

Influencia de la radiación solar en el comportamiento térmico de vehículos en el Ecuador

Jorge A. Chica-Yuqui¹, Michael P. Vinueza-Cisneros², Daniela C. Vásconez-Núñez³, Fernando M. Tello-Oquendo⁴

¹Carrera de Ingeniería Automotriz, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador. Email: jorge.chica@epoch.edu.ec

²Carrera de Ingeniería Automotriz, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador. Email: michael.vinueza@epoch.edu.ec

³Carrera de Ingeniería Industrial, Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador. Email: daniela.vasconez@epoch.edu.ec

⁴Carrera de Ingeniería Automotriz, Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador. Email: Fernando.tello@epoch.edu.ec

Resumen

El objetivo del aire acondicionado (A/C) automotriz es garantizar el confort térmico de los pasajeros regulando la temperatura y humedad del aire interior del habitáculo [1]. El uso de este sistema incrementa el consumo de combustible del vehículo y, por ende, las emisiones de gases efecto invernadero hacia la atmósfera. 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 [2]. El calentamiento del aire interior de los vehículos depende de varias cargas térmicas al que está expuesto, siendo la radiación solar la más importante. La posición geográfica del Ecuador permite una exposición directa casi perpendicular a los rayos solares, lo que resulta en una carga térmica significativa sobre las superficies expuestas del vehículo. El valor medio aproximado de la radiación solar global en Ecuador es de 4200 kWh/año [3]. Por lo tanto, es importante entender como los vehículos interactúan con el entorno térmico local para desarrollar estrategias que minimicen el consumo de energía y reduzcan el impacto ambiental.

El presente trabajo tiene como objetivo estudiar la influencia de la radiación solar en el Ecuador sobre el calentamiento de los vehículos. Para ello, se escogieron dos vehículos tipo de vehículo SUV de un color claro y otro oscuro para los análisis experimentales, en donde se realizaron mediciones de radiación solar, temperatura ambiental y temperatura interior de los vehículos estacionados en el exterior bajo la incidencia de la radiación solar, de 09h00 a 17h00. La radiación solar se midió con un piranómetro SR11 Hukseflux con una desviación máxima de $\pm 10 \text{ W/m}^2$; las temperaturas se midieron con termorresistencias tipo DS18B20 con una desviación máxima de $\pm 0.5^\circ\text{C}$, los sensores fueron ubicados en el tablero de instrumentos, parte posterior, ventanas, exterior del vehículo, asientos y cabeceras. Para los ensayos se seleccionaron las ciudades de Santo Domingo y Riobamba que representan a la región Costa y Sierra ecuatoriana, respectivamente. Los parámetros considerados en el estudio fueron la orientación del vehículo, el color, la apertura de ventanas, y el uso del aire acondicionado. Para determinar la demanda térmica se implementó un modelo térmico dinámico de la cabina del vehículo basado en el método de balance de calor [4, 5], que considera la transferencia de calor en superficies opacas y acristaladas, características geométricas y constructivas de las superficies del vehículo.

Los resultados muestran que la temperatura interior en vehículos oscuros supera en $2,30^\circ\text{C}$ a los vehículos claros; la temperatura interior de los vehículos se reduce hasta en 20°C cuando se abren las ventanas a la mitad, en las dos ciudades. El tiempo que se demora el sistema de A/C para conseguir una temperatura en condiciones de confort es de 22 y 27 minutos en las ciudades de Riobamba y Santo Domingo, respectivamente. El vehículo oscuro orientado al norte tiene una demanda térmica que supera en 63 kWh a cuando está orientado al este. Este estudio es importante para la optimización de los sistemas de aire acondicionado automotriz en regiones de alta radiación solar como el Ecuador, en donde se aborden las preocupaciones ambientales y de eficiencia energética.

Palabras clave: radiación solar; carga térmica; vehículos; aire acondicionado automotriz.

