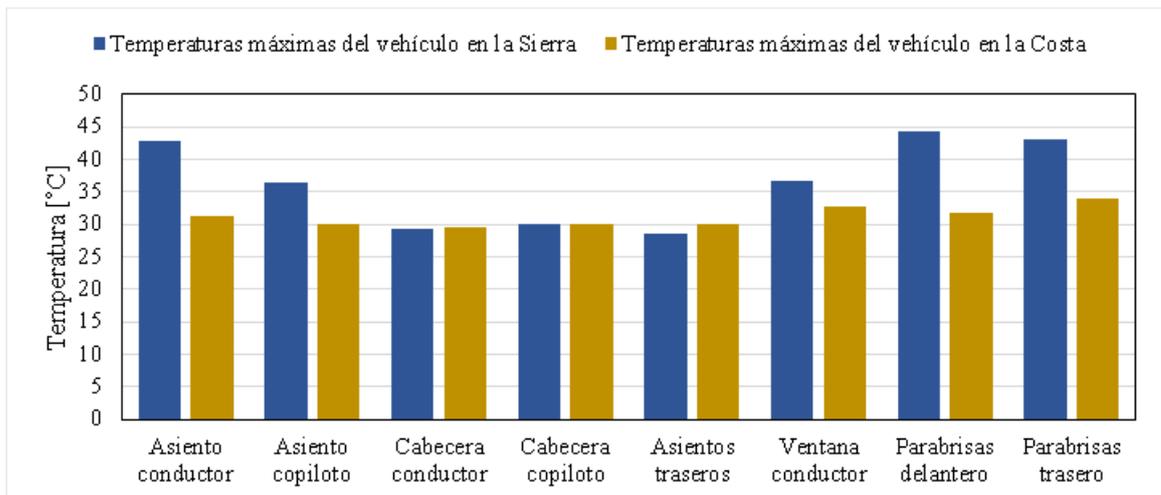
Para este apartado se tomarán en cuenta el escenario 2 tanto en la ciudad de Riobamba como en la ciudad de Santo Domingo comparando los vehículos de color claro tomando en cuenta que se realizó en diferentes días la toma de datos, en la **Ilustración 40-4** se muestra las temperaturas pronóstico arrojadas por el INAMHI para la ciudad de Riobamba, el día 29 de diciembre de 2022 tiene como temperatura máxima de 23°C teniendo gran parte del día radiación solar, mientras que para la ciudad de Santo Domingo el día 3 de febrero de 2023 con una temperatura máxima de 28°C teniendo la mayor parte del tiempo nubosidad.



**Ilustración 40-4:** Pronóstico del clima en las ciudades de prueba para el escenario 2

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2023

En la **Ilustración 41-4** se muestra las temperaturas promedio del vehículo estacionado en Riobamba como del vehículo estacionado en Santo Domingo, los dos con dirección Norte y sus ventanas semiabiertas, al estar en contacto el aire interior del vehículo con el aire exterior la humedad relativa que se tiene para la ciudad de Santo Domingo va a ser húmeda debido al clima de la región Costa es por eso que se tiene temperaturas máximas de los sensores de temperatura colocados en superficies opacas de la cabina entre 29°C y 30°C, mientras que al ser comparadas con las temperaturas máximas de las superficies opacas del vehículo de la ciudad de Riobamba se observa que a pesar de que se las ventanas se encuentran semiabiertas los sensores se comportan diferente teniendo un aire más seco al interior de la cabina, en cuanto a los sensores que se encuentran colocados en las superficies acristaladas de los vehículos en la Sierra se obtienen temperaturas mayores a los 35°C mientras que en la Costa se encuentran por debajo de esa temperatura.

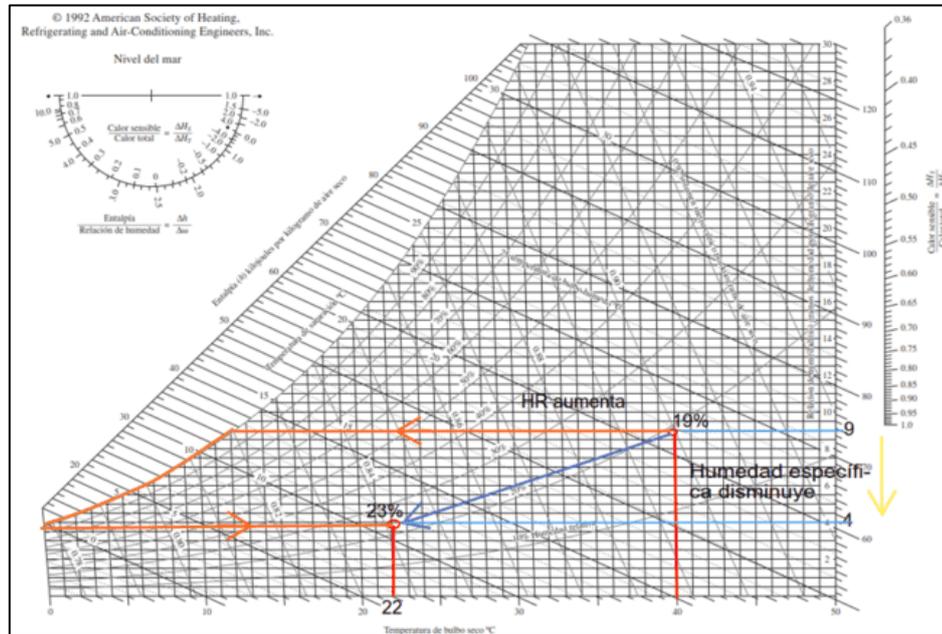


**Ilustración 41-4:** Temperaturas máximas de los vehículos claros en dirección Norte con las ventanas semiabiertas de las ciudades de prueba

