



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DESARROLLO DE UN MODELO COMPUTACIONAL MEDIANTE
SOFTWARE MATEMÁTICO DE UN VEHÍCULO LIVIANO PARA EL
ANÁLISIS DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO EN LA CIUDAD DE
GUAYAQUIL**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Automotriz.

AUTOR: DONALD JOSUÉ DÍAZ CHESME
ADRIÁN EMANUEL MINCHALA ZAMBRANO

TUTOR: ING. JOSÉ LUIS MALDONADO ORTEGA, PHD

Guayaquil – Ecuador

2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Donald Josué Díaz Chesme con documento de identificación N°2000117966 y Adrián Emanuel Minchala Zambrano con documento de identificación N°0953392941; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 25 de agosto del año 2025

Atentamente,



Donald Josué Díaz Chesme

2000117966



Adrián Emanuel Minchala Zambrano

0953392941

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Donald Josué Díaz Chesme con documento de identificación No. 2000117966 y Adrián Emanuel Minchala Zambrano con documento de identificación No. 0953392941, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: “Desarrollo de un modelo computacional mediante software matemático de un vehículo liviano para el análisis de desempeño energético en la ciudad de Guayaquil”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 25 de agosto del año 2025

Atentamente,



Donald Josué Díaz Chesme

2000117966



Adrián Emanuel Minchala Zambrano

0953392941

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, José Luis Maldonado Ortega con documento de identificación N°1105738395, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DESARROLLO DE UN MODELO COMPUTACIONAL MEDIANTE SOFTWARE MATEMÁTICO DE UN VEHÍCULO LIVIANO PARA EL ANÁLISIS DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL, realizado por Donald Josué Díaz Chesme con documento de identificación N°2000117966 y por Adrián Emanuel Minchala Zambrano con documento de identificación N°0953392941, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 25 de agosto del año 2025

Atentamente,



José Luis Maldonado Ortega

1105738395

DEDICATORIA

Este trabajo se lo consagro primeramente a Dios, porque en los silencios más largos y en las noches más oscuras fuiste mi consuelo, mi fuerza y mi esperanza viva, sin ti yo jamás estaría en esta parte de mi camino.

A mi padre el Ing. Donal Díaz por enseñarme a confiar en mi capacidad y creer en un futuro para mi aún cuando yo no lo creía. Esa presencia, el ejemplo y el sacrificio han generado en mí una deuda que jamás podré saldar.

A mi madre, Natividad Chesme por los deseos en voz baja, sus abrazos a tiempo, su positivismo casi irreal que me ayudó a ver el lado bueno de las cosas y por su amor inmerecido del cual nunca pidió nada a cambio.

Y a las almas que, sin necesidad de grandes gestos, creyeron en mí, a quienes me regalaron una palabra, una mirada o una pequeña fe cuando más lo necesitaba, esta pequeña victoria también les pertenece a todos ustedes.

Donald Díaz.

Consagro este estudio a Dios, por ser mi fortaleza y guía en cada paso de este camino.

A mi madre Dolores Zambrano Chavez, por su amor incondicional, sacrificio y por creer siempre en mis sueños. Este logro es también suyo.

A mi padre Manuel Minchala Torres, quien a la distancia siempre creyó en mí y me ha apoyado a lo largo de este arduo camino, siempre alentándome a seguir adelante

A mis mascotas quienes me acompañaron en las largas noches y desvelos en el desarrollo y finalización de esta etapa.

A todas las personas que me brindaron su apoyo, comprensión y aliento durante esta etapa. Su confianza en mí fue fundamental para llegar hasta aquí.

Adrián Minchala

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haber sido mi refugio constante, ser el dador de fuerzas cuando flaqueo, considero que no existe conquista sin su apoyo y no hay logro más grande que el sentirlo cerca en cada paso.

A mis padres, gracias por ser hogar, por ser guía, por estar incluso cuando no lo pedía, por preocuparse en silencio y escuchar mis negativas y aun así desde el amor sostenerme en esperanza, cada parte de este trabajo tiene algo de ustedes.

Aquellos que me tendieron la mano o me aconsejaron con palabras sinceras sin buscar reconocimiento, su fe, aunque silenciosa fue un bálsamo a mis momentos de duda. Gracias porque con su presencia o su recuerdo, me inspiraron a no rendirme. Porque este logro no es solo mío, está hecho de los pedazos de quienes caminaron conmigo, aún cuando yo no lo veía.

Donald Díaz

Agradezco a mis padres por ser mi motor de vida y razón para seguir adelante, aquellos que enseñaron todos los valores y que por más difícil que sea la situación no hay que parar de creer y persistir.

Agradezco a todos los docentes que impartieron su conocimiento con mucho esfuerzo y vocación.

A mis compañeros y amigos, con quienes compartí logros y proyectos, aquellos que me brindaron la mano en ocasiones donde ya no podía.

Adrián Minchala

ÍNDICE DE CONTENIDO

Resumen:.....	1
1. Introducción	2
2. Materiales y Métodos	3
2.1. Herramientas y entorno de simulación	3
2.2. Arquitectura del modelo vehicular.	3
2.2.1. Bloque del conductor.....	3
2.2.2. Bloque de motor	4
2.2.3. Bloque del tren motriz	5
2.2.4. Bloque de Frenos y Neumáticos.	6
2.2.5. Dinámica longitudinal	7
2.3. Validación del entorno de simulación.....	8
2.4. Integración del modelo en el entorno de simulación.....	8
2.4.1. Parámetros físicos y del entorno.	9
2.4.2. Variación de parámetros y escenarios de simulación.....	9
3. Resultados	10
3.1. Validación del entorno mediante comparación de estudios: IKCO Dena.	10
3.2. Validación del entorno mediante comparación de estudios: Renault Kwid.	11
3.2. Configuración de escenarios de simulación.....	12
3.2.1 Resultados de configuración estándar.....	12
3.2.2 Resultados de configuración 8.....	13
3.3. Análisis fuerza aerodinámica en configuración estándar	14
4. Discusión.....	15
4.1. Comportamiento el modelo en ciclo FTP 75	15
4.2. Influencia de parámetros geométricos	15
5. Conclusiones	16
Apéndice A. Escenarios de simulación virtual: Escenario estándar.....	17
Apéndice B. Escenarios de simulación virtual: Configuración (- - -)	17
Apéndice C. Escenarios de simulación virtual: Configuración (+ - -)	18
Apéndice D. Escenarios de simulación virtual: Configuración (- + -)	18
Apéndice E. Escenarios de simulación virtual: Configuración (+ + -).....	19

Apéndice F. Escenarios de simulación virtual: Configuración (- - +).....	19
Apéndice G. Escenarios de simulación virtual: Configuración (+ - +).....	20
Apéndice H. Escenarios de simulación virtual_ Configuración (- + +).....	20
Apéndice I. Escenarios de simulación virtual_ Configuración (+ + +).....	21
Referencias.....	22

Artículo

Desarrollo de un modelo computacional mediante software matemático de un vehículo liviano para el análisis de desempeño energético en la ciudad de Guayaquil.

Donald Díaz Chesme¹, Adrián Minchala Zambrano² y José Maldonado Ortega³

¹ Universidad Politécnica Salesiana; ddiazc3@est.ups.edu.ec

² Universidad Politécnica Salesiana; aminchalez@est.ups.edu.ec

³ Universidad Politécnica Salesiana; jmaldonado@est.ups.edu.ec

Correspondencia: djchesme2001@gmail.com; Tel.: 0982769755; aminchalez@outlook.com; Tel.: 0984291497

Resumen:

Este estudio desarrolló un modelo computacional en MATLAB/Simulink para analizar el impacto de parámetros geométricos en el desempeño energético de un Kia Soluta bajo condiciones de conducción en Guayaquil. Por medio del ciclo de conducción FTP-75. El modelo de dinámica longitudinal integro los principales subsistemas de vehículo y fue validado con datos experimentales de la literatura, mostrando una desviación máxima del 9% en el consumo. Se empleó un diseño factorial de tipo 2³ bajo una metodología de tipo Monte Carlo para evaluar 3 parámetros: coeficiente de arrastre aerodinámico (Cd), área frontal (Af) y altura del centro de gravedad (hCG). Los rangos de variación se establecieron en ±15% para el Cd (0.30-0.37), ±5% para el Af (1.881-2.079 m²) y ±11.3% para la hCG (0.50-0.65 m). Estos valores representan modificaciones realistas y técnicamente alcanzables para vehículos del segmento M1, ya sea por la adición de accesorios o mediante optimizaciones aerodinámicas y de diseño. Los resultados identificaron al Cd como el parámetro más influyente. Un aumento del 15.6% (de 0.30 a 0.37) incrementó el consumo en un 2.45% (+0.1657 L/100 km). El Af mostró un impacto similar (+2.43%), mientras que la hCG tuvo un efecto insignificante (<0.01%). La configuración más eficiente (Cd=0.30, Af=1.881 m²) redujo el consumo a 6.6925 L/100 km, lo que supone un ahorro de 16.24 litros de combustible anuales respecto a la configuración estándar (6.7737 L/100 km) para un recorrido de 20,000 km. La configuración menos eficiente (Cd=0.37, Af=2.079 m²) aumentó el consumo a 6.9394 L/100 km, representando un gasto adicional de 33.14 litros de combustible adicional en el mismo recorrido. El estudio establece que optimizaciones, incluso dentro de márgenes técnicamente alcanzables, pueden generar ahorros de combustible medibles y significativos para la operación vehicular en la ciudad.

Palabras clave: eficiencia energética; simulación vehicular; vehículo liviano.

Abstract: This study developed a computational model in MATLAB/Simulink to analyze the impact of geometric parameters on the energy performance of a Kia Soluta under driving conditions in Guayaquil. Using the FTP-75 driving cycle. The longitudinal dynamics model integrated the main vehicle subsystems and was validated with experimental data from the literature, showing a maximum deviation of 9% in fuel consumption. A 2³ factorial design was employed under a Monte Carlo methodology to evaluate three parameters: aerodynamic drag coefficient (Cd), frontal area (Af), and center of gravity height (hCG). The variation ranges were set at ±15% for Cd (0.30–0.37), ±5% for Af (1.881–2.079 m²), and ±11.3% for hCG (0.50–0.65 m). These values represent realistic and technically achievable modifications for M1-segment vehicles, either thru the addition of accessories or thru aerodynamic and design optimizations. The results identified Cd as the most influential parameter. A 15.6% increase (from 0.30 to 0.37) raised fuel consumption by 2.45% (+0.1657 L/100 km). Af showed a similar impact (+2.43%), while hCG had a insignificant effect (<0.01%). The most efficient configuration (Cd = 0.30, Af = 1.881 m²) reduced fuel consumption to 6.6925 L/100 km, resulting in an annual fuel savings of 16.24 liters compared to the standard configuration (6.7737 L/100 km) over a 20,000 km distance. The least efficient configuration (Cd = 0.37, Af = 2.079 m²) increased fuel consumption to 6.9394 L/100 km, resulting in an additional 33.14 liters of fuel consumed over the same distance. The study establishes that optimizations, even within technically achievable margins, can generate measurable and significant fuel savings for urban vehicle operation.

Citation: To be added by editorial staff during production.

Academic Editor: Firstname Lastname

Received: date

Revised: date

Accepted: date

Published: date



Copyright: © 2023 por los autores. Presentado para su posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de Creative Commons Attribution license.

Keywords: energy efficiency; vehicle simulation; light vehicle.

1. Introducción

El análisis del desempeño energético en los vehículos ha tomado relevancia ante los crecientes objetivos globales de sostenibilidad y reducción de emisiones. El sector del transporte representa el 25 % de las emisiones y el 26.2 % del consumo energético mundial [1,2]. Lo que ha llevado a la búsqueda de soluciones para ajustar la eficiencia de los vehículos, especialmente en entornos urbanos. Sin embargo, la evaluación experimental de estos parámetros requiere recursos significativos, lo que ha llevado al desarrollo de herramientas de simulación computacional como una alternativa flexible para los estudios vehiculares [3,4].

En este contexto, plataformas como Matlab/Simulink han demostrado su capacidad para modelar el comportamiento energético de vehículos bajo condiciones operativas realistas dependiendo del caso de estudio permitiendo la integración de parámetros físicos, factores ambientales y perfiles de conducción estandarizados [5-7].