Abstract

The objective of automotive air conditioning (A/C) is to guarantee passengers' thermal comfort by regulating the temperature and humidity of the air inside the cabin [1]. Using this system increases the vehicle's fuel consumption and, therefore, greenhouse gas emissions into the atmosphere. Studies in Europe, Asia, and North America show that fuel consumption increases between 12 and 17% in subcompact and light vehicles [2]. The heating of the air inside vehicles depends on various thermal loads to which it is exposed, solar radiation being the most important. The geographical position of the Equator allows for direct, almost perpendicular exposure to the sun's rays, resulting in a significant thermal load on the exposed surfaces of the vehicle. The approximate average value of global solar radiation in Ecuador is 4200 kWh/year [3]. Therefore, it is important to understand how vehicles interact with the local thermal environment to develop strategies that minimize energy consumption and reduce environmental impact.

The objective of this work is to study the influence of solar radiation in Ecuador on vehicle heating. For this, two SUV-type vehicles of light and dark color were chosen for the experimental analyses, where measurements of solar radiation, ambient temperature, and interior temperature of the vehicles parked outside under the incidence of radiation were carried out. solar, from 9:00 a.m. to 5:00 p.m. Solar radiation was measured with an SR11 Hukseflux pyranometer with a maximum deviation of $\pm 10\text{W/m}^2$; The temperatures were measured with DS18B20 type resistance thermometers with a maximum deviation of $\pm 0.5^\circ\text{C}$, the sensors were located on the instrument panel, back, windows, exterior of the vehicle, seats and headrests. For the trials, the cities of Santo Domingo and Rio-Bamba were selected, representing the Ecuadorian Coast and Sierra region, respectively. The parameters considered in the study were the orientation of the vehicle, the color, the opening of windows, and the use of air conditioning. To determine the thermal demand, a dynamic thermal model of the vehicle cabin was implemented based on the heat balance method [4, 5], which considers heat transfer on opaque and glazed surfaces, and geometric and constructive characteristics of the vehicle surfaces. vehicle.

The results show that the interior temperature in dark vehicles is 2.30°C higher than in light vehicles; The interior temperature of vehicles is reduced by up to 20°C when the windows are opened halfway, in both cities. The time it takes for the A/C system to reach a temperature in comfortable conditions is 22 and 27 minutes in the cities of Riobamba and Santo Domingo, respectively. The dark vehicle facing north has a thermal demand that is 63 kWh higher than when facing east. This study is important for the optimization of automotive air conditioning systems in regions of high solar radiation such as Ecuador, where environmental and energy efficiency concerns are addressed.

Keywords: solar radiation; thermal load; vehicles; automotive air conditioning.

1. Introducción

En países ubicados en la línea ecuatorial, como el Ecuador, la intensidad de la radiación solar es considerablemente alta durante todo el año. Álvarez et al. [6] 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 [7] 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^2 y CIE [8] 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.

La radiación solar que incide sobre la cabina del vehículo afecta al confort térmico de las personas que están en su interior y al consumo de sistemas de aire

acondicionado (A/C) aumentando el consumo de combustible y las emisiones de efecto invernadero.

La temperatura interna de un vehículo puede superar fácilmente los 50°C cuando está estacionado bajo el sol, una situación común en muchas ciudades ecuatorianas. Este fenómeno, conocido como efecto invernadero, ocurre cuando la radiación solar penetra a través de las superficies opacas y acristaladas y es absorbida por los asientos, el tablero y otros componentes interiores, convirtiéndose en radiación infrarroja que queda atrapada dentro del habitáculo ([9],[10]) (Guerra et al., 2020; Lomas & Bowman, 2016).

Para mitigar los efectos de la radiación solar en el comportamiento térmico de los vehículos, se han propuesto diversas estrategias. Una de las más efectivas es el uso de vidrios polarizados o películas protectoras que reducen la cantidad de radiación solar que penetra en el interior del vehículo ([11], [12])(Holmgren et al., 2020; Tzempelikos & Athienitis, 2007). Estas tecnologías pueden disminuir significativamente la temperatura interna y la carga térmica del sistema de aire acondicionado, mejorando

el confort de los pasajeros y reduciendo el consumo de combustible.