Realizado por: Chica J., Vinuesa M. 2023

Para saber cómo se da comportamiento de la humedad relativa con la temperatura vamos a tomar en consideración el diagrama psicrométrico mostrado en la **Ilustración 42-4**, en donde se muestra cómo se va comportando el enfriamiento de la cabina del vehículo tomando en consideración que la cabina se encontró a una temperatura interior de 40,44°C teniendo una humedad relativa del 19%, al encender el aire acondicionado el aire de la cabina se va ir enfriando hasta llegar al punto de rocío que está representada en línea horizontal hacia la izquierda (color tomate). Una vez que se encuentra allí va a seguir enfriándose y perdiendo humedad, descendiendo por la curva de saturación (HR100%), hasta un valor de temperatura de confort de 22,06°C y una humedad relativa mayor a la inicial de 23%, demostrando que si la humedad relativa aumenta la humedad específica disminuye teniendo valores de 9 gramos de humedad por kilogramo de aire seco con

un HR del 19% mientras que con un HR del 23% se tiene una humedad específica de 4 gramos de humedad por kilogramo de aire seco. Esto también ocurre en el escenario 6 debido a que se coloca la misma temperatura máxima de la cabina y se la enfría a la misma temperatura de confort.



**Ilustración 42-4:** Diagrama psicrométrico con la etapa de enfriamiento de la cabina del vehículo

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2023

#### 4.4.4 Comparación del uso del aire acondicionado en las ciudades de prueba

En este apartado para comparar los escenarios 5 y 6 tanto de la ciudad de Riobamba como en la ciudad de Santo Domingo se tomó en cuenta el tiempo en que tarda en enfriarse la cabina del vehículo usando el sistema de aire acondicionado en sus dos modos y en dos niveles de salida de aire. Para calentar el vehículo se lo dejó estacionado a la intemperie expuesto a la radiación solar, al momento de tener una temperatura de la cabina de 40°C se procedió a realizar el encendido del aire acondicionado y utilizarlo hasta llegar a una temperatura de confort de 22°C tomando en cuenta que la AHSRAE menciona las condiciones de confort térmico para interiores con temperaturas entre 16°C a 27°C.

En la **Tabla 2-4** se muestra los tiempos en que tarda en enfriar la cabina del vehículo, con el uso del modo aire fresco en nivel dos (50%) tarda 35 minutos para llegar a una temperatura de 22°C en la ciudad de Riobamba mientras que para Santo Domingo se tarda 24 min en llegar tan solo a 23°C, se dejó encendido el aire por 10 minutos más y la temperatura de la cabina empezó a subir debido a que usa aire del exterior para poder enfriar el vehículo y como nos encontramos en la

región Costa el aire del exterior es caliente y húmedo que al usarlo en ese modo el aire acondicionado no permitió llegar a los 22°C. Con el uso en modo recirculación, en Riobamba la cabina del vehículo tarda 47 minutos en enfriar y llegar a la temperatura de confort mientras que en Santo Domingo tarda 20 minutos, pero de igual manera solo llega a los 23°C y a partir de ahí la temperatura sube un grado. En nivel cuatro (100%) en la ciudad de Riobamba en modo aire fresco tarda 10 minutos en enfriarse la cabina hasta llegar a la temperatura de confort y en la ciudad de Santo Domingo tarda 20 min en llegar a 23°C constatando de que este modo es rentable para las ciudades de la Sierra, pero no de la Costa.

**Tabla 2-4:** Tiempo que tarda en enfriar la cabina de los vehículos en los diferentes modos del aire acondicionado de las ciudades de prueba

			Tiempo en enfriar la cabina [min]	Temperatura final de la cabina [°C]
<b>Ciudad de Riobamba</b>	Modo aire fresco	Uso del A/C al 50%	35	22
		Uso del A/C al 100%	10	22
	Modo recirculación	Uso del A/C al 50%	47	22
		Uso del A/C al 100%	11	22
<b>Ciudad de Santo Domingo</b>	Modo aire fresco	Uso del A/C al 50%	24	23
		Uso del A/C al 100%	20	23
	Modo recirculación	Uso del A/C al 50%	13	22
		Uso del A/C al 100%	11	22

Realizado por: Chica J., Vinueza M. 2022

En nivel cuatro (100%) se puede observar que no existe diferencia con el uso del modo recirculación entre las dos ciudades con un tiempo de 11 minutos que tarda en enfriar la cabina del vehículo, pero con el uso del modo aire fresco en las ciudades de la Sierra es factible debido a que estas ciudades al encontrarse en grandes altitudes el aire del exterior es frío ayudando a enfriar la cabina mientras que en las ciudades de la región Costa con pocas altitudes el aire es caliente y húmedo siendo una desventaja para usar este modo del sistema de aire acondicionado para enfriar las cabinas de los vehículos.

## CAPÍTULO V

### 5. MARCO PROPOSITIVO

#### 5.1 Nuevas líneas de investigación

Esta investigación al realizarlo con el vehículo estacionado, se tiene un campo limitado por ello para trabajos futuros se plantea realizar las pruebas en ruta, iniciando con unas pruebas en carretera recorriendo de una región a otra, teniendo un campo más extenso para el análisis de datos, además, se consideraría las cargas metabólicas, ayudando a una mejor comprensión del efecto de la incidencia de la radiación en el calentamiento de la cabina tomando en cuenta la humedad relativa provocada por dicha carga.

Otra línea de investigación es considerar las otras dos regiones del Ecuador debido a que se tienen diferentes climas, aquí se puede analizar la sensación térmica que provoca el clima húmedo de la región Amazónica y la brisa del mar de la región Insular, además que en la región insular se tiene un nivel bajo de altitud teniendo un comportamiento distinto al de la región Costa. También se puede realizar estudios en los cuales se consideren el tipo de ventana, las láminas de seguridad que vienen incorporados los vehículos en la actualidad y el polarizado, siendo otro de los factores que influyen en el calentamiento de la cabina del vehículo, el tamaño del vehículo es otro de los factores que se puede considerar ya que al ser vehículos tipo SUV vienen con una tercera fila de asientos, teniendo una mayor capacidad para la acumulación de calor.