Estas herramientas permiten tanto validar arquitecturas vehiculares [8-10] como optimizar diseños mediante análisis de parámetros clave que afectan su desempeño, coeficientes de arrastre (Cd), la presión de neumáticos, masa del vehículo [11-13]. Sin embargo los estudios dedicados a vehículos comerciales no han sido muy explotados, dejando un vacío en la investigación aplicada a este segmento sin incurrir en altos costos, particularmente en regiones con condiciones específicas, como Latinoamérica [14,15].

Para abordar esta brecha investigativa, el presente estudio desarrolla un modelo computacional en Simulink para analizar el desempeño energético de un Kia Soluta, bajo condiciones de conducción simuladas mediante el ciclo FTP-75, normado en la NTE INEN 2204. El modelo, basado en datos técnicos reales fue validado mediante la comparación con estudios previos [16] a fin de demostrar su capacidad para recrear fielmente el comportamiento energético del vehículo.

La metodología propuesta se sustenta en estudios que validan el uso de herramientas computacionales para análisis de eficiencia y comportamientos vehiculares. Diversos estudios testearon la efectividad del programa Simulink en modelado energético como el estudio [17], que alcanzó un 73% de eficiencia total en vehículos eléctricos ingresando los parámetros y condiciones reales. En [18] optimizaron un modelo híbrido bajo condiciones controladas, mejorando el consumo en 25 %. En [19] simularon un sistema de celdas de combustible y hallaron un rendimiento óptimo del 42 % a 25 °C. Así mismo en [20] se compararon datos simulados con mediciones reales en pista, para detección de fallas y ajustes operativos en Simulink. En [21] demostraron cuánto la geometría de la carrocería influye en el rendimiento, validado en banco de pruebas. Finalmente, los estudios [22, 23] advirtieron sobre errores comunes al usar modelos CFD o túneles de viento académicos, cuya escala y velocidad reducida limitan la extrapolación a condiciones reales fomentando el uso de entornos virtuales y herramientas especializadas para las estimaciones en el comportamiento de vehículos.

Este estudio aplica estos principios al caso del Kia Soluta, desarrollando un modelo en MATLAB/Simulink que evalúa su desempeño energético. Se seleccionó el ciclo FTP-75 como referencia por su demostrada validez en el contexto ecuatoriano. Investigaciones en Esmeraldas [24] verificaron que este ciclo reproduce fielmente los patrones locales de conducción, con apenas 4.67% de desviación respecto a mediciones reales. Su aplicabilidad se extiende a otras ciudades como Cuenca y Quito [25,26], se han desarrollado estudios donde el FTP-75 ha sido adoptado como ciclo base o de comparación, debido a su capacidad para representar condiciones mixtas de conducción (urbana y extraurbana). Asimismo, por su compatibilidad con métodos de validación en dinamómetro de chasis, y su correlación con mediciones reales de consumo. Para el caso de Guayaquil donde el tráfico presenta características de alta densidad vehicular este ciclo resulta igualmente representativo ya que está diseñado para incluir fase de arranque desde la total detención, transiciones de velocidad y tramos de cruce que recrean las dinámicas de flujo y congestión presentes en esta ciudad.

2. Materiales y Métodos

2.1. Herramientas y entorno de simulación

El presente estudio se centra en el Kia Soluto, comercializado mundialmente como Pegas, como caso de estudio por su relevancia en el mercado ecuatoriano y por su arquitectura mecánica estandarizada. El modelo se implementa en Simulink utilizando un enfoque modular que integra los principales subsistemas vehiculares (Motor, transmisión, frenos, neumáticos y dinámica longitudinal) [27-29]. Para las simulaciones se emplea el ciclo FTP-75, normado en la NTE INEN 2204 y validado por la EPA debido a su capacidad para reproducir condiciones urbanas representativas que incluyen arranques en frío, conducción estabilizada y transiciones de velocidad [30, 31].

2.2. Arquitectura del modelo vehicular.

Se configura como un vehículo de tracción delantera con motor de combustión interna de encendido por chispa y transmisión mecánica de cinco velocidades. La caracterización de cada una de las funciones del vehículo modelado se realizó mediante los bloques funcionales mostrados en la Figura 1:

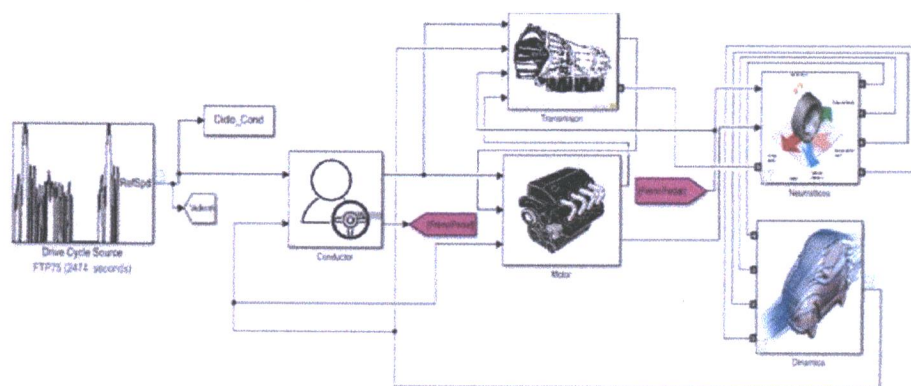


Figura 1. Arquitectura general del modelo computacional.

2.2.1. Bloque del conductor

El bloque simula el comportamiento de un conductor mediante un sistema de control PI (Integrador Proporcional), configurado para reproducir la respuesta del vehículo ante un tipo de conducción predefinido. (Figura 2). Las características del controlador se resumen en la Tabla 1. El modelo simula la dinámica longitudinal mediante bloques interconectados que representan las principales componentes del vehículo mediante la resolución en tiempo real de ecuaciones diferenciales, la simulación inicia en el bloque del conductor, que actúa como controlador PI, comparando la velocidad deseada y real, generando señales para el acelerador y el freno. Dichas señales activan el motor que transforma el porcentaje de aceleración en torque regulado por un mapa de par-velocidad. Considerando las limitaciones físicas del actuador. Las salidas del modelo permiten una evaluación del desempeño vehicular, al proporcionar variables como la velocidad, aceleración y el torque en el motor como en las ruedas. Anticipando así el desempeño energético del vehículo bajo las especificaciones proporcionadas, entre ellos una masa vehicular de 1450 kg, el tiempo de respuesta del conductor se estableció en 0.5 s, (Latencia humana típica) [32].

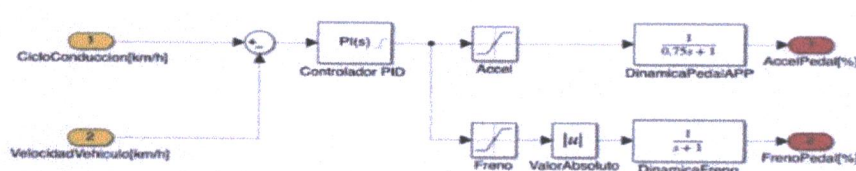


Figura 2. Configuración del bloque de conductor

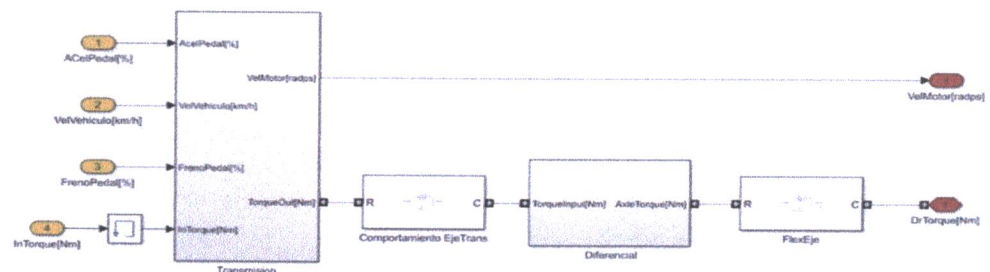
Tabla 2. Entradas configuradas del bloque de motor

Componente	Función / Descripción	Fórmula / Método de estimación	Notas
Acelerador (APP) [%]	Entrada del pedal del acelerador	Variable entre 0 y 100 %	0 a 100%
Comando de torque [TroCmd]	Conversión no lineal de la posición del pedal en torque solicitado	$APP * T_{max}(w)/100$ (3)	30% APP \rightarrow 40% Tmax
Torque máximo disponible	Límite físico de par de acuerdo al régimen.	$T(\omega) = P(\omega)/\omega$ (4)	132 N·m a 4000 rpm [35]
Velocidad de motor (rad/s)	Velocidad angular real del motor	$\omega = (2\pi \cdot RPM) / 60$ (5)	[rad/s], convertido desde RPM [35][36]
1-D T(n)	Mapa motor Torque vs Velocidad	$T(n) = f(\omega); T=P/\omega$ (6)	Tabla empírica mediante ecuación experimental [32]
Limitaciones de seguridad	Protección ante sobre regímenes o temperatura	$\omega > \omega_{max} \Rightarrow T > T_{max}$	Referencia al origen del mapa del motor

El torque solicitado se encuentra limitado por el mapa característico $T(n)$, que define el torque máximo disponible en función de la velocidad del motor, alcanzando su valor pico de 132 Nm a 4000 RPM correspondiente a valor especificado por el fabricante [24][37] y las especificaciones que equipa el programa Simulink. La salida del bloque representa la velocidad resultante del motor, considerando inercia, fricción interna y cargas externas.

2.2.3. Bloque del tren motriz

El bloque del tren motriz en la Figura 4, representa la transmisión completa de potencia desde el motor hasta las ruedas. Recibe como entradas el porcentaje del acelerador/freno y el torque del motor. La transmisión aplica relaciones de cambio mediante una lógica inteligente que utiliza umbrales adaptativos calculados por las funciones "arriba" y "abajo", las cuales determinan los puntos de cambio ascendente y descendente basándose en la velocidad del vehículo y la posición del acelerador. Este sistema adapta dinámicamente el comportamiento: con acelerador alto retrasa los cambios para mantener más potencia disponible, mientras que con acelerador bajo realiza cambios tempranos para optimizar el consumo. La transmisión considera pérdidas, carga del motor, velocidad e inercia rotacional en todo el proceso.


Figura 4. Configuración del bloque del tren motriz

El torque transmitido pasa al bloque del eje de transmisión, que representa la flexibilidad torsional del árbol de transmisión usando parámetros de rigidez (R), amortiguación (C) y dinámica (D). Esto permite simular oscilaciones torsionales durante aceleraciones y frenadas. Posteriormente lo transfiere a los ejes motrices. Este bloque aplica la reducción

final y distribuye el torque entre las ruedas motrices, ajustando diferencias de velocidad entre ellas durante el giro, sus entradas se describen en la Tabla 3.

Tabla 3. Entradas configuradas del bloque del tren motriz

Componente	Función / Descripción	Fórmula / Método de estimación	Notas
Pedal de freno [%]	Entrada de posición del pedal del freno	Directa desde el bloque conductor	0–100 %
Torque de entrada [Nm]	Torque de entrada proveniente del motor	Valor calculado en bloque de motor	0-132 Nm
Relación de transmisión	Relación de cada marcha	Manual de propietario	[3.769, 2.045, 1.286, 1.036, 0.893]
Velocidad del motor (rad/s)	Velocidad angular del motor	Calculado: $\omega = (2\pi \cdot \text{RPM})/60$	RPM medidas conforme al ciclo
Diferencial	Relación final	Manual de propietario	3.833

2.2.4. Bloque de Frenos y Neumáticos.

El sistema modela el comportamiento de tracción y frenado. Convierte la señal del pedal de freno en fuerza de frenado aplicada a cada rueda, incluyendo la respuesta de componentes hidráulicos, discos y pastillas como se muestra en la Figura 5. Adicionalmente la Tabla 4 presenta las entradas del bloque y sus valores más influyentes.