Otra estrategia importante es el diseño de vehículos con materiales y colores que reflejen más la radiación solar. Los colores claros y los materiales con alta reflectancia solar pueden ayudar a mantener las superficies exteriores del vehículo más frías, reduciendo así la transferencia de calor al interior ([13], [14]) (Levinson et al., 2015; Synnefa et al., 2007). Además, los avances en la tecnología de aislamiento térmico y los sistemas de ventilación pasiva también pueden contribuir a mejorar el comportamiento térmico de los vehículos en climas cálidos.

Un estudio realizado por Levinson et al. [13] reveló que la aplicación de pinturas reflectantes en los techos de los vehículos puede reducir la temperatura interna en hasta 5°C, mejorando significativamente el confort térmico. Además, Holmgren et al. [11] encontraron que las películas solares avanzadas pueden reducir la entrada de calor en un 40%, lo que disminuye la carga sobre el sistema de aire acondicionado. El-Morsi et al. (2018) [15] demostraron que los vehículos con ventanas tintadas de alta eficiencia pueden mantener temperaturas internas hasta 15°C más bajas que los vehículos sin estas modificaciones. Barreca et al. (2016) [16] subrayaron la importancia de los sistemas de climatización eficientes, señalando que el uso de tecnologías avanzadas podría reducir el consumo de energía del aire acondicionado en un 20%. Finalmente, Guerra et al. (2020) [9] destacaron que la radiación solar directa puede aumentar la temperatura de los materiales interiores en más de 30°C, lo que refuerza la necesidad de estrategias de mitigación efectivas.

El presente artículo presenta un análisis de la influencia de la radiación solar en el comportamiento térmico de vehículos en el Ecuador, considerando factores como el aumento de la temperatura interna, la carga térmica y las estrategias de mitigación. Se realizaron diferentes mediciones experimentales. La comprensión de estos factores es crucial para el desarrollo de vehículos más eficientes y sostenibles en regiones con alta radiación solar.

2. Metodología

En esta sección se describe la campaña experimental realizada para medir la temperatura y humedad relativa del interior de la cabina de un vehículo. Se seleccionaron 2 ciudades de Ecuador para realizar el análisis de la influencia de la radiación solar, las ciudades escogidas fueron Santo Domingo y Riobamba perteneciente a la región Costa y Sierra, respectivamente. Se utilizaron 2 vehículos tipo SUV de diferente color para la recolección de los datos. Dichos datos serán comparados para conocer la influencia de la radiación solar en el calentamiento de los vehículos en estas dos ciudades.

2.1. Campaña experimental

Para la campaña experimental se tomó en consideración los siguientes aspectos:




- Color del vehículo
- Orientación del vehículo
- Posición de las ventanas del vehículo.
- Uso del sistema de aire acondicionado

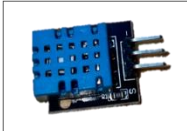

Se analizaron 6 escenarios en la campaña experimental, los cuales se repitieron en Santo domingo y Riobamba. Los escenarios son:

- Vehículos estacionados en el exterior con dirección Norte de diferente color
- Vehículo estacionado en el exterior con dirección al Norte con todas las ventanas semi abiertas
- Vehículo estacionado en el exterior con dirección al este
- Vehículo estacionado en el exterior con dirección al Este con todas las ventanas semi abiertas
- Vehículos estacionados en el exterior con el uso del aire acondicionado al 50% y 100% en modo aire fresco
- Vehículos estacionados en el exterior con el uso del aire acondicionado al 50% y 100% en modo recirculación

La Tabla 1, muestra los equipos utilizados para medir la temperatura, radiación solar y velocidad del viento.

Tabla 1. Instrumentos utilizados en la campaña experimental.

Equipo	Características
Piranómetro SM206-SOLAR	 <p>Precisión $\pm 10\text{W/m}^2$ Rango (1 a 3999 W/m^2)</p>
Piranómetro SR11 Hukseflux	 <p>Alta precisión Norma ISO 9060</p>
Sensores de temperatura DS18B20	 <p>Precisión $\pm 0,5^\circ\text{C}$ Rango (-10°C a 85°C)</p>

Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11	<div><p>Precisión $\pm 5\%$ HR Rango (20% a 90% HR)</p></div>
Anemómetro digital	<div><p>Precisión Temperatura $\pm 1^{\circ}\text{C}$ Rango (-18°C a 50°C) Precisión velocidad aire $\pm 0,2$ m/s Rango (0,5 a 28 m/s)</p></div>

Se ubicaron 10 sensores de temperatura en diferentes posiciones en el interior de la cabina del vehículo como se observa en la Figura 1.