Al utilizar un modelo térmico desarrollado con el programa TRNSYS, se consideran dos zonas para el análisis de la demanda térmica, esto se lo puede reducir a tan solo una zona ya que no existe pared física que impida la circulación libre del aire al interior la cabina del vehículo; se pueden utilizar otros tipos de modelos para el análisis de la demanda térmica del aire acondicionado, los cuales permitan obtener la demanda frigorífica del sistema de aire acondicionado que nos puedan ahorrar tiempo o tengan una interfaz más amigable para el desarrollo del cálculo.

Este trabajo de investigación ayuda a comprender de mejor manera la necesidad que existe al momento de refrigerar la cabina de un vehículo. Los vehículos que llegan al país al ser fabricados en otras partes del mundo llevan incorporado un sistema de aire acondicionado probado en esas zonas, sabiendo que el clima al que son expuestos para las respectivas pruebas no es el mismo

que se tiene en el Ecuador. La utilización del aire acondicionado varía al momento de utilizarlo, esto quiere decir que en las ciudades con mayor altitud se usará el aire a poca velocidad, mientras que en ciudades con climas cálidos y húmedos la utilización del sistema de aire acondicionado será diferente teniendo mayor demanda térmica, con esta investigación se logrará que futuras investigaciones ya tengan un enfoque más claro de cómo es el comportamiento de la cabina del vehículo al estar expuesto a la radiación solar y lograr la optimización del sistema de aire acondicionado, esto implicaría en desarrollar un análisis anual del comportamiento térmico del vehículo obteniendo datos relevantes que ayuden a dimensionar el condensador y evaporador para obtener un mejor COP (coeficiente de rendimiento) y que al ser implementado el nuevo sistema de aire acondicionado se reduzca el consumo energético y por ende la reducción del consumo de combustible y la emisión de gases contaminantes.

## CONCLUSIONES

En base a la revisión bibliográfica se determinó que se han realizado varios estudios enfocados al confort térmico de la cabina del vehículo en donde son pocos los estudios realizados en el Ecuador enfocados en una pequeña zona y en vehículos sedán, por esa razón se planteó el estudio de la influencia de la radiación solar en el calentamiento de la cabina de vehículos SUV siendo de los más vendidos en los últimos años. Esta revisión fue importante para poder tomar en cuenta los parámetros y condiciones necesarias para tener datos relevantes para realizar comparaciones y así dar como verídico los resultados experimentales obtenidos.

En el trabajo realizado se utilizó dos instrumentos para la medición de la radiación solar teniendo un margen de error +/- 5% del valor medido en el piranómetro SM206-SOLAR para la ciudad de Santo Domingo y para la ciudad de Riobamba el piranómetro SR11 HUKSEFLUX el cual tiene una alta precisión ya que cumple con la norma ISO 9060, obteniendo valores diferentes de radiación solar entre estas dos ciudades, además que los datos obtenidos de temperatura ambiente y humedad relativa en estas ciudades se lo realizó en distintas fechas teniendo un comportamiento distinto en el confort térmico de los vehículos.

En el presente trabajo de titulación se ha demostrado que se puede evaluar de forma experimental los siguientes parámetros: el color, apertura de ventanas, orientación y uso del aire acondicionado del vehículo, tanto para las ciudades de la Sierra y Costa ecuatoriana. Donde se dividió en varios escenarios para analizar la incidencia de la radiación solar y temperatura ambiente en el calentamiento de la cabina del vehículo. A continuación, se detallan los resultados más relevantes:

- En la ciudad de Riobamba, la diferencia que existe al analizar el color de cada vehículo es de 2,25°C del promedio, siendo mayor el vehículo oscuro a pesar de las películas polarizadas en ciertas zonas acristaladas. Al mantener el vehículo claro orientado hacia el Norte bajo la incidencia de la radiación solar se generó una reducción promedio de 18°C usando las ventanas semiabiertas con respecto a ventanas cerradas. Para la orientación Este del vehículo claro, bajó la incidencia de la radiación solar obteniendo una reducción promedio de 13°C usando las ventanas semiabiertas respecto a ventanas cerradas, siendo menor a la orientación Norte con 5°C de diferencia, debido a que el día de la experimentación del escenario ventanas semiabiertas orientación Este tuvo valores altos de radiación solar sobrepasando los 1400 W/m<sup>2</sup>, calentando más el interior del vehículo. El uso del sistema de aire acondicionado es más efectivo en la velocidad 4 en los modos de aire fresco y recirculación, reduciendo hasta el 70% de su activación con respecto a la velocidad 2.

- En la ciudad de Santo Domingo, la diferencia que existe del análisis de los colores de ambos vehículos es de 2,36°C del promedio, siendo mayor el vehículo oscuro por pocos grados, esto se debe a que ambos vehículos constan de películas polarizadas en sus cristales, pero el vehículo claro tiene mayor polarizado en sus cristales incluido el parabrisas delantero. El uso de las ventanas semiabiertas del vehículo claro orientado hacia el Norte tuvo una reducción promedio de 16°C con respecto a las ventanas cerradas. Mientras que el uso del sistema de aire acondicionado en modo recirculación en ambas velocidades será más efectivo que usarlo en modo aire fresco reduciendo su tiempo de activación, debido que el aire exterior tiene valores de temperatura ambiente de 27°C.