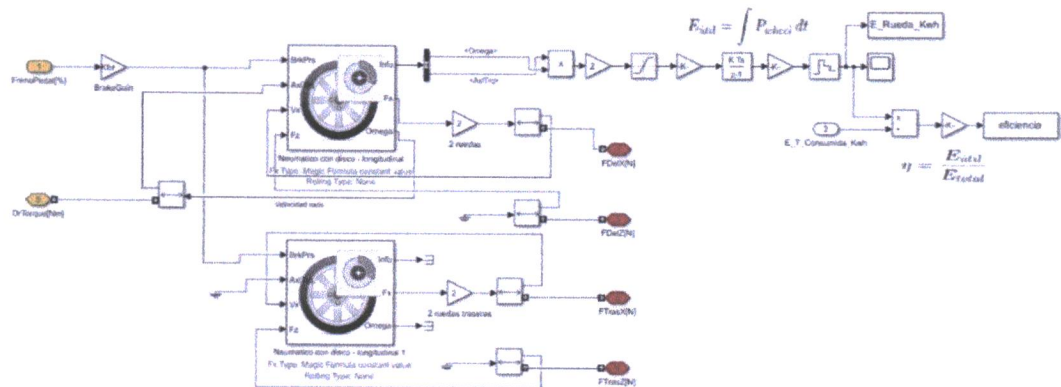


Figura 5. Configuración del bloque del sistema de frenado y ruedas motrices.

El bloque integra un sistema de medición de energía útil que multiplica la velocidad angular de la rueda (Ω) por el torque del eje ($AxITrq$) para obtener la potencia mecánica instantánea según

$$P_{\text{wheel}} = \Omega \times AxITrq. \quad (8)$$

Esta potencia se integra temporalmente mediante:

$$E_{\text{útil}} = \int P_{\text{wheel}} (dt) \quad (9)$$

para calcular la energía útil total entregada por las ruedas en kWh. El sistema considera ambas ruedas motrices y calcula la eficiencia energética dividiendo la energía útil entre la energía total consumida mediante

$$\eta = E_{\text{útil}}/E_{\text{total}}, \quad (10)$$

proporcionando una medida directa del aprovechamiento energético real del sistema de propulsión bajo las condiciones del ciclo de conducción simulado

Tabla 4. Entradas configuradas del bloque de frenos y neumáticos.

Componente	Función / Descripción	Modelo/Fórmula	Notas
Fuerza Longitudinal	Calcula la fuerza longitudinal neta aplicada por los neumáticos	$F_x = \mu \cdot F_z$	(11) μ seco $\approx 0.7-0.9$ [38][39]
Modelo de neumático	Modela la dinámica del neumático considerando deslizamiento y adherencia	$F_y = D \sin(\text{Carctan}(B\lambda) - E(B\lambda - \arctan(B\lambda)))$	(12) Valor introducido en base a especificación del fabricante [35]
Distribución de Fuerzas	Distribuye las fuerzas longitudinales entre ejes	$F = (1-k_f) F$	(13) Proporción: 60/40 (delanteras/traseras) [39]
Transferencia de Carga	Calcula la carga vertical en cada rueda considerando transferencia dinámica	$\Delta f_z = (m \cdot a \cdot h) / L$	(14) Valores en base a los parámetros del vehículo [36]

2.2.5. Dinámica longitudinal

El modelo fue integrado considerando la dinámica longitudinal del vehículo. La configuración principal se muestra en la Figura 6. Donde se implementa un cálculo integral de eficiencia energética que funciona a través de 2 cálculos en paralelo y en simultáneo, la energía útil, se obtiene extrayendo la sumatoria de resistencias que genere el vehículo (Aerodinámica, gravitacionales, inerciales y de rodadura) y tomándola como fuerza total resistiva para multiplicarla por la velocidad instantánea para conseguir la energía útil e integrando esta potencia a lo largo del ciclo de conducción, mientras que la energía consumida se obtiene a partir del volumen de combustible consumido y convirtiéndolo en energía por el cálculo de la división de la energía útil con la energía total para obtener el porcentaje de la eficiencia.

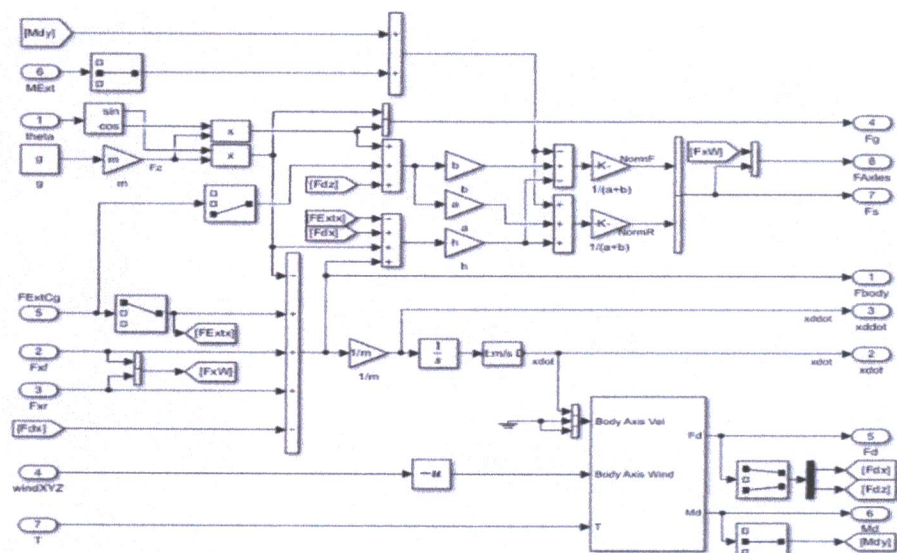


Figura 6. Configuración del bloque del sistema de frenado y ruedas motrices.

En la Tabla 5 se describen las fórmulas que gobiernan la dinámica del modelo digital empleado para el Kia Soltu:

Tabla 5. Elementos aplicados en el bloque dinámico de fuerzas dinámicas

Componente	Función / Descripción	Modelo/Fórmula	Notas
Fuerza Gravitacional	Calcula la componente gravitacional según inclinación del terreno	$F_g = m \times g \times \sin(\theta)$ (15)	θ = ángulo de inclinación en radianes [40]
Efectos Aerodinámicos	Fuerzas del viento relativas al vehículo	$F_d = \frac{1}{2} \rho \cdot C_d \cdot A \cdot (V)^2$ (16)	C_d, A en base a especificación del fabricante [40]
Aceleración Longitudinal	Derivada temporal de la velocidad	$\ddot{x} = dv/dt$ (17)	Variable de estado dinámica [41]
Integrador Cinemático	Calcula velocidades a partir de aceleraciones	$v = \int a \, dt = a/s$ (18)	Transformación de Laplace [41]
Funciones Trigonométricas	Conversión entre sistemas de coordenadas del vehículo	$F_{x_body} = F_x \times \cos(\theta) + F_y \times \sin(\theta)$ (19)	Transformación de ejes coordenados [42]
Suma de Fuerzas	Principio de superposición de fuerzas	$\Sigma F = F_1 + F_2 + \dots + F_n$ (20)	Equilibrio dinámico [40]

2.3. Validación del entorno de simulación.

La validación del modelo se realizó mediante dos enfoques complementarios. El primer enfoque, diseñado para validar la precisión del entorno de simulación Simulink en sí mismo, se llevó a cabo antes de su aplicación al caso del Kia Soluta. Este consistió en replicar dos estudios de la literatura técnica que reportaban datos experimentales de desempeño energético y consumo de combustible bajo el ciclo FTP-75 descritos en la Tabla 6. Se construyeron modelos vehiculares equivalentes en Simulink bajo condiciones físicas y ambientales en base a las reportadas, evaluando la precisión del consumo específico (L/100 km). El criterio de validación para este método fue una desviación máxima del 15% conforma a estándares para pruebas dinámicas diversas [43].

Una vez validado el entorno, el segundo enfoque se aplicó específicamente al modelo del Kia Soluta. Este consistió en un análisis de sensibilidad mediante el método de Monte Carlo para evaluar la robustez del modelo frente a variaciones en sus parámetros clave.

Es importante destacar que el estudio consideró ciertas simplificaciones, como neumáticos en condiciones ideales, carga vehicular fija, solo conductor, exclusión de efectos climáticos excesivos. Estas limitaciones, justificadas por el objetivo de aislar el impacto de los parámetros aerodinámicos/geométricos, establecen una base reproducible para futuras investigaciones que puedan incorporar variables adicionales. En la Tabla 6 se presentan las características de los modelos seleccionados.

Tabla 6. Parámetros recopilados de bibliografía publicada

Parámetro	Unidad	Modelo de vehículo	
		1	2
Modelo del vehículo	-	Icko Dena	Renault Kwid
Masa	Kg	1410	1157
Dimensiones	mm	4559x1944x1460	3679x1365x1474
Potencia Max	kW	86	50
Torque Max	Nm	155	91
Transmisión	-	Manual 5 velocidades	Manual de 5 velocidades

2.4. Integración del modelo en el entorno de simulación.

Una vez desarrollados y validados los entornos junto con los subsistemas del vehículo, se procede con la integración del Kia soluto dentro del entorno Simulink.

2.4.1. Parámetros físicos y del entorno.

La simulación se realizó bajo condiciones típicas de la ciudad de Guayaquil, Algunos de los parámetros que se establecieron para el entorno se describen en la Tabla 7.

Tabla 7. Entradas características del entorno.

Parámetros	Valor
Tipo de prueba	Ciclo FTP-75
Temperatura ambiente (°K)	299.15
Densidad del aire (Kg/m ³)	1.2
Presión absoluta del aire (Pa)	101325
Velocidad del viento (m/s)	0
Poder calorífico combustible (MJ/kg)	43
Densidad del combustible (g/L)	730
Coefficiente de rodadura	0.015

Los parámetros se ajustaron con base a datos meteorológicos promedios anuales y especificaciones normativas locales de las especificaciones de la gasolina comercial en Ecuador, conforme a la normativa INEN vigente [44].

2.4.2. Variación de parámetros y escenarios de simulación

Los rangos de variación para cada parámetro se establecieron en $\pm 15\%$ para el Cd (0.30-0.37) y $\pm 5\%$ para el Af (1.881-2.079 m²), mientras que para (hCG) la variación fue de $\pm 11.3\%$ (0.50-0.65 m). Estos porcentajes fueron seleccionados por representar modificaciones realistas y técnicamente alcanzables para vehículos del segmento M1 [45].

Para el coeficiente de arrastre (Cd), una reducción del 15% (a 0.30) es alcanzable mediante optimizaciones aerodinámicas como el sellado de uniones, el carado de las ruedas y el diseño de spoilers [46], mientras que un aumento similar (a 0.37) puede resultar de la adición de accesorios externos como portaequipajes [47,48].

En el caso del área frontal (Af), una variación de $\pm 5\%$ representa el límite de modificación plausible sin alterar significativamente la arquitectura base del vehículo, pudiendo estar asociada a cambios en el ancho de vía o el diámetro de los neumáticos [49], además por medio de modificaciones a la inclinación de elementos como el parabrisas de 25 a 35 grados puede reflejar una mejora de 14,74% en entornos simulados o 13,57 en entornos experimentales [50,51] o la adición de accesorios se puede generar una reducción de la resistencia aerodinámica hasta un 38,93%.

Finalmente, la variación de la altura del centro de gravedad ($\pm 11.3\%$) abarca desde una configuración optimizada y muy baja (0.50 m) hasta una altura típica de vehículos SUV (0.65 m), lo que permite evaluar el impacto de la redistribución de masa y la estabilidad vehicular dentro de márgenes seguros y realistas.

Se procedió a implementar un diseño factorial 2^3 , para analizar el impacto de tres variables sobre el consumo energético del vehículo: coeficiente de arrastre (Cd), área frontal (Af) y altura del centro de gravedad (hCG). Variables seleccionadas por su incidencia directa sobre las resistencias al avance y la eficiencia dinámica del vehículo. Para cada una se establecieron dos niveles, uno reducido (-) representando una disminución con respecto al valor estándar de referencia, y un nivel aumentado (+), correspondiente a un incremento controlado. La configuración base del vehículo se mantuvo en los siguientes valores: Cd = 0.32, Área frontal, Af = 1.98 m², Altura del centro de gravedad CG = 0.584 m. Las combinaciones factoriales se presentan en la Tabla 8:

Tabla 8. Combinaciones factoriales evaluadas.