Figura 1: Ubicación de los 10 sensores de temperatura DS18B20 y DHT11 al interior de la cabina del vehículo

En la figura 2, se observa los vehículos utilizados en la campaña experimental.



a) Ciudad de Riobamba



b) Ciudad de Santo Domingo

Figura 2: Vehículos utilizados en la campaña experimental en la ciudad de Riobamba y Santo Domingo

La tabla 2 muestra las especificaciones de los ensayos realizados.

Tabla 2: Especificaciones de los ensayos.

	Ensayo en la región Sierra	Ensayo en la región Costa
Número de vehículos	2	2
Tipo de vehículo	Renault	Kia
Color de vehículo	Plateado y gris oscuro	Plateado y negro
Ubicación del vehículo	Riobamba	Santo Domingo
Orientación del vehículo	Norte, Este	Norte
Ventanas del vehículo	Cerradas, semi abiertas	Cerradas, semi abiertas
Sistema A/C del vehículo	50% y 100% Aire fresco / recirculación	50% y 100% Aire fresco / recirculación
Variables medidas	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

2.2. Cálculo de la demanda térmica

Para determinar la demanda térmica se implementó un modelo térmico dinámico de la cabina del vehículo basado en el método de balance de calor [4, 5], que considera la transferencia de calor en superficies opacas y acristaladas, características geométricas y constructivas de las superficies del vehículo. El modelo fue implementado en el software TRNSYS, en donde se ingresaron las características geométricas de los vehículos de prueba (Tabla 3) y las propiedades de las superficies de los vehículos (Tabla 4). El modelo contempla la división de cada vehículo en dos zonas, una zona de conductor y una zona de pasajeros.

Tabla 3: Características geométricas de los vehículos ensayados.

		Superficie	Zona 1 [m ²]	Zona 2 [m ²]	Espe-sor [m]
Renault Duster 2015	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
Kia Sportage Active 2015	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	-
	Ventanas	Derecha	0,32	0,54	0,002
		Izquierda	0,32	0,54	0,002
		Frontal	1,06	-	0,005
		Posterior	-	0,64	0,003

Tabla 4: Propiedades térmicas de las superficies del vehículo.

Superficie	Materiales	Conductividad (W m ⁻¹ K ⁻¹)	Capacidad calorífica (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	Densidad (kg m ⁻³)
Externas	Acero laminado	160	0,51	7 800
Internas	Poliuretano	0,08	1,47	35
	Cloruro de polivinilo	0,92	1,17	1 450

3. Resultados

La campaña experimental se llevó a cabo en diferentes días para cumplir con cada escenario de experimentación, debido a la variabilidad en la disponibilidad de los vehículos y las condiciones climáticas de las ciudades de prueba. Cabe destacar que para las pruebas realizadas en la región Sierra y en la región Costa se utilizaron dos modelos diferentes de vehículos con dimensiones similares, con el fin de permitir una comparación entre estas regiones.

3.1. Influencia del color del vehículo

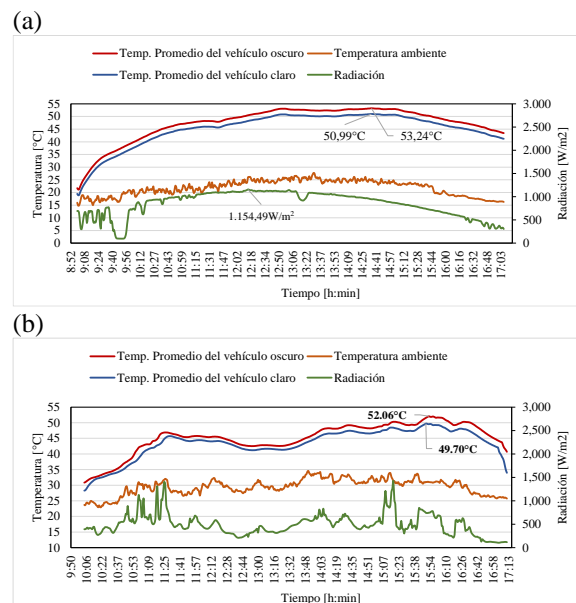


Figura 3: Temperaturas y radiación solar de los vehículos de diferente color con dirección norte y ventanas cerradas. (a) Riobamba. (b) Santo Domingo. **Fuente:** Elaboración propia.