Finalmente, al tener datos de la influencia de la radiación solar en el calentamiento de la cabina de los vehículos tanto en la ciudad de Riobamba como en la ciudad de Santo Domingo, se analiza las diferencias que existen entre estas dos ciudades. Se ha considerado el uso de películas polarizadas y la utilización de modelos diferentes de vehículos, teniendo los siguientes resultados:

- En el escenario de colores la diferencia de temperaturas es de aproximadamente 1,18°C para los vehículos oscuros con temperaturas máximas de 53,24°C para la ciudad de Riobamba y 52,06°C para la ciudad de Santo Domingo y 1,29°C en los vehículos claros con temperaturas máximas de 50,99°C para la ciudad de Riobamba y 49,70°C para la ciudad de Santo Domingo, demostrando que existe mayor temperatura en la ciudad de Riobamba consecuente de valores altos de radiación solar en esta región.
- En el escenario de ventanas cerradas los vehículos claros se encontraron orientados al Norte en donde resulto que la ciudad de Riobamba la temperatura al interior del vehículo es aproximadamente 2°C más que en la ciudad de Santo Domingo debido a que la radiación solar en la región Sierra fue mayor que en la región Costa, a pesar de que ambos vehículos en estas dos ciudades constan de películas polarizadas en sus ventanas y parabrisas y tengan dimensiones similares.
- En el escenario de ventanas semiabiertas de los vehículos claros tanto para la ciudad de Riobamba como para la ciudad de Santo Domingo no existe una gran diferencia de temperatura debido a las infiltraciones del aire del exterior, teniendo temperaturas similares a la temperatura ambiente.
- En el uso del sistema de aire acondicionado, la velocidad 2 en modo aire fresco va a tardar en enfriar la cabina del vehículo por más de 20 minutos, lo que ocasiona incomodidad a los pasajeros y en la velocidad 4 el tiempo se reduce a la mitad siendo más eficiente, sin embargo, este modo solo es factible para la región Sierra mientras que en la región Costa no es aplicable ya que la temperatura ambiente supera los 27°C. En modo recirculación

la mejor manera de utilizarlo es a velocidad 4 ya que para ambas regiones el tiempo que tarda en enfriar la cabina del vehículo entre 10 y 11 minutos.

Por último, la humedad relativa para la ciudad de Riobamba y la ciudad de Santo domingo en todos los escenarios ya sea que el vehículo se encuentre con las ventanas cerradas o abiertas la humedad relativa al interior disminuirá mientras que la temperatura aumenta, debido a que el aire se vuelve seco y también al no existir cargas metabólicas por ocupantes.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda como primer punto la disponibilidad de varios vehículos de igual modelo para las regiones de la Sierra y Costa del Ecuador, así se podrá analizar todas las variables consideradas en esta investigación como son: vehículos de colores claros y oscuros para una mejor percepción de resultados, ya que cada color tiene una absorptividad, emisividad y reflectividad diferente, ventanas abiertas a un 50% y orientación del vehículo en donde se pueda ubicar varios vehículos orientados hacia el Norte y

Este con ventanas cerradas y ventanas semiabiertas, por último el uso del aire acondicionado en modo aire fresco y recirculación con el fin de analizar los resultados en dos vehículos de igual modelo en el mismo día.

En cuanto a los instrumentos de medición, es necesario que se use un mismo piranómetro para ambas regiones de preferencia uno con mayor exactitud, con rangos mínimos de error y con adquisición de datos ya que esto permitirá tener una base de datos solida teniendo mejores resultados al momento de graficar las curvas, o de ser el caso hacer uso de los instrumentos de las estaciones meteorológicas ya que permitirán obtener datos más limpios y precisos, también la instalación de más sensores de temperatura y humedad relativa para cubrir más áreas dentro de la cabina del vehículo.

Se deberá realizar todas las experimentaciones en condiciones climatológicas ideales de preferencia en épocas de verano que se dan normalmente entre los meses de junio y noviembre para la región Costa y de junio a septiembre para la región Sierra, para poder tener mayor calentamiento al interior del vehículo y comparar de manera ideal todos los escenarios sin interferencia de nubosidad.

Para tener un mejor criterio de las diferencias que existen entre los vehículos de colores claros y oscuros, es necesario conseguir vehículos que no cuenten zonas acristaladas polarizadas o considerar que los vehículos de prueba tengan el mismo tipo y nivel de polarizado en cada cristal, así se lograría tener un mejor efecto de la incidencia de la radiación solar en el calentamiento de la cabina de los vehículos.

Se recomienda que al realizar el ensayo de los escenarios en donde se determinó el tiempo en que demora en enfriarse la cabina del vehículo con el uso del sistema de aire acondicionado, se debe instalar más sensores para cubrir más zonas y estar seguros de que la temperatura de confort a la

que se quiere llegar sea la misma para toda la cabina, además se debe considerar que cada vehículo consta de diferentes tipos de perillas y modos de circulación de aire, por lo que si se toma en cuenta cada modo se tendría un campo más amplio para saber en qué modo se logra enfriar la cabina del vehículo mucho más rápido.

## GLOSARIO

**Conducción:** Es la transferencia de calor a través de un material sólido. Aquellos metales, como cobre y aluminio, son buenos conductores de energía calorífica. Los vidrios, las cerámicas y los plásticos son relativamente pobres conductores de energía calorífica y frecuentemente se usan como aislantes térmicos. Todos los gases son malos conductores de energía calorífica. Una combinación de vidrio expandido o fibra de cerámica rellena con aire es un excelente aislante térmico

**Convección:** Es la transferencia de energía calorífica mediante la circulación y difusión del medio calentado. Es el método más comúnmente utilizado para el calentamiento de fluidos o gases y también la aplicación más frecuente de elementos y conjuntos tubulares eléctricos.

**Radiación:** Es la transferencia de energía calorífica por ondas electromagnéticas (infrarrojas) y es muy diferente a la conducción y a la convección. La conducción y la convección tienen lugar cuando el material que se está calentando está en contacto directo con la fuente de calor. En el calentamiento infrarrojo, no hay contacto directo con la fuente de calor. La energía infrarroja viaja en línea recta a través del espacio o el vacío (similar a la luz) y no genera calor hasta que es absorbida. La energía calorífica convertida se transmite entonces en el material mediante una convección o una conducción.