Escenarios	Coefficiente de arrastre (Cd)	Área frontal (Af)	Altura hCG (m)	Combinación
Configuración estándar	0.32	1.98	0.584	-
1	0.30 (-)	1.881 m ² (-)	0.50 (-)	(- - -)
2	0.37 (+)	1.881 m ² (-)	0.50 (-)	(+ - -)
3	0.30 (-)	2.079 m ² (+)	0.50 (-)	(- + -)
4	0.37 (+)	2.079 m ² (+)	0.50 (-)	(+ + -)
5	0.30 (-)	1.881 m ² (-)	0.65 (+)	(- - +)
6	0.37 (+)	1.881 m ² (-)	0.65 (+)	(+ - +)
7	0.30 (-)	2.079 m ² (+)	0.65 (+)	(- + +)
8	0.37 (+)	2.079 m ² (+)	0.65 (+)	(+ + +)

3. Resultados

Una vez de haber puesto a prueba la fiabilidad del entorno digital se procedieron a compilar los resultados de dichas validaciones.

3.1. Validación del entorno mediante comparación de estudios: IKCO Dena.

Utilizando los datos del estudio de [52], se replicó el modelo del IKCO Dena, un sedán con motorización atmosférica y transmisión manual. Entre los parámetros más relevantes se destacan: $Cd = 0.25$, $Af = 2.37 \text{ m}^2$, masa = 1410 kg y coeficiente de rodadura = 0.015. Se utilizó una densidad del aire ajustada de 1.1839 kg/m^3 y un valor energético de 9.0 kWh/L para el combustible. En la Tabla 9, se presentan los resultados calculados a partir de los datos del modelo y su representación del consumo de muestra en la figura 7. El modelo arrojó consumo específico de 8.44 L/100 km, mientras que el valor real reportado fue de 7.96 L/100 km, lo cual representa un error relativo del 6.03%, dentro del margen aceptable antes establecido. La eficiencia energética resultante fue del 16.15 %, calculada como la relación entre energía útil y energía consumida.

Tabla 9. Resultados calculados de prueba: IKCO Dena

Parámetro	Valor
Energía total consumida	12.20 kWh
Energía real estimada	48.78 kWh
Consumo específico simulado	8.44 L/100 km
Consumo real del estudio	7.96 L/100 km
Error relativo	6.03%
Eficiencia energética	16.15%

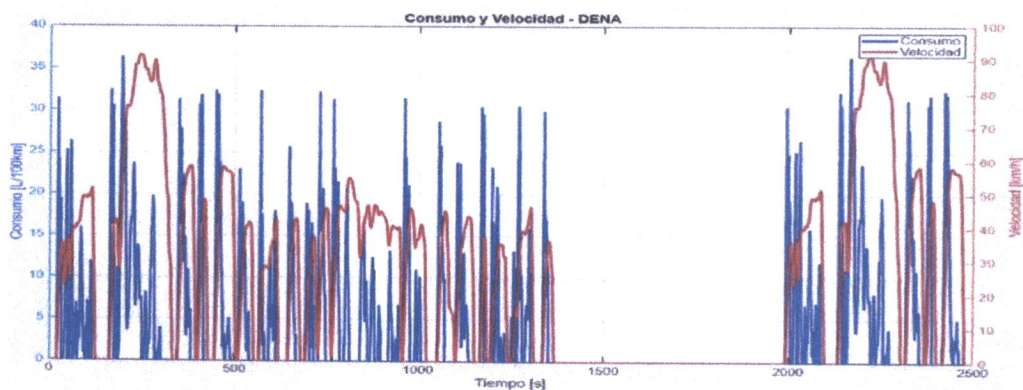


Figura 7. Consumo energético caso de estudio IKCO Dena

3.2. Validación del entorno mediante comparación de estudios: Renault Kwid.

En el segundo estudio, se modeló el Renault Kwid, un vehículo subcompacto de bajo peso, utilizando parámetros como $C_d = 0.36$, $A_f = 2.20 \text{ m}^2$, masa = 1157 kg y rodadura = 0.015. La simulación se ejecutó bajo condiciones ambientales ajustadas ($\rho = 0.903 \text{ kg/m}^3$) y un valor energético de 9.1 kWh/L.[53]. La Tabla 10 presenta los resultados obtenidos tras la simulación y su consumo de muestra en la figura 8. El modelo arrojó un consumo específico de 5.40 L/100 km, frente a los 5.91 L/100 km reportados por estudios experimentales, lo que representa una desviación del 8.63 %, validando adecuadamente el comportamiento energético del modelo. Además, la eficiencia energética calculada fue de 19.57 %, valor congruente con lo esperado para un vehículo de este segmento en condiciones urbanas. validando adecuadamente el comportamiento energético del modelo.

Tabla 10. Resultados simulados.

Parámetro	Valor
Energía total consumida	10.24 kWh
Energía real estimada	40.96 kWh
Consumo específico simulado	6.04 L/100 km
Consumo real del estudio	5.91 L/100 km
Error relativo	8.63%
Eficiencia energética	19.57%

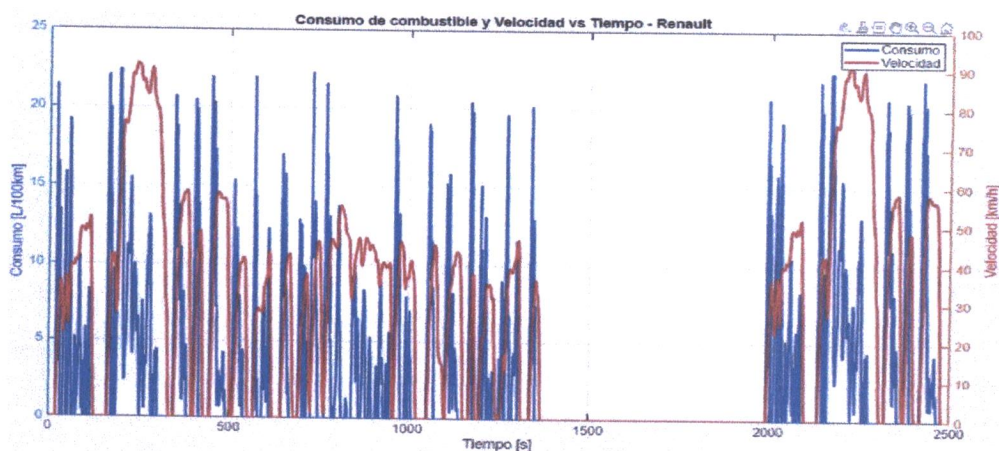


Figura 8. Consumo energético caso de estudio Renault Kwid.

Tabla 11. Resultados comparativos entre estudio y simulación.

	Consumo simulado (L/100 km)	Consumo específico (L/100 km)	Condiciones de prueba modelo	Condiciones de prueba estudio	Error relativo
Modelo 1	8.44L	7.96	Ciclo FTP-75	Ciclo de conducción FTP-75	6.03%
Modelo 2	6.04L	5.91	Ciclo FTP-75	Operación en ruta	8.63%

3.2. Configuración de escenarios de simulación

Posteriormente a la ejecución de los diferentes escenarios se detallan los más importantes y drásticos para el motivo de estudio. Tras la simulación, se procedió al análisis comparativo de los efectos de las variables sobre el consumo energético del vehículo. Se identificaron 3 configuraciones clave, aunque no necesariamente absolutas (Estándar, mínima, máxima) para resaltar el impacto de las variaciones en los parámetros aerodinámicos y cinemáticos, los demás escenarios se encuentran disponibles desde los Apéndices (A1 - A9)

3.2.1 Resultados de configuración estándar.

En la configuración estándar, sin variaciones en los valores seleccionados, el modelo computacional dio como resultado un consumo específico promedio de 6.7737 L/100 km, (figura 9 a), con una potencia aerodinámica promedio de 745.13 W (figura 9 b), así mismo una fuerza aerodinámica media de 41.62 N de acuerdo con el ciclo de conducción urbano FTP-75, esto se visualiza mejor en la figura 9. Estos valores equivalen a que en promedio, el 4.35% de la potencia total del tren motriz se destine a vencer el arrastre aerodinámico, cifra que aumenta en tramos de mayor velocidad. Durante las fases de cruce en el rango de aceleración de 30 a 50 km/h, el consumo se mantuvo relativamente estable donde el consumo no superó los 12 L/100 Km no obstante, en las fases de arranque desde el reposo o en aceleraciones intensas se registraron picos de consumo superiores a 20L/100 Km, producto de las demandas instantáneas de par que superan en más de un 200% la potencia media de tracción que el vehículo emplea.

Por otra parte, En los tramos donde la velocidad excede los 90 km/h, aproximadamente el 4 % del tiempo total del ciclo, la potencia aerodinámica superó los 7 kW, 5 veces su valor medio y representando más del 30 % de la potencia total en esos intervalos.

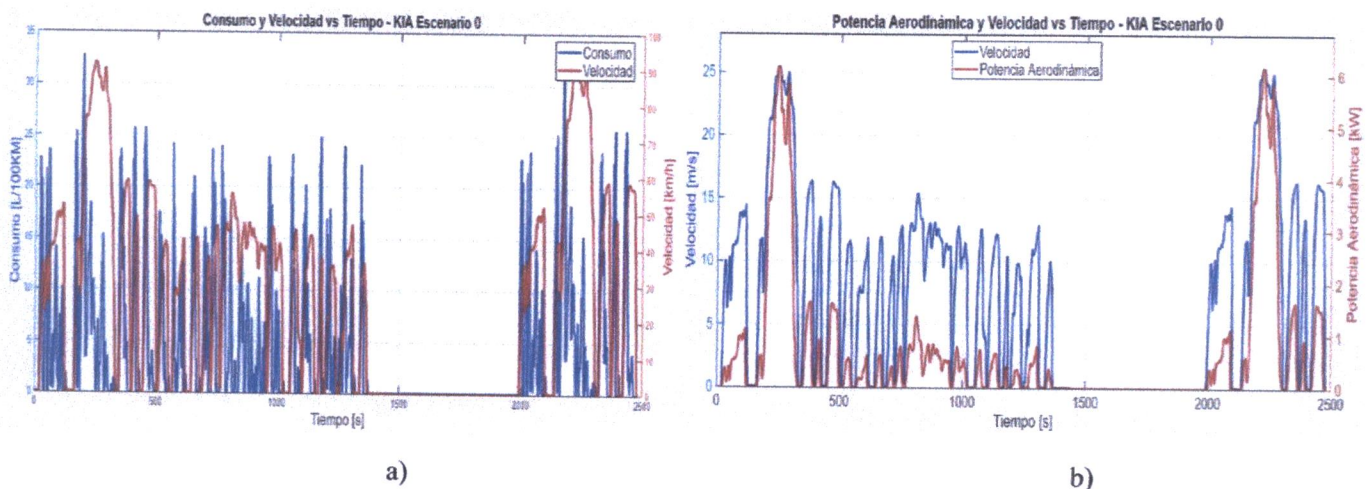


Figura 9. Escenario estándar: (a) gráfica consumo medio y velocidad vs tiempo (b) Potencia aerodinámica y velocidad vs tiempo

3.2.1 Resultados de configuración 1.

El escenario más eficiente correspondió a la configuración con la combinación de todos los parámetros en su punto más bajo, con valores de: $C_d=0.30$, $A_f=1.881\text{ m}^2$, y $h_{CG}=0.50\text{ m}$. bajo estas condiciones, el modelo resultó en un consumo específico mínimo de $6.6925\text{ L}/100\text{ km}$ (figura 10 a), lo que representa una reducción del 1.20% respecto a la configuración base. y un ahorro acumulado que, extrapolado a 20.000 km anuales, implicaría más de 16.24 litros de combustible.

Con respecto a la aerodinámica, la potencia media descendió a 663.92 W y la fuerza de arrastre a 37.07 N , reducciones cercanas al 10.90% y 10.92% respectivamente frente al escenario base. Esta mejora no se limitó a las fases de alta velocidad: en los tramos de crucero ($30\text{--}50\text{ km/h}$), la menor resistencia aerodinámica redujo la carga efectiva sobre el tren motriz, disminuyendo la demanda de par en aceleraciones suaves y manteniendo un consumo instantáneo más estable.