En la figura 3 se muestra la evolución de la temperatura interior y la radiación solar durante el día para los

vehículos de diferente color ensayados con dirección norte y con las ventanas cerradas. La diferencia de temperatura entre los vehículos oscuro y claro es de aproximadamente 2.3°C para las dos ciudades. Esto se debe a que los colores oscuros presentan una absorptividad mayor que los colores claros.

3.2. Influencia de la apertura de ventanas

La figura 4 muestra la evolución de la temperatura interior y la radiación solar durante el día para los vehículos claros ensayados con dirección norte y con las ventanas semiabiertas. La diferencia de temperatura entre los vehículos de color claro es de aproximadamente 5.5°C para la ciudad de Riobamba y de 1.75°C para la ciudad de Santo Domingo.

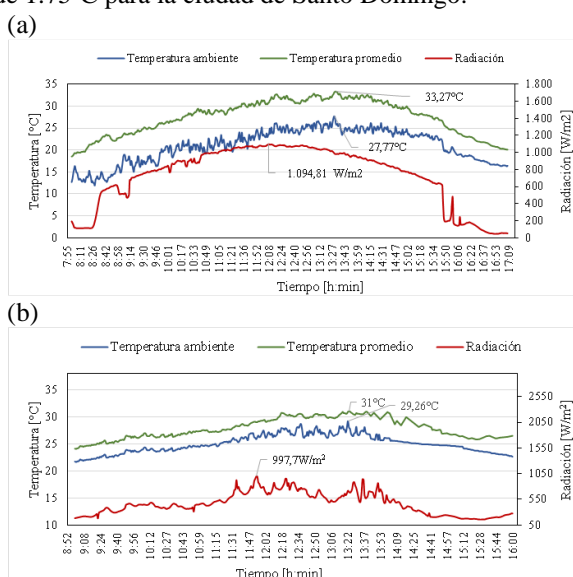


Figura 4: Temperaturas y radiación solar de los vehículos de diferente color con dirección norte y ventanas semiabiertas. (a) Riobamba. (b) Santo Domingo. **Fuente:** Elaboración propia.

El efecto de abrir las ventanas genera una disipación del calor del aire interior del habitáculo, consecuentemente, se puede evidenciar una disminución de las temperaturas de alrededor de 20°C respecto al escenario con las ventanas cerradas.

3.3. Influencia de la orientación del vehículo

La figura 5 muestra la evolución de la temperatura interior y la radiación solar durante el día para los vehículos claros ensayados con dirección este y con las ventanas cerradas y semiabiertas en la ciudad de Riobamba.

Por un lado, se puede observar que la diferencia de temperatura interior máxima del vehículo claro cuando se cambia de orientación (norte a este) es de alrededor de 1°C , lo cual no representa una diferencia significativa. Esto se debe a que el Ecuador está

ubicado cerca de la línea equinoccial por lo que la radiación cae casi perpendicularmente sobre todas las superficies del vehículo, a diferencia de otros países en donde la radiación cae de manera oblicua, afectando de diferente manera a las superficies opacas y acristaladas si cambian de orientación.

El efecto de abrir las ventanas en la ciudad de Riobamba supone una reducción en la temperatura máxima de 15°C , lo que reduce la diferencia de temperatura con el ambiente de 25°C a 9.3°C , disminuyendo la carga térmica del vehículo considerablemente. Este efecto en la sierra ecuatoriana corresponde una ventaja energética de enfriamiento gratuito.