**Conductividad térmica:** Es la capacidad de un material para transmitir energía calorífica mediante la conducción. La conductividad térmica se identifica como “ $k$ ” y se expresa, por lo regular, en unidades térmicas británicas por pulgada lineal (o pie) por hora por pie cuadrado de área por grado Fahrenheit.

**Emisividad:** La emisividad de una superficie representa la razón entre la radiación emitida por la superficie a una temperatura dada y la radiación emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura.

**Absortividad:** Los cuerpos reciben potencia calorífica que llega en forma de radiación electromagnética, pero en general no absorben toda la potencia perfectamente, sino solamente una parte. La proporción de la radiación total que un cuerpo absorbe es la absortividad, que suele indicarse con la letra griega  $\alpha$ .

**Transmisividad:** La transmisividad es la proporción de la radiación que incide sobre un cuerpo y que acaba transmitiéndose a través de él sin ser absorbida ni reflejada. Los cuerpos opacos tienen una transmisividad  $\tau$  efectivamente nula.

**Reflectividad:** Los cuerpos perfectamente negros absorben toda la radiación que les llega, pero son un caso especial. Generalmente, un cuerpo refleja parte de la radiación que incide sobre él.

La proporción de la radiación que el cuerpo refleja es la reflectividad, que a menudo aparece indicada con la letra griega con la letra griega  $\rho$ .

**Humedad absoluta:** Humedad absoluta es la cantidad de vapor de agua (comúnmente medido en gramos) contenido en un determinado volumen de aire (comúnmente un m<sup>3</sup>). Así pues, la humedad absoluta la mediremos en gramos de vapor de agua por metro cúbico de aire.

**Humedad específica:** Es el mismo concepto que la humedad absoluta, pero cambiando las unidades de medición, en este caso hablamos de kg de agua por kg de aire seco. Tanto en la humedad absoluta como en la específica, el agua siempre está en forma de vapor (gas).

**Humedad relativa:** Es la relación entre cantidad de vapor de agua contenida en el aire (humedad absoluta) y la máxima cantidad que el aire sería capaz de contener a esa temperatura (humedad absoluta de saturación).

**Confort térmico:** La norma ISO 7730:2005 sobre ergonomía del ambiente térmico, define el confort térmico como la sensación térmica experimentada por el ser humano relacionada con el equilibrio térmico global de su cuerpo. Además, en dicha norma se indica que es la condición de la mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico que rodea al individuo.

**Inercia térmica:** La inercia térmica es la propiedad que indica la cantidad de calor que puede conservar un cuerpo y la velocidad con la que cede o absorbe. Esta depende de la masa, el calor específico de sus materiales y del coeficiente de conductividad térmica.

**Lámina polarizada:** Consiste en la aplicación de una lámina de poliéster metalizado de alta resistencia que se adhiere a la cara interior del vidrio, cualquiera sea su tamaño o forma.

## BIBLIOGRAFÍA

**ACOSTA CORRAL, Miguel Antonio; & TELLO FLORES, William Paúl.** Estudio del aire acondicionado en el consumo de combustible, potencia del motor y confort térmico en la cabina de un vehículo liviano [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2016. [Consulta 2022-12-15]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15960>

**AGENCIA ESTATAL DE METROLOGÍA,** *Tabla de valores de sensación térmica por frío* [En línea], 2022, (España). [Consulta 12 diciembre 2022]. Disponible en: [https://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/montana/sensacion\\_termica/SensacionTermicaPorFrio-Calor-AEMET.pdf](https://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/montana/sensacion_termica/SensacionTermicaPorFrio-Calor-AEMET.pdf)

**AL-KAYIEM, Hussain H; et al,** “Study on the Thermal Accumulation and Distribution Inside a Parked Car Cabin”. *American Journal of Applied Sciences* [En línea], 2010, (Malaysia) Vol. 7 (No 6), pp. 784–789. [Consulta 10 diciembre 2022]. Numero SSN 1546-9239. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/46179184\\_Study\\_on\\_the\\_Thermal\\_Accumulation\\_and\\_Distribution\\_Inside\\_a\\_Parked\\_Car\\_Cabin](https://www.researchgate.net/publication/46179184_Study_on_the_Thermal_Accumulation_and_Distribution_Inside_a_Parked_Car_Cabin)

**ÁLVAREZ HERNÁNDEZ, Orlando; et al.** *Energías renovables en la región sur de Ecuador* [En línea]. Loja- Ecuador: 18 septiembre 2018. [Consulta: 15 octubre 2022]. Disponible en: [https://www.academia.edu/40413558/ENERGIAS\\_RENOVABLES\\_EN\\_LA\\_REGI%C3%93N\\_SUR\\_DE\\_ECUADOR\\_Energ%C3%ADa\\_Solar\\_Tomo\\_1](https://www.academia.edu/40413558/ENERGIAS_RENOVABLES_EN_LA_REGI%C3%93N_SUR_DE_ECUADOR_Energ%C3%ADa_Solar_Tomo_1)

**AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS.** “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy”. *ASHRAE STANDARD* [en línea], 2010, (United State of America). pp. 5-12. [Consulta: 12 diciembre 2022]. ISSN 1041-2336. Disponible en [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org)

**ASOCIACIÓN DE EMPLEADOS AUTOMOTRICES DEL ECUADOR.** *Sector Automotor En Cifras* [En línea], 2022, (Ecuador). (No 69), pp 1-16. [Consulta 12 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2022/07/5.-Sector-en-Cifras-Ingles-Resumen-Mayo-1.pdf>

**ASOCIACIÓN NACIONAL DE DISTRIBUIDORES DE LA INDUSTRIA DE LA REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO.** *Confort sobre ruedas.* [Consulta: 3 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.andira.org.mx/2020/07/27/confort-sobre-ruedas/>

**CABRERA MATA, Francisco.** “Sistemas de climatización de automóviles Problemática medioambiental de los refrigerantes”. *Ingenierías* [En línea], 2004, (España) vol. 7 (no 22), pp. 20-26. [Consulta: 10 diciembre 2022]. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://eprints.uanl.mx/17451/1/sistemas.PDF>

**CENGEL, Yunus A.; & GHAJAR, Afshin J.** *Transferencia de calor y masa: fundamentos y aplicaciones*, tercera edición. México: McGraw-Hill Interamericana, 2007. ISBN: 978-607-15-0540-8.