En los segmentos de velocidad por encima de los 90 km/h , la potencia aerodinámica se mantuvo consistentemente por debajo del umbral de 7 kW , visto en la (figura 10 b), que se alcanza en el escenario estándar, lo que evitó incrementos abruptos en el consumo específico. En términos relativos, esto supuso una reducción superior al 15 % en la potencia aerodinámica máxima durante estas fases críticas como se muestra en la figura 10.

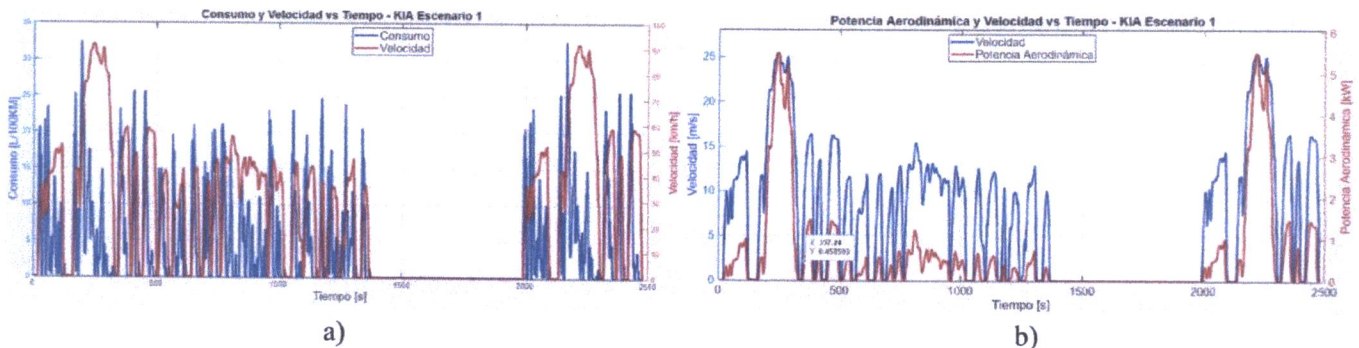


Figura 10. Escenario #1: (a) gráfica consumo medio y velocidad vs tiempo (b) potencia aerodinámica y velocidad vs tiempo

3.2.2 Resultados de configuración 8.

En contraposición, la configuración con menor eficiencia energética corresponde a los parámetros en su mayor valor, el cuál presentó $C_d=0.37$, $A_f=2.079\text{ m}^2$ y $h_{CG}=0.65\text{ m}$, bajo estas condiciones, alcanzó un consumo medio de $6.9394\text{ L}/100\text{ km}$ (figura 11 a), representando un incremento del 2.45 % frente al valor base y 3.69 % respecto al escenario más eficiente. Proyectado a un recorrido anual de 20.000 km , esta diferencia supone un gasto adicional de aproximadamente 33.14 litros de combustible.

La potencia aerodinámica promedio se elevó a 907.00 W , mientras que la fuerza de arrastre media llegó a 50.68 N , reflejando incrementos del 21.72% y 21.77% con respecto a la configuración base y se representa en la (figura 11 b).

Este escenario evidencia el efecto acumulativo negativo de condiciones geométricas desfavorables, donde un incremento del 15 % en C_d y un 5 % en A_f respecto a la configuración más eficiente es suficiente para deteriorar significativamente la eficiencia global, sin que la variación en la altura del centro de gravedad compense el impacto aerodinámico adverso.

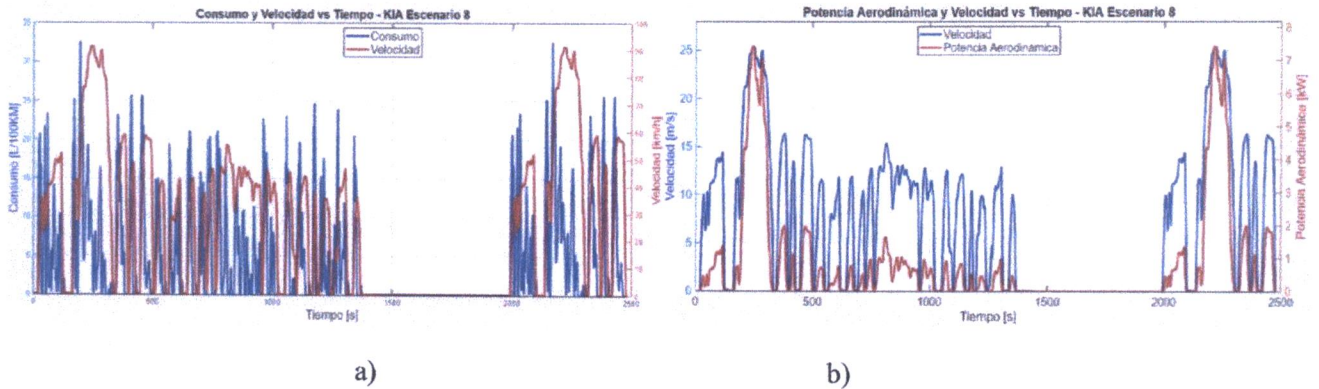


Figura 11. (a) gráfica consumo medio y velocidad vs tiempo (b) potencia aerodinámica y velocidad vs tiempo

La Tabla 12 recopila los resultados de todas las configuraciones simuladas, mostrando si influencia individual y combinada en el desempeño sobre el comportamiento y el desempeño energético del vehículo y que indican la variación respecto al escenario base (Escenario 0).

Tabla 12. Resultados de las simulaciones aplicado al modelo del Kia Soluto

Escenario	Consumo medio L/100 Km	Δ Consumo	Potencia media (W)	Δ Potencia	Fuerza Aero. media (N)	Δ Fuerza	Eficiencia (%)	Δ eficiencia
0	6.7737	—	745.1	—	41.6191	—	14.92	—
1	6.6925	▼-1.20%	663.9	▼-10.90%	37.0741	▼-10.92%	14.85	▼ -0.47%
2	6.8525	▲+1.16%	820.4	▲+10.11%	45.8358	▲+10.13%	15.02	▲ +0.67%
3	6.7625	▼-0.17%	733.4	▼-1.57%	40.9645	▼-1.57%	14.91	▼ -0.07%
4	6.9386	▲+2.43%	905.7	▲+21.56%	50.6199	▲+21.63%	15.23	▲ +2.08%
5	6.6919	▼-1.21%	664.2	▼-10.86%	37.0878	▼-10.89%	14.85	▼ -0.47%
6	6.8520	▲+1.16%	819.5	▲+9.98%	45.7840	▲+10.01%	15.03	▲ +0.74%
7	6.7620	▼-0.17%	733.9	▼-1.50%	40.9925	▼-1.51%	14.91	▼ -0.07%
8	6.9394	▲+2.45%	907.0	▲+21.72%	50.6795	▲+21.77%	15.23	▲ +2.08%

Estas variaciones, aunque conservadoras, permiten aislar el efecto de cada parámetro geométrico y generar resultados reproducibles, estableciendo una base metodológica sólida para futuros estudios que incorporen un mayor número de variables o variaciones más extremas.

3.3. Análisis fuerza aerodinámica en configuración estándar

Se evaluó la relación entre potencia aerodinámica que presenta el vehículo y la velocidad a la que se mueve mediante la generación inicial de una gráfica superpuesta de ambas variables en función del tiempo, dicha gráfica corresponde a la figura 12.

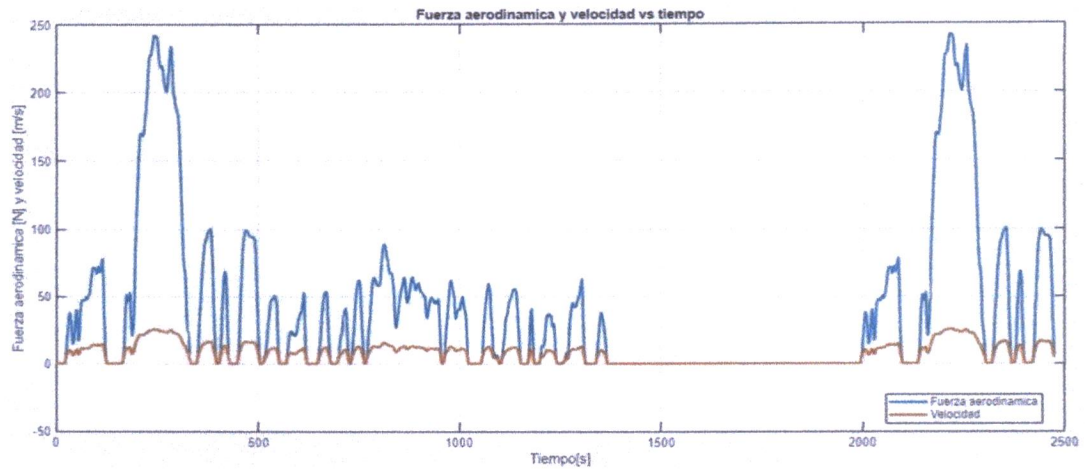


Figura 12. Gráfica de fuerza aerodinámica y velocidad en función del tiempo

La potencia aerodinámica es despreciable en bajas velocidades, pero se vuelve significativa alrededor de los 90km/h, Por lo tanto, los intervalos 200-300s y 1600-1700s el vehículo alcanza velocidades superiores a este umbral generando picos de potencia aerodinámica cercanos a los 7 kW. Esto confirma que el coeficiente de arrastre (C_d) adquiere una influencia determinante durante fases de aceleraciones sostenidas o conducción rápida por su relación cuadrática con la velocidad a la que se desplace el vehículo.

4. Discusión

El entorno virtual nos permitió caracterizar el comportamiento dinámico y energético del Soluta a través del ciclo FTP-75, identificando variaciones entre configuraciones y fases específicas de la conducción.

4.1. Comportamiento el modelo en ciclo FTP 75

El análisis identificó que durante arranques (0-150 s) se registraron picos de consumo de hasta 25 L/100 km, atribuibles a la elevada demanda de par motor para superar la inercia y acelerar el vehículo. En contraste, en fases de crucero (30 a 50 km/hora) el consumo se estabilizó en rangos de 6 a 8 L/100 Km para la configuración estándar, reduciéndose un 9%-12%. concuerda con la literatura. En conducción urbana real, el arranque en frío puede incrementar el consumo energético [54]. Ensayos comparando la fase fría del propio FTP-75 reportan penalizaciones de ~3.9-18.5% en economía de combustible, atribuibles a pérdidas por fricción, convertidor de par y accesorios antes de la estabilización térmica [55]. Además, durante congestión y bajas velocidades medias, las emisiones/consumo se agravan cuando el arranque en frío coincide con tráfico denso [56].

En los segmentos de alta velocidad (200-300 seg. y 1600-1700 seg.) se denotó que la potencia aerodinámica puede alcanzar 7kW, 30% de la potencia total, destacando la importancia del coeficiente de arrastre (C_d) en el desempeño energético, la configuración más optimizada mostró reducciones del 14-15% en la demanda de potencia durante fases urbanas (0-500) y del 10-11% en condiciones de conducción más fluida.

De forma consistente, la intensidad de aceleración (apertura de pedal y selección de marcha) explica una parte importante de la variación instantánea de consumo: pruebas en carretera con turismos muestran que aumentar la agresividad de aceleración eleva de manera significativa el consumo específico y reduce la eficiencia de tracción [57]. En tránsito urbano con paradas frecuentes, tecnologías como idle-stop mitigan el consumo en los periodos de ralentí, mejorando el desempeño en fases típicas del FTP-75 [58].

4.2. Influencia de parámetros geométricos

El análisis identificó al C_d como el parámetro más influyente, donde un aumento 15.6% (0,32 a 0,37) incrementó el consumo en un 2.45% [+0.1657 L/100 km] y disminuyó la eficiencia energética en 2.08%, El área frontal (A_f) mostró un impacto moderado, un aumento del 5% generó un incremento de hasta +2.43% En el consumo y +2.08% en las

configuraciones donde fue el principal factor variable. La altura del centro de gravedad (hCG) no presentó efectos significativos. El cambio de 0.50 m a 0.65 m el cambio en el consumo fue menor al 0.01 % y menor a 0,07%, lo cual sugiere que su influencia está más ligada a aspectos dinámicos como la estabilidad.