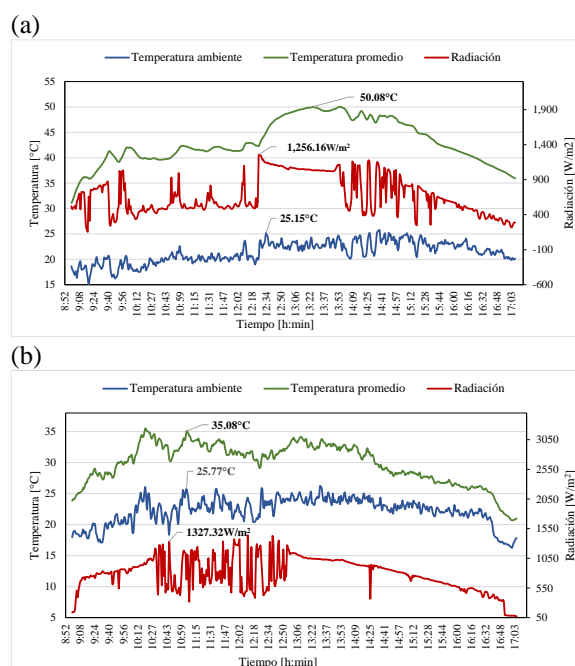


Figura 5: Temperaturas y radiación solar de los vehículos claros con dirección este e la ciudad de Riobamba. (a) Ventanas cerradas. (b) Ventanas semiabiertas. **Fuente:** Elaboración propia.

3.4. Influencia del uso del aire acondicionado

La figura 6 muestra la evolución de la temperatura interior del vehículo claro, cuando se utiliza el aire acondicionado al 50% y al 100% de capacidad en modo aire fresco para las dos ciudades de estudio.

Los resultados muestran el efecto de las condiciones ambientales sobre el uso de aire acondicionado en la costa y sierra ecuatoriana. En Riobamba se demora alrededor de 22 minutos en llegar a la temperatura de confort (22°C) cuando el sistema A/C está al 50% de capacidad, y 10 minutos cuando el sistema A/C está al 100% de capacidad. En Santo Domingo, contrario a lo que se pudiera esperar, se demora 27 minutos en llegar a la temperatura de confort (23°C) cuando el sistema

A/C está al 50% de capacidad, y 20 minutos cuando el sistema A/C está al 100% de capacidad. Este comportamiento se debe a que el aire que ingresa en la cabina en Riobamba es más frío que en Santo Domingo, acortando el tiempo de climatización en la sierra ecuatoriana.

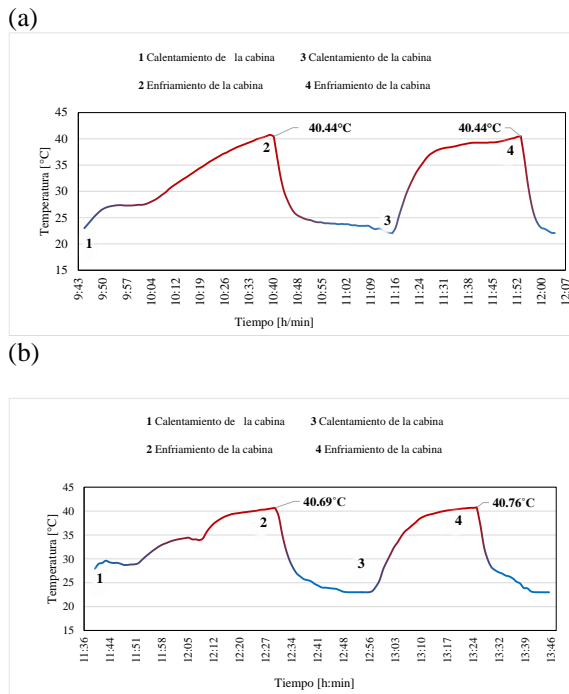


Figura 6: Temperaturas de los vehículos claros con el uso de aire acondicionado en modo aire fresco. (a) Riobamba. (b) Santo Domingo. **Fuente:** Elaboración propia.

La figura 7 muestra la evolución de la temperatura interior del vehículo claro, cuando se utiliza el aire acondicionado al 50% y al 100% de capacidad en modo recirculación para las dos ciudades de estudio.