**CLIMATE DATA.** *Datos Climáticos Mundiales* [En línea]. [Consulta: 10 diciembre 2022]. Disponible en: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador-63/>

**CONCEIÇÃO, E. Z. E.; et al.** “A computational model to simulate the thermal behaviour of the passengers compartment of vehicles”. *Society of Automotive Engineer 1984 Transactions* [En Línea], 2018, (United State of America) vol 108, pp. 1483-1492. [Consulta: 10 diciembre 2022]. ISSN 0148-7191. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/44668021>

**CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN ENERGÉTICA.** *Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica* [En línea]. Quito- Ecuador: 2008. [Consultado 1 diciembre 2022]. Disponible en: <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00041.pdf>

**DADOUR, I. R.; et al.** “Temperature variations in a parked vehicle”. *Forensic science international* [En Línea], 2011, (Australia) vol. 207 (no 1-3), pp. 205-211. [Consulta: 10 diciembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.10.009>

**DARREA.** *Gama de instrumentos, soluciones y servicios meteorológicos innovadores* [blog]. Barcelona: 2022. [Consulta: 1 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.darrera.com/wp/es/>

**EXTECH INSTRUMENTS CORPORATION.** *Mini Thermo-Anemometer Series*. India: 23 de febrero, 2011. [Consultado 15 diciembre 2022]. Disponible en: [https://www.fondriest.com/pdf/extech\\_45118\\_spec.pdf](https://www.fondriest.com/pdf/extech_45118_spec.pdf)

**FAYAZBAKSH, Mohammad; & BAHRAMI, Majid.** “Comprehensive modeling of vehicle air conditioning loads using heat balance method”. *SAE International Technical Paper* [en línea], 2013, (Canadá). [Consulta: 1 diciembre 2022]. ISSN 0148-7191. Disponible en doi:10.4271/2013-01-1507

**HALBERSTADT, Jason.** *Ecuador Explorer* [Blog]. [Consulta: 3 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.ecuadorexplorer.com/>

**INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA,** *Temperatura mínimas del Ecuador*. [Consulta: 3 diciembre 2022]. Disponible en: [www.inamhi.gob.ec/](http://www.inamhi.gob.ec/)

**JUTGLAR, Lluís.** *Energía solar*. Barcelona-España: Ediciones Ceac, 2004. ISBN 84-329-1063-5.

**KHAYYAM, Hamid; et al.** “Coordinated energy management of vehicle air conditioning system”. *Applied thermal engineering* [en línea], 2011, (Australia) vol. 31 (no 5), pp. 750-764. [Consulta: 1 diciembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.10.022>

**KINTECH ENGINEERING**, *Productos Pirnometros* [En línea]. [Consulta: 10 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.kintech-engineering.com/es/catalogue/solar-es/hukseflux-sr11/>

**LAMBERT, M. A.; & JONES, B. J.** “Automotive adsorption air conditioner powered by exhaust heat. Part 1: Conceptual and embodiment design”. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering* [en línea], 2006, Vol. 220 (no. 7), pp. 959–972. [Consulta: 1 diciembre 2022]. Disponible en: <http://pid.sagepub.com/content/220/7/959>

**LEVINSON, Ronnen; et al.** “Potential benefits of solar reflective car shells: Cooler cabins, fuel savings and emission reductions”. *Applied Energy* [en línea], 2011, (United State of America) vol. 88 (no 12), pp. 4343-4357. [Consulta: 1 diciembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.05.006>

**MARCOS, David, et al.** “The development and validation of a thermal model for the cabin of a vehicle”. *Applied Thermal Engineering* [en línea], 2014, (España) vol. 66 (no 1-2), pp. 646-656. [Consulta: 1 diciembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.02.054>

**MATA CARRERA, Francisco.** “El confort térmico en los vehículos y su impacto medioambiental”. *Técnica industrial* [en línea], 2005, (no 259), pp. 64-69. [Consulta: 1 diciembre 2022]. ISSN 0040-1838 Disponible en: <https://www.tecnicaindustrial.es/wp-content/uploads/Numeros/19/15/a15.pdf>

**MENESES ARÉVALO, Alexis; TOLOZA CANO, Daissy Carola.** *DALCAME Grupo de Investigaciones Biomedicas Proyectos* [Blog]. [Consulta: 2 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.dalcame.com/tc.html>

**NAYLAMP MECHATRONICS SAC.** *Sensor de temperatura digital DS18B20*. Perú: 2021. [Consulta: 10 diciembre 2022]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/16-sensor-de-temperatura-digital-ds18b20.html>

**OLAZO GÓMEZ, Yessenia.** Análisis térmico de una ventana de vidrio doble con película de control solar [En línea] (Trabajo de Titulación). Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Departamento de Ingeniería Mecánica. Tuxtla Gutiérrez (Chiapas- México) 2012. [Consulta: 1 diciembre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.digital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/handle/123456789/1199>

**RAIG.** *Instrumentación meteorológica, óptica y astronómica*. España: 2022. [Consulta: 1 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.raig.com/>

**REDROVÁN INGA, Kleber Josué.** Aplicación de sistemas de información geográfico para el análisis espacial de la variable radiación solar en la ciudad de Cuenca (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Carrera de Ingeniería Ambiental. Cuenca – Ecuador. 2018. pp. 20. [Consulta: 2 diciembre 2022]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15631>