Las combinaciones de valores altos de Cd y Af generaron efectos sinérgicos negativos. En el escenario #8, con los tres factores en su valor superior (Cd=0.37, Af=2.079 m², hCG=0.65 m), se alcanzó el mayor consumo del estudio: 6.9394 L/100 km, lo que representa un incremento del 2.45% respecto a la configuración estándar, y una diferencia del 3.69 % respecto al escenario más eficiente. Esta configuración presentó aumentos del 21.72% en la potencia aerodinámica media y del 21.77% en la fuerza de arrastre media.

Los resultados obtenidos en este trabajo guardan coherencia con lo reportado en la literatura, la reducción del coeficiente de arrastre (Cd) y del área frontal (Af) conduce a un menor consumo de combustible donde se demuestra que variaciones en la aerodinámica vehicular producen cambios significativos en la demanda energética. No obstante, la eficiencia energética calculada no siempre aumenta al reducir el arrastre, lo que coincide con lo señalado en donde se explica que, bajo cargas bajas, las pérdidas de bombeo y auxiliares cobran mayor relevancia, provocando que la eficiencia global se mantenga o incluso disminuya [59].

El escenario #1 logró reducciones del 10.90% en potencia y fuerza de arrastre. Esta brecha aerodinámica del 32.6% en el desempeño aerodinámico evidencia el potencial de optimización geométrica para mejorar el consumo energético sin necesidad de intervenir en el tren motriz.

La extrapolación de estos resultados a una operación anual de 20.000 km revela que la configuración más eficiente permitiría un ahorro estimado de 16,24 L respecto a la configuración base, mientras que E#8 supondría un sobreconsumo aproximado de 33.14 L.

Estos resultados sugieren que la optimización de carrocerías urbanas puede priorizarse en la reducción del Cd y el Af antes que en modificaciones estructurales que alteren. No obstante, se asume que la limitante de márgenes conservadores retiene la exploración del potencial máximo de ahorro en cuestión de viajes o pruebas de conducción, Pero así mismo se considera esto como una posibilidad de investigaciones futuras con variaciones extremas y con integración de fases de optimización aerodinámica asistida por CFD. Asimismo, extender el análisis a otros ciclos de conducción como WLTP y US06, así mismo pudiendo buscar la generación de un ciclo de conducción propio el cual es inexistente en la ciudad de Guayaquil y considerar efectos de carga, climatización y tráfico en las horas de mayor flujo vehicular de las conclusiones y ofrecer directrices más robustas para el diseño vehicular orientado a eficiencia energética.

5. Conclusiones

El modelo computacional desarrollado en Matlab/Simulink cumplió con el objetivo general de reproducir el comportamiento energético de vehículo liviano en condiciones acordes a la ciudad de Guayaquil por medio de la integración de ecuaciones diferenciales longitudinales, parámetros geométricos y aerodinámicos, y condiciones del entorno local.

Se consiguió modelar los sistemas del vehículo y que estos interactúen entre si alcanzando valores realistas y de bajo error relativo, lo que permitió analizar los factores que inciden en la eficiencia destacando el coeficiente de arrastre aerodinámico (Cd) que fue el parámetro con mayor influencia (2.45% de consumo y 2.08% de eficiencia al variar entre 0,30 a 0,37). El área frontal (Af) tuvo un impacto de hasta 2.43% en el consumo y 2.08%, mientras que la altura del centro de gravedad (hCG) no presentó influencia significativa en el consumo (<0,01 %).

La validación del modelo se realizó contrastando los resultados con datos técnicos y el ciclo FTP-75, evidenció coherencia en tendencias y magnitudes, cumpliendo así el objetivo de verificación. Las simulaciones factoriales permitieron generar un conjunto robusto de resultados que identificó combinaciones geométricas más y menos eficientes:

mejoras simultáneas en Cd y Af, redujeron la potencia aerodinámica hasta en 10.90%, mientras que combinaciones desfavorables la incrementaron en más del 21%, afectando directamente el consumo lo que se traduce en un ahorro de 16.24 litros de combustible en 20000 km para el caso más eficiente y un sobreconsumo de 33.14 litros para la configuración menos eficiente. Estos hallazgos constituyen una base técnica aplicable a etapas tempranas de diseño o a reequipamientos aerodinámicos en contextos urbanos, cumpliendo con el objetivo de evaluar el desempeño en distintos escenarios y ofreciendo criterios cuantitativos para optimizar carrocerías y reducir el consumo energético en vehículos urbanos.

Apéndice A. Escenarios de simulación virtual: Escenario estándar.

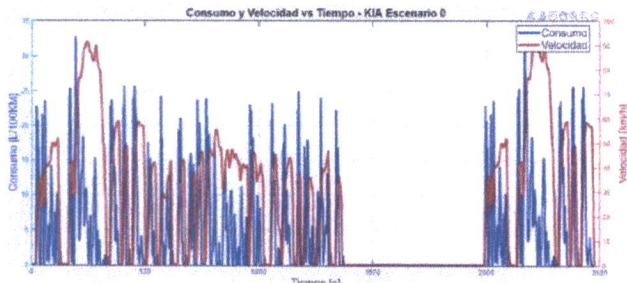


Figura A.1. Consumo medio Kia_ Estándar,

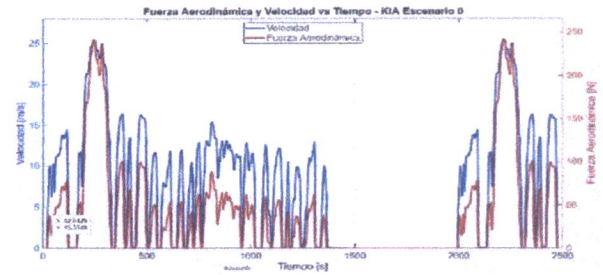


Figura A.2. Fuerza Aerodinámica_ Estándar

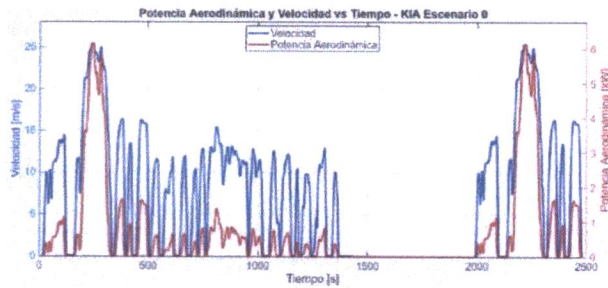


Figura A.3. Potencia_ Estándar

Apéndice B. Escenarios de simulación virtual: Configuración (- - -)

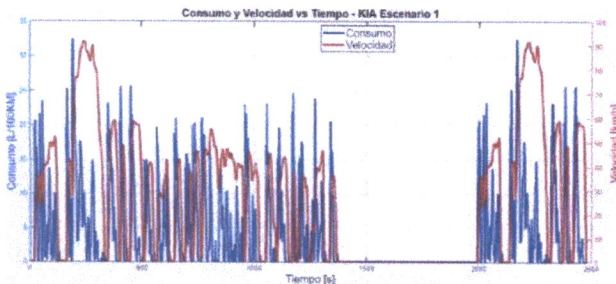


Figura B.1. Consumo medio Kia_ Escenario 1r,

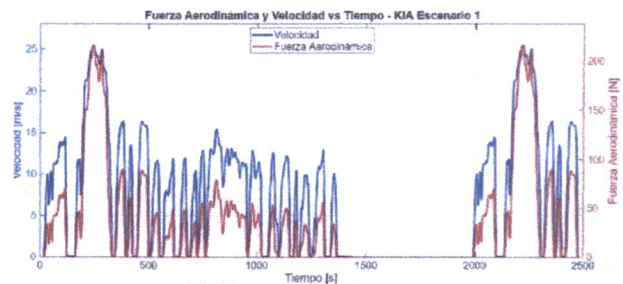


Figura B.2. Gráfica de Fuerza Aero_ Escenario 1

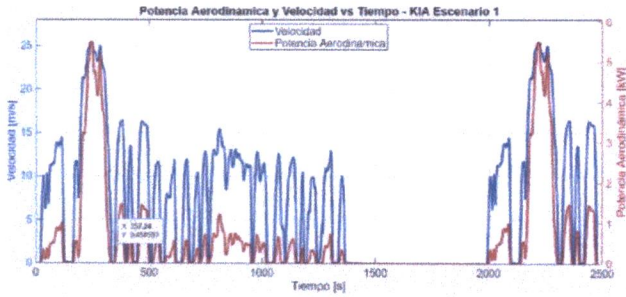


Figura B.3. Gráfica de Potencia_ Escenario 1

Apéndice C. Escenarios de simulación virtual: Configuración (+ - -)

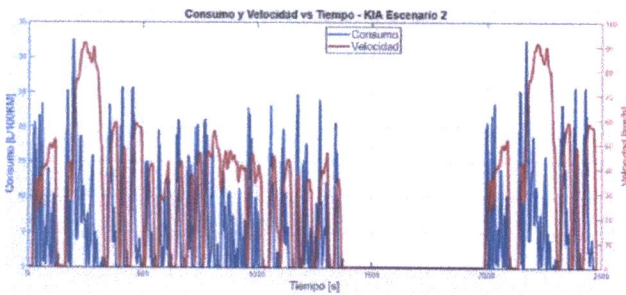


Figura C.1. Consumo medio Kia_ Escenario 2

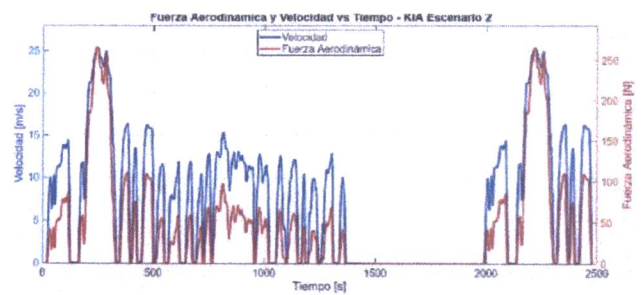


Figura C.2. Fuerza Aerodinámica_ Escenario 2

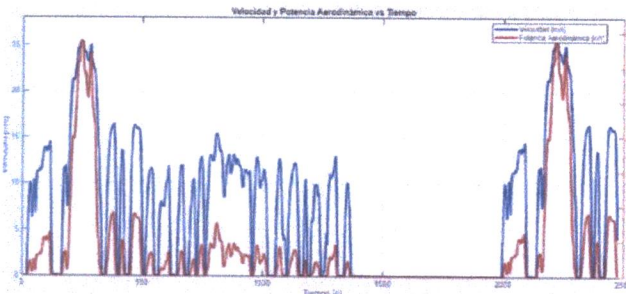


Figura C.3. Gráfica de Potencia_ Escenario 2

Apéndice D. Escenarios de simulación virtual: Configuración (- + -)

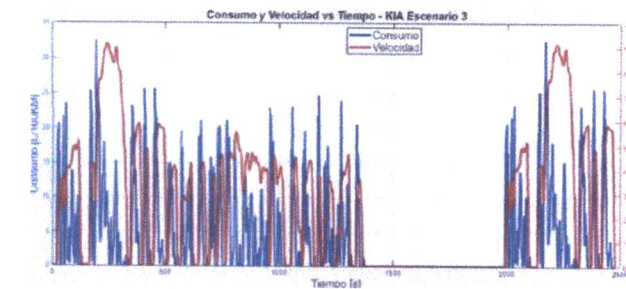


Figura D.1. Consumo medio Kia_ Escenario 3

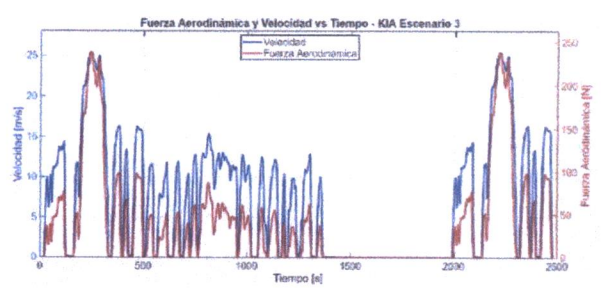


Figura D.2. Fuerza Aerodinámica_ Escenario 3

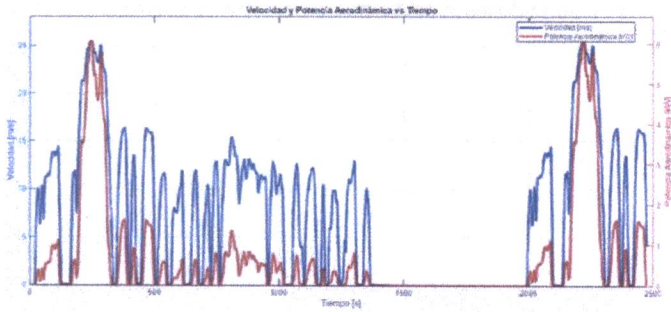


Figura D.3. Gráfica de Potencia_ Escenario 3

Apéndice E. Escenarios de simulación virtual: Configuración (+ + -)