En Riobamba se demora alrededor de 14 minutos en llegar a la temperatura de confort (22°C) cuando el sistema A/C está al 50% de capacidad, y 9 minutos cuando el sistema A/C está al 100% de capacidad. En Santo Domingo, se demora 15 minutos en llegar a la temperatura de confort (23°C) cuando el sistema A/C está al 50% de capacidad, y 10 minutos cuando el sistema A/C está al 100% de capacidad.

Los resultados muestran que en la costa se demora un poco más llegar a la temperatura de confort, debido a que al tener una temperatura ambiente más elevada, al sistema le cuesta más evacuar el calor del aire. En este caso no se tiene el efecto térmico de la mezcla de corrientes de aire al estar en modo recirculación.

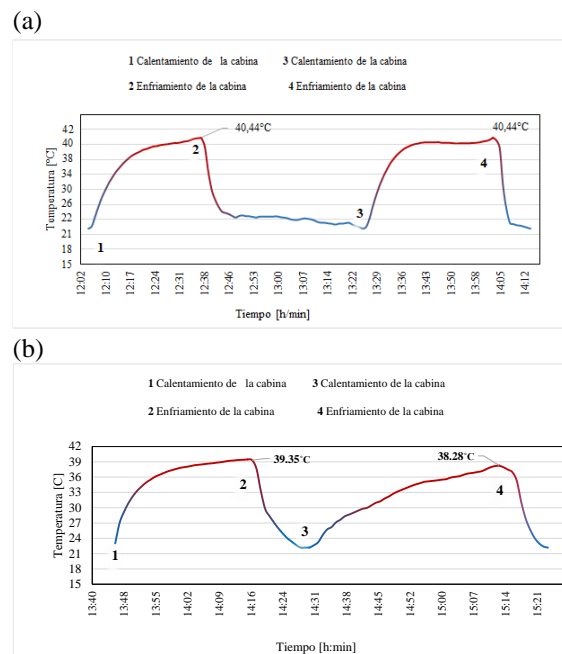


Figura 7: Temperaturas de los vehículos claros con el uso de aire acondicionado en modo recirculación. (a) Riobamba. (b) Santo Domingo. **Fuente:** Elaboración propia.

3.5. Demanda térmica

Los resultados del modelo implementado en TRNSYS se resumen en la tabla 5. El vehículo oscuro orientado al Norte tiene una demanda térmica superior en 63 kW a la orientación Este, en la ciudad de Riobamba. Este efecto se debe a que la radiación fue mayor en el día del ensayo cuando el vehículo estuvo en la orientación ESTE, más no a la orientación misma el vehículo, como se comentó en el apartado 3.3.

Tabla 5: Demanda térmica para los diferentes escenarios

ESCENARIOS/ CIUDADES		RIOBAMBA			SANTO DOMINGO		
		Temperatura máx. [°C]	Radiación promedio [W/m ²]	Demanda térmica [kWh]	Temperatura máx. [°C]	Radiación promedio [kWh/m ²]	Demanda térmica [kWh]
Norte, colores y ventanas cerradas	Oscuro	53,24	843,43	172,20	52,06	493,57	144,44
	Claro	50,99		140,26	49,70		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	-	-	-	-

Por otro lado, comparando entre las dos ciudades la demanda térmica en Riobamba para el vehículo oscuro es de 172 kWh y para Santo Domingo es de 144 kWh; esta diferencia se debe a que en Santo Domingo cuando se realizaron las mediciones de radiación, el día estuvo nublado y lluvioso evidenciándose una diferencia de 350 kWh/m² con la ciudad de Riobamba, es por eso que a pesar de ser una ciudad de la costa, tiene una menor

demanda de refrigeración que una ciudad de la Sierra con mayor radiación solar.

4. Conclusiones

El presente trabajo muestra la influencia de la radiación solar en el Ecuador sobre el calentamiento de los vehículos. Para ello, se escogieron dos vehículos tipo de vehículo SUV de un color claro y otro oscuro para realizar mediciones de radiación solar, temperatura ambiental y temperatura interior de los vehículos estacionados en el exterior bajo la incidencia de la radiación solar. Para los ensayos se seleccionaron las ciudades de Santo Domingo y Riobamba que representan a la región Costa y Sierra ecuatoriana, respectivamente. Los parámetros considerados en el estudio fueron la orientación del vehículo, el color, la apertura de ventanas, y el uso del aire acondicionado.