**ROJOS REINOSO, Vicente; et al.** “Control de la temperatura en el interior del habitáculo de un vehículo”. *Lámpsakos* [en línea], 2020, (Colombia), (no 23), pp. 79-91. [Consulta: 2 diciembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.21501/21454086.3462>

**TORREGROSA-JAIME, Bárbara; et al.** “Transient thermal model of a vehicle's cabin validated under variable ambient conditions”. *Applied Thermal Engineering* [en línea], 2015, (España) vol. 75, pp. 45-53. [Consulta: 5 diciembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.05.074>

**TRUJILLO TELLO, Juan Miguel; & MACHADO SOLÍS, Christian Javier.** Desarrollo de un modelo térmico de la cabina de un vehículo para predecir su comportamiento térmico bajo varias condiciones ambientales exteriores [En línea] (Trabajo de Titulación). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz. Riobamba-Ecuador. 2021. [Consulta: 2 diciembre 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15472>

**TSENG, C.-Y.; et al.** “Thermal accumulation in a general car cabin model”. *Journal of Fluid Flow, Heat and Mass Transfer* [en línea], 2014, (Taiwan) vol. 1, pp. 48-56. [Consulta: 2 diciembre 2022]. Disponible en: <https://jffhmt.aveSTIA.com/2014/008.html>

**VARELA, Andrea, & RON, Santiago,** *Geografía y Clima del Ecuador*. BIOWEB. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 31 enero 2018. [Consulta: 15 octubre 2022]. Disponible en: <https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb/GeografiaClima.html>

**VÁSCONEZ NÚÑEZ, Daniela C., et al.** “Development and validation of a dynamic thermal model of a minibus using TRNSYS”. *International Journal of Vehicle Design* [en línea], 2018, (España) vol. 77 (no 1-2), pp. 87-107. [Consulta: 2 diciembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1504/IJVD.2018.098272>

**VÁSCONEZ NÚÑEZ, Daniela Carina.** Desarrollo de un modelo para el cálculo del consumo de climatización en vehículos de pasajeros urbanos. [En línea] (Trabajo de Titulación). (Doctoral) Universidad Politécnica de Valencia. Valencia- España. 2019. [Consulta: 15 diciembre 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/121133>

**VELASCO, Gerardo F.; & CABRERA, Edgar.** “Generación solar fotovoltaica dentro del esquema de generación distribuida para la provincia de Imbabura”. 2009, (Ecuador), pp. 1-7. [Consulta: 2 diciembre 2022]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/9350>

**VIAINDUSTRIAL.** “Solar Energy Radiation Meters”, *Medidores de radiaciones de energía solar SM-206 Dr. Meter* [en línea]. [Consulta: 3 diciembre 2022]. Disponible en: [www.viaindustrial.com](http://www.viaindustrial.com)

**VINTIMILLA PALACIOS, Alfredo Ignacio.** Análisis de factores climáticos en las diferentes regiones del Ecuador para el diseño de pavimentos [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil.

Guayaquil- Ecuador. 2014. [Consulta: 2 diciembre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/1356>

**WELSTAND, J. Steve; & et al.** “Evaluation of the effects of air conditioning operation and associated environmental conditions on vehicle emissions and fuel economy”. *SAE International Technical Paper* [en línea], 2003, (United State of America) vol 112, pp. 1993-2006. [Consulta: 1 diciembre 2022]. ISSN 0148-7191. Disponible en <https://www.jstor.org/stable/44742419>

## ANEXOS

### ANEXO A: CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include "DHT.h"
#include <SPI.h>
#include <SD.h>

//-----
-----

OneWire ourWire1(2); //Se establece el pin 2 como bus OneWire
OneWire ourWire2(3); //Se establece el pin 3 como bus OneWire
OneWire ourWire3(11); //Se establece el pin 4 como bus OneWire
OneWire ourWire4(5); //Se establece el pin 5 como bus OneWire
OneWire ourWire5(6); //Se establece el pin 6 como bus OneWire
OneWire ourWire6(7); //Se establece el pin 7 como bus OneWire
OneWire ourWire7(8); //Se establece el pin 8 como bus OneWire
OneWire ourWire8(9); //Se establece el pin 9 como bus OneWire
OneWire ourWire9(10); //Se establece el pin 10 como bus OneWire

//-----
-----

DallasTemperature Sensor1(&ourWire1); //Se declara una variable para nuestro
sensor1
DallasTemperature Sensor2(&ourWire2); //Se declara una variable para nuestro
sensor2
DallasTemperature Sensor3(&ourWire3); //Se declara una variable para nuestro
sensor3
DallasTemperature Sensor4(&ourWire4); //Se declara una variable para nuestro
sensor4
DallasTemperature Sensor5(&ourWire5); //Se declara una variable para nuestro
sensor5
DallasTemperature Sensor6(&ourWire6); //Se declara una variable para nuestro
sensor6
DallasTemperature Sensor7(&ourWire7); //Se declara una variable para nuestro
sensor7
DallasTemperature Sensor8(&ourWire8); //Se declara una variable para nuestro
sensor8
DallasTemperature Sensor9(&ourWire9); //Se declara una variable para nuestro
sensor9

//-----
-----

#define DHTPIN1 12
#define DHTPIN2 13
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht1(DHTPIN1, DHTTYPE);
DHT dht2(DHTPIN2, DHTTYPE);
```