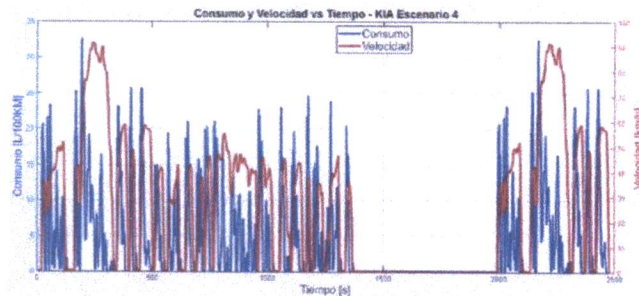


Figura E.1. Consumo medio Kia_ Escenario 4

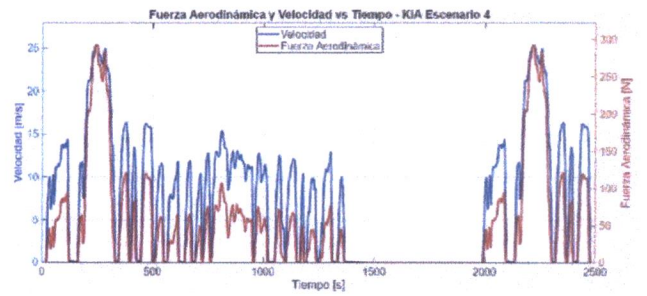


Figura E.2. Fuerza Aerodinámica_ Escenario 4

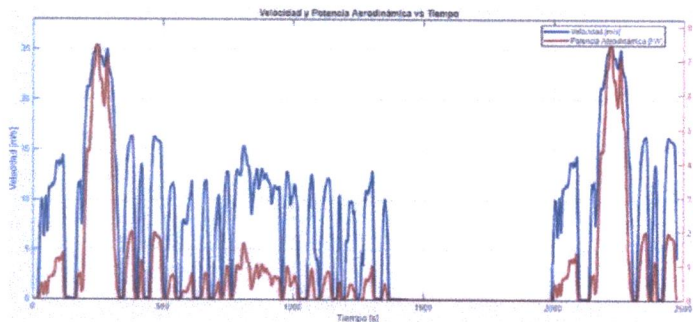


Figura E.3. Gráfica de Potencia_ Escenario 4

Apéndice F. Escenarios de simulación virtual: Configuración (- - +)

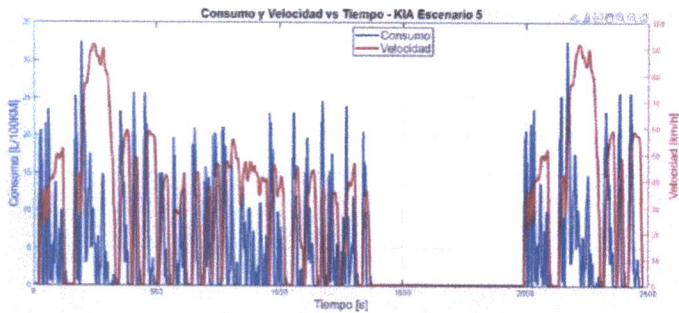


Figura F.1. Consumo medio Kia_ Escenario 5

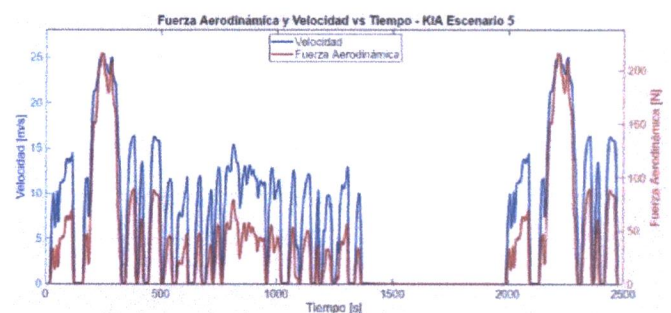


Figura F.2. Fuerza Aerodinámica_ Escenario 5

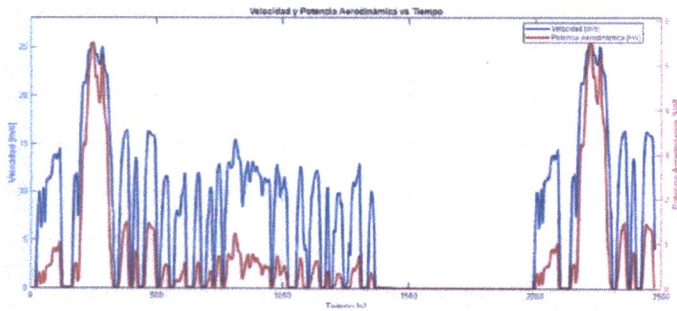


Figura F.3. Gráfica de Potencia_ Escenario 5

Apéndice G. Escenarios de simulación virtual: Configuración (+ - +)

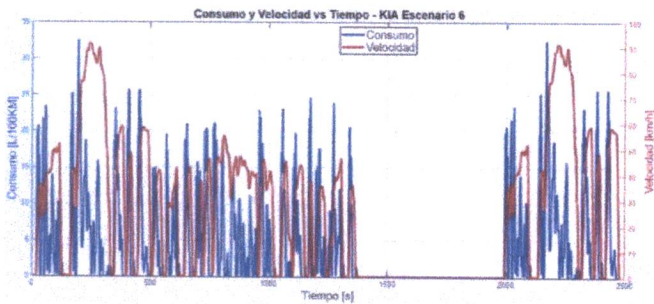


Figura G.1. Consumo medio Kia_ Escenario 6

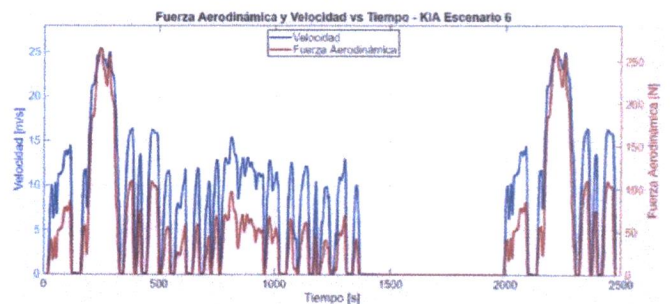


Figura G.2. Fuerza Aerodinámica_ Escenario 6

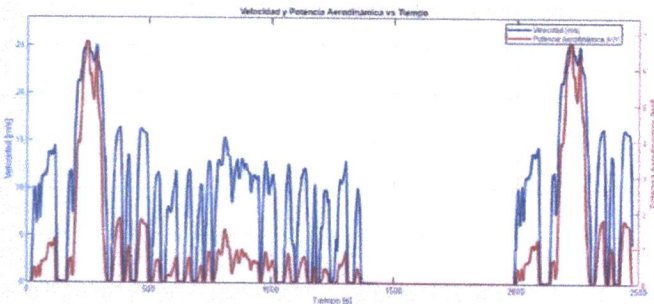


Figura G.3. Gráfica de Potencia_ Escenario 6

Apéndice H. Escenarios de simulación virtual_ Configuración (- + +)

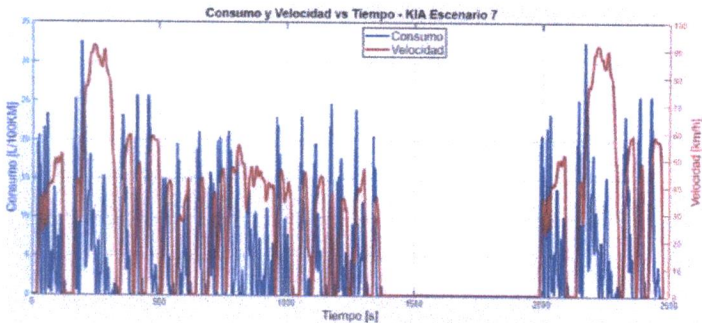


Figura H.1. Consumo medio Kia_ Escenario 7

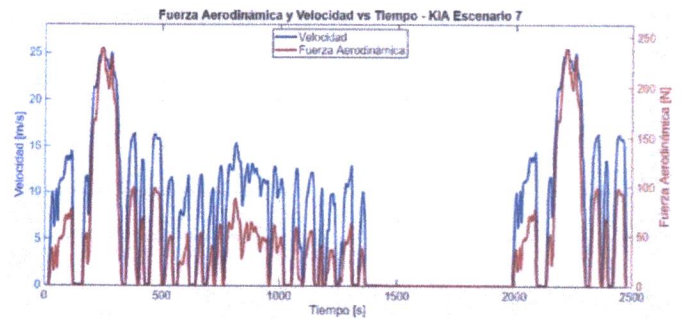


Figura H.2. Fuerza Aerodinámica_ Escenario 7

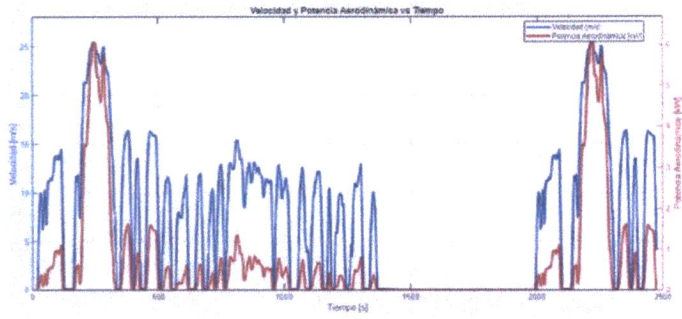


Figura H.3. Gráfica de Potencia_ Escenario 7

Apéndice I. Escenarios de simulación virtual_ Configuración (+ + +)