Del presente estudio se desprenden las siguientes conclusiones:

- La temperatura interior de un vehículo de color oscuro y claro es de aproximadamente 2.3 °C cuando el vehículo está en dirección norte con las ventanas cerradas en la ciudad de Riobamba. Esta diferencia se debe a que los colores oscuros presentan una absorptividad mayor que los colores claros.
- La diferencia de temperatura entre los vehículos claros ensayados con dirección norte y con las ventanas semiabiertas es de para vehículos claros es de aproximadamente 5.5°C para la ciudad de Riobamba y de 1.75°C para la ciudad de Santo Domingo.
- En la sierra ecuatoriana, el efecto de abrir las ventanas genera una disipación del calor del aire interior del habitáculo, consecuentemente, se puede evidenciar una disminución de las temperaturas de alrededor de 20°C respecto al escenario con las ventanas cerradas.
- La diferencia de temperatura interior del vehículo al cambiar su orientación es despreciable debido a que el Ecuador está ubicado cerca de la línea equinoccial por lo que la radiación cae casi perpendicularmente sobre todas las superficies del vehículo.
- En la ciudad de Riobamba el uso del aire acondicionado en modo aire fresco demora menos en enfriar el habitáculo que en Santo Domingo, esto se debe a que el aire que ingresa en la cabina en Riobamba es más frío que en Santo Domingo, acortando el tiempo de climatización en la sierra ecuatoriana.
- Utilizando el aire acondicionado en modo recirculación en la costa ecuatoriana se demora más llegar a la temperatura de confort,

debido a que al tener una temperatura ambiente más elevada, al sistema le cuesta más evacuar el calor del aire.

- La radiación solar influye directamente en la demanda térmica de los vehículos, llegando a resultar una mayor demanda en la sierra que en la costa ecuatoriana cuando el día está nublado.

5. Referencias

- [1] ASHRAE, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ASHRAE STANDARD 55, 5-12 (2010).
- [2] Lambert, M. A., JONES, B.: 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, 220(7), 959-972 (2006).
- [3] INAMHI, <https://www.inamhi.gob.ec/pronostico/advertencia.pdf>, último acceso 2024/03/27.
- [4] Vásquez-Núñez, D., et al.: Development and validation of a dynamic thermal model of a minibus using TRNSYS. International Journal of Vehicle Design 77(1-2), 87-107 (2018).
- [5] Torregrosa-Jaime, B., et al.: Transient thermal model of a vehicle's cabin validated under variable ambient conditions. Applied Thermal Engineering 75, 45-53 (2015).
- [6] Alvarez Hernandez, 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
- [7] 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>
- [8] 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>
- [9] Guerra, L., Jiménez, F., & Maldonado, E. (2020). Estudio del comportamiento térmico en vehículos estacionados expuestos a radiación solar directa en Quito. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, 43(2), 173-185
- [10] Lomas, K. J., & Bowman, N. (2016). Solar gain, overheating and cooling in dwellings. Energy Policy, 22(3), 315-323.
- [11] Holmgren, M., Staël von Holstein, C., & Jansson, P. (2020). Effectiveness of solar control film on car windows to reduce interior temperature. Solar Energy, 202, 465-472.
- [12] Tzempelikos, A., & Athienitis, A. K. (2007). The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand. Solar Energy, 81(3), 369-382.
- [13] 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>

[14] Synnefa, A., Santamouris, M., & Akbari, H. (2007). Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions. *Energy and Buildings*, 39(11), 1167-1174.

[15] El-Morsi, M., Samad, S., & Choudhary, R. (2018). Radiative heat transfer analysis of car windows using infrared thermography. *Infrared Physics & Technology*, 90, 258-269.

[16] Barreca, A. I., Clay, K., Deschenes, O., Greenstone, M., & Shapiro, J. S. (2016). Adapting to climate change: The remarkable decline in the US temperature-mortality relationship over the 20th century. *Journal of Political Economy*, 124(1), 105-159.