```

File myFile;

void setup() {
delay(1000);
Serial.begin(9600);_
Sensor1.begin(); //Se inicia el sensor 1
Sensor2.begin(); //Se inicia el sensor 2
Sensor3.begin(); //Se inicia el sensor 3
Sensor4.begin(); //Se inicia el sensor 4
Sensor5.begin(); //Se inicia el sensor 5
Sensor6.begin(); //Se inicia el sensor 6
Sensor7.begin(); //Se inicia el sensor 7
Sensor8.begin(); //Se inicia el sensor 8
Sensor9.begin(); //Se inicia el sensor 9
dht1.begin(); //Se inicia el sensor 10
dht2.begin(); //Se inicia el sensor 11
Serial.print("Iniciando SD ...");
  if (!SD.begin(4)) {
    Serial.println("No se pudo inicializar");
    return;
  }
  Serial.println("inicializacion exitosa");
}

void loop() {

myFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE); //abrimos el archivo

  for(int i = 1; i<10; i++){

    if (myFile) {

Sensor1.requestTemperatures(); //Se envía el comando para leer la
temperatura
    float temp1= Sensor1.getTempCByIndex(0); //Se obtiene la temperatura en ºC del
sensor 1
Sensor2.requestTemperatures(); //Se envía el comando para leer la
temperatura
    float temp2= Sensor2.getTempCByIndex(0); //Se obtiene la temperatura en ºC del
sensor 2
Sensor3.requestTemperatures(); //Se envía el comando para leer la
temperatura
    float temp3= Sensor3.getTempCByIndex(0); //Se obtiene la temperatura en ºC del
sensor 3
Sensor4.requestTemperatures(); //Se envía el comando para leer la
temperatura

```

```

    float temp4= Sensor4.getTempCByIndex(0); //Se obtiene la temperatura en °C del
sensor 4
Sensor5.requestTemperatures(); //Se envía el comando para leer la
temperatura
    float temp5= Sensor5.getTempCByIndex(0); //Se obtiene la temperatura en °C del
sensor 5
Sensor6.requestTemperatures(); //Se envía el comando para leer la
temperatura
    float temp6= Sensor6.getTempCByIndex(0); //Se obtiene la temperatura en °C del
sensor 6
Sensor7.requestTemperatures(); //Se envía el comando para leer la
temperatura
    float temp7= Sensor7.getTempCByIndex(0); //Se obtiene la temperatura en °C del
sensor 7
Sensor8.requestTemperatures(); //Se envía el comando para leer la
temperatura
    float temp8= Sensor8.getTempCByIndex(0); //Se obtiene la temperatura en °C del
sensor 8
Sensor9.requestTemperatures(); //Se envía el comando para leer la
temperatura
    float temp9= Sensor9.getTempCByIndex(0); //Se obtiene la temperatura en °C del
sensor 9

    float h1 = dht1.readHumidity(); //Se envía el comando para leer la humedad relativa
1
    float t1 = dht1.readTemperature(); //Se envía el comando para leer la temperatura 1
    float hic1 = dht1.computeHeatIndex(t1, h1, false); //Se envía el comando para leer
la sensación térmica 1

    float h2 = dht2.readHumidity(); //Se envía el comando para leer la humedad relativa
2
    float t2 = dht2.readTemperature(); //Se envía el comando para leer la temperatura 2
    float hic2 = dht2.computeHeatIndex(t2, h2, false); //Se envía el comando para leer
la sensación térmica 2
myFile.println(" ");
myFile.print(temp1); myFile.print(",");
myFile.print(temp2); myFile.print(",");
myFile.print(temp3); myFile.print(",");
myFile.print(temp4); myFile.print(",");
myFile.print(temp5); myFile.print(",");
myFile.print(temp6); myFile.print(",");
myFile.print(temp7); myFile.print(",");
myFile.print(temp8); myFile.print(",");
myFile.print(temp9); myFile.print(",");
myFile.print(h1); myFile.print(",");
myFile.print(h2); myFile.print(",");
myFile.print(t1); myFile.print(",");
myFile.print(t2); myFile.print(",");

```

```

myFile.print(hic1); myFile.print(",");
myFile.print(hic2); myFile.print(",");
myFile.print("\n");

myFile.close(); //cerramos el archivo

Serial.println(" ");
Serial.print(temp1); Serial.print(","); //Imprimimos la lectura del sensor 1
Serial.print(temp2); Serial.print(","); //Imprimimos la lectura del sensor 2
Serial.print(temp3); Serial.print(","); //Imprimimos la lectura del sensor 3
Serial.print(temp4); Serial.print(","); //Imprimimos la lectura del sensor 4
Serial.print(temp5); Serial.print(","); //Imprimimos la lectura del sensor 5
Serial.print(temp6); Serial.print(","); //Imprimimos la lectura del sensor 6
Serial.print(temp7); Serial.print(","); //Imprimimos la lectura del sensor 7
Serial.print(temp8); Serial.print(","); //Imprimimos la lectura del sensor 8
Serial.print(temp9); Serial.print(","); //Imprimimos la lectura del sensor 9
Serial.print(h1); Serial.print(","); //Imprimimos la lectura del sensor 10
Serial.print(h2); Serial.print(","); //Imprimimos la lectura del sensor 11
Serial.print(t1); Serial.print(","); //Imprimimos la lectura del sensor 10
Serial.print(t2); Serial.print(","); //Imprimimos la lectura del sensor 11
Serial.print(hic1); Serial.print(","); //Imprimimos la lectura del sensor 10
Serial.print(hic2); Serial.print(","); //Imprimimos la lectura del sensor 11

Serial.print("\n");

delay(60000); //tiempo de testeo por cada 60 segundos
}
}
}

```

## ANEXO B: EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS DE RADIACIÓN SOLAR



**ANEXO C: TOMA DE MEDIDAS DE LAS SUPERFICIES DEL VEHÍCULO PARA EL CÁLCULO DE ÁREAS**



**ANEXO D: POLARIZACIÓN DE VENTANAS Y PARABRISAS POSTERIOR EN EL VEHÍCULO OSCURO**



**ANEXO E: OBTENCIÓN DE VELOCIDAD Y TEMPERATURA A LA SALIDA DE REJILLAS DEL AIRE ACONDICIONADO**



**ANEXO F: PARABRISAS POLARIZADO DEL VEHÍCULO CLARO A DIFERENCIA DEL VEHÍCULO OSCURO**