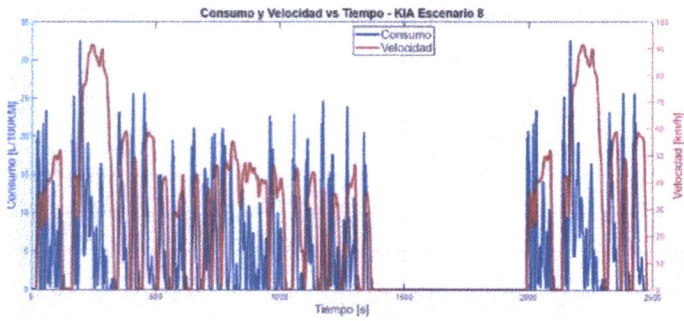


Figura I.1. Consumo medio Kia_ Escenario 8

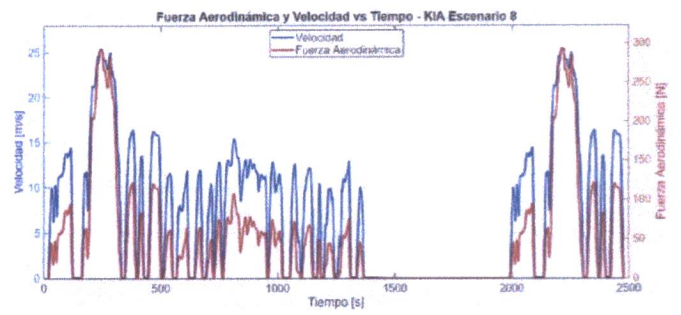


Figura I.2. Fuerza Aerodinámica Escenario_ 8

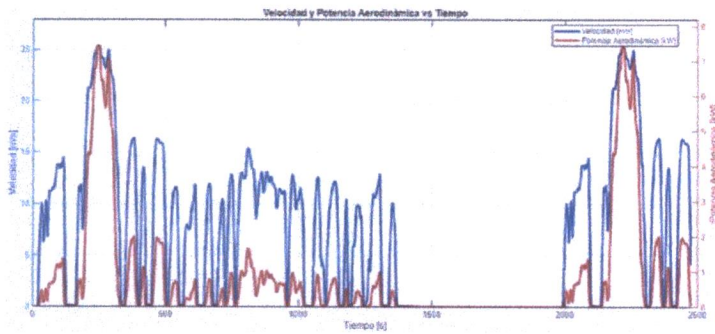


Figura I.3. Gráfica de Potencia_ Escenario 8

Referencias

1. S. Liu, S. Shi, and C. Fang, "Towards a Green Future: Case Analysis and Technological Prospects for Sustainable Transportation Decarbonization," 2025, pp. 416–426. doi: 10.1007/978-3-031-84148-4_32.
2. G. Fancello, D. M. Vitiello, and P. Serra, "Evaluating the Environmental Sustainability of an Intermodal Freight Logistic Chain Using the GLEC Framework," 2023, pp. 563–576. doi: 10.1007/978-3-031-37123-3_39.
3. O. de Salvo and F. G. Vaz de Almeida, "Influence of technologies on energy efficiency results of official Brazilian tests of vehicle energy consumption," *Appl Energy*, vol. 241, pp. 98–112, May 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.02.042.
4. M. Lahoz Navarro, J. S. Jehle, P. A. Apellániz, J. Parras, S. Zazo, and M. Gerdt, "Deep Learning as a New Framework for Passive Vehicle Safety Design Using Finite Elements Models Data," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 20, p. 9296, Oct. 2024, doi: 10.3390/app14209296.
5. P. Schulz, A. Viehl, and O. Bringmann, "Fast Environment Generation Methods for Virtual Testing," in 2023 IEEE 26th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), IEEE, Sep. 2023, pp. 3135–3141. doi: 10.1109/ITSC57777.2023.10422377.
6. J. Sun, H. Zhang, H. Zhou, R. Yu, and Y. Tian, "Scenario-Based Test Automation for Highly Automated Vehicles: A Review and Paving the Way for Systematic Safety Assurance," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 23, no. 9, pp. 14088–14103, Sep. 2022, doi: 10.1109/TITS.2021.3136353.
7. B. Ali, S. Thompson, and D. Robert, "Identification of Vehicle Dynamics Parameters Using Simulation-based Inference," arXiv:2108.12114 eess.SY, Oct. 2021.
8. P. Majumder, M. R. Choudhury, G. Karmaka, P. baishya, and S. Singh, "Optimizing aerodynamics: Numerical flow analysis for drag and lift reduction in SUV designs," *Interactions*, vol. 245, no. 1, p. 338, Nov. 2024, doi: 10.1007/s10751-024-02174-8.
9. M.-D. Surcel, "Evaluation of the Effect of Ambient Conditions on the Fuel Consumption of Commercial Vehicles," Mar. 2022. doi: 10.4271/2022-01-0528.
10. N. Xu, Q. Liu, Z. Zhang, and J. Li, "Development of multiple driving cycles with equivalent energy consumption to expand a standard driving cycle," *Energy*, vol. 319, p. 134951, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.energy.2025.134951.
11. K. Kurec, M. Remer, J. Broniszewski, P. Bibik, S. Tudruj, and J. Piechna, "Advanced Modeling and Simulation of Vehicle Active Aerodynamic Safety," *J Adv Transp*, vol. 2019, pp. 1–17, Feb. 2019, doi: 10.1155/2019/7308590.
12. A. Pieroni, C. Lantieri, H. Imine, and A. Simone, "LIGHT VEHICLE MODEL FOR DYNAMIC CAR SIMULATOR," *TRANSPORT*, vol. 31, no. 2, pp. 242–249, Jun. 2016, doi: 10.3846/16484142.2016.1193051.
13. M. Vairavel et al., "Modeling, validation and simulation of electric vehicles using MATLAB," in *AIP Conf. Proc.*, vol. 2458, no. 1, p. 030006, 2022, doi: 10.1063/5.0114084.
14. A. Mukhitdinov, U. Abdurazzokov, K. Ziyaev, and G. Makhmudov, "Method for assessing the vehicle energy efficiency on a driving cycle," 2023, p. 060028. doi: 10.1063/5.0114531.
15. D. Carroll, *Energy Efficiency of Vehicles*. SAE International, 2020. doi: 10.4271/9781468601497.
16. M. Picicelli et al., "Comparative Assessment of Zero CO2 Powertrain for Light Commercial Vehicles," *SAE Tech. Pap. 2023-24-0150*, 2023. doi: 10.4271/2023-24-0150.
17. M. Al Halabi and A. Al Tarabsheh, "Modelling of Electric Vehicles Using MATLAB/Simulink," Oct. 2020. doi: 10.4271/2020-01-5086.
18. R. Y. Sedik, L. Toufik Madani, B. Mohamed, and Z. Fares, "Modeling and Dynamic Simulation of an Electric Vehicle," in 2023 1st International Conference on Renewable Solutions for Ecosystems: Towards a Sustainable Energy Transition (ICRSEtoSET), IEEE, May 2023, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICRSEtoSET56772.2023.10525419.
19. R. Prasad and R. Prasath, "Performance Analysis of Fuel cell Powered Electric Vehicle Using MATLAB," *Asian Journal of convergence in Technology*, vol. 8, no. 1, p. 69, Apr. 2022, doi: 10.33130/AJCT.2022v08i01.011.
20. D. Rosas-Cervantes and J. Fernández-Ramos, "Simulation Tool for Assessing Driving Strategies for Electric Racing Vehicles," *World Electric Vehicle Journal*, vol. 14, no. 8, p. 198, Jul. 2023, doi: 10.3390/wevj14080198.
21. D. De Cupis, H. de Carvalho Pinheiro, A. Ferraris, A. G. Airale, and M. Carello, "Active Aerodynamics Design Methodology for Vehicle Dynamics Enhancement," in *Mechanisms and Machine Science*, vol. 91, 2021, pp. 777–785. doi: 10.1007/978-3-030-55807-9_86.
22. R. S. C. Davuluri, S. C. C. Bailey, K. A. Tagavi, and A. Martin, "A drag coefficient model for Lagrangian particle dynamics relevant to high-speed flows," *Int J Heat Fluid Flow*, vol. 87, p. 108706, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.ijheatfluidflow.2020.108706.
23. B. Chanetz, J. Détery, P. Gilliéron, P. Gnemmi, E. R. Gowree, and P. Perrier, "Wind Tunnels and Other Aerodynamic Test Facilities," 2020, pp. 27–50. doi: 10.1007/978-3-030-35562-3_2.
24. F. O. Colcha Guashpa, A. E. Mero Parrales, W. V. Palacios Quiroz, and V. W. Guachá Ibarra, "Determinación de un ciclo de conducción eficiente para la ciudad de Esmeraldas," *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 7, no. 2, pp. 1679–1691, Apr. 2023, doi: 10.37811/cl_rcm.v7i2.5428.

25. M. N. Recalte Rojas and R. V. Revelo Argoti, "Análisis de emisiones en vehículos a gasolina utilizando pruebas estacionaria y dinámica mediante ciclo im-240," B.S. thesis, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2015.
26. Tigre Vinicio, Torres Francisco, and Tapia Paul, "Determinación del consumo de combustible de vehículos en base a los ciclos de conducción EPA FTP75 y EPA HWFET, en dinamómetro de chasis. Casos de estudio: vehículos Hyundai Santa Fe 2.7L V6, 2009 y Chery QAC 1.0L, 2017," *REVISTA INFOCIENCIA*, vol. 11, no. 1, pp. 6–8, Dec. 2017.
27. Kia Motors, Kia Pegas Technical Specifications. Seoul, South Korea: Kia Corporation, 2022. https://kiasprings.co.za/wp-content/uploads/2022/12/kia_brochure_pegas.pdf
28. Fernando Robayo and Catherine Peñafiel, "AEADE-ANUARIO-2024_digital," Quito, 2024. Accessed: Apr. 22, 2025. [Online]. Available: https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2025/03/AEADE-ANUARIO-2024_digital.pdf
29. MathWorks, "MATLAB Help Center," How Simscape Simulation Works. Accessed: May 17, 2025. [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/help/simscape/ug/how-simscape-simulation-works.html>
30. E. A. Llanes Cedeño, S. F. Grefa Shiguango, J. V. Molina-Osejos, and J. C. Rocha-Hoyos, "Incidencia del aire acondicionado automotriz en el índice de consumo de combustible en vehículo de encendido provocado en una ruta de la Amazonía ecuatoriana," *Ingenius*, no. 31, pp. 115–126, Jan. 2024, doi: 10.17163/ings.n31.2024.10.
31. Nurru Anida Ibrahim, Arunkumar Subramaniam, Siti Norbakyah Jabar, and Salisa Abdul Rahman, "Data Collection and Data Management Approach for Developing a Driving Cycle: A Review," *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, vol. 46, no. 1, pp. 39–49, Jun. 2024, doi: 10.37934/araset.46.1.3949.
32. N. M. Pawar and N. R. Velaga, "Modelling the influence of time pressure on reaction time of drivers," *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav*, vol. 72, pp. 1–22, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.trf.2020.04.017.
33. Ü. Büyükcülçay and M. A. Zehir, "Energy Management Strategy Development for Formula-E Race Cars," in *2024 5th International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems (CIEES)*, IEEE, Nov. 2024, pp. 1–5. doi: 10.1109/CIEES62939.2024.10811421.
34. K. J. Åström and R. M. Murray, *Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers*, 2nd ed. Princeton, NJ: Princeton..... University Press, 2012.
35. T. Szydłowski, K. Surmiński, and D. Batory, "Drivers' Psychomotor Reaction Times Tested with a Test Station Method," *Applied Sciences* vol. 11, no. 5, p. 2431, Mar. 2021, doi: 10.3390/app11052431.
36. H. B. Pacejka, "Outlines of Three Advanced Dynamic Tire Models," in *Tire and Vehicle Dynamics*, Elsevier, 2012, pp. 577–591. doi: 10.1016/B978-0-08-097016-5.00013-9.
37. Math Works.(2025).Generic internal combustion engine. Generic Engine. Disponible en: <https://la.mathworks.com/help/sdl/ref/generic-engine.html>
38. G. Lechner, Harald. Naunheimer, and Joachim. Ryborz, *Automotive transmissions : fundamentals, selection, design, and application*. Springer, 1999. 4476.
39. G. Rill and A. A. Castro, *Road Vehicle Dynamics*. CRC Press, 2020. doi: 10.1201/978042924
40. F. Aparicio Izquierdo, C. Vera Álvarez, y V. Díaz López, *Teoría de los vehículos automóviles*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 1995.
41. L. Glielmo et al., "Vehicle longitudinal dynamics control based on LQ," en *2019 18th European Control Conference (ECC)*, 2019, pp. 2575–2580.
42. P. Falcone et al., "Linear analysis of lateral vehicle dynamics," en *2017 IEEE Conference on Control Technology and Applications (CCTA)*, 2017, pp. 1468–1474.
43. Q. Tian et al., "Evaluation of the accuracy of remote emission sensing measurements via real-world vehicle dynamic tests," *Environmental Pollution*, vol. 360, p. 124780, Nov. 2024, doi: 10.1016/j.envpol.2024.124780.
44. J. R. Serrano, J. Martín, P. Piqueras, R. Tabet, and J. Gómez, "Effect of natural and forced charge air humidity on the performance and emissions of a compression-ignition engine operating at high warm altitude," *Energy*, vol. 266, p. 126409, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.energy.2022.126409.
45. M. G. Connolly, A. Ivankovic, and M. J. O'Rourke, "Drag reduction technology and devices for road vehicles - A comprehensive review," *Heliyon*, vol. 10, no. 13, p. e33757, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e33757.
46. Thomas. Schuetz, *Aerodynamics of road vehicles*. Society of Automotive Engineers, 2016.
47. Y. Chen and A. Meier, "Fuel consumption impacts of auto roof racks," *Energy Policy*, vol. 92, pp. 325–333, May 2016, doi: 10.1016/j.enpol.2016.02.031.
48. Tarak. Bouraoui et al., *Advances in mechanical engineering and mechanics II : selected papers from the 5th Tunisian Congress on Mechanics, CoTuMe 2021, March 22-24, 2021*. Springer, 2022.
49. S. McTavish and B. McAuliffe, "Improved aerodynamic fuel savings predictions for heavy-duty vehicles using route-specific wind simulations," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 210, p. 104528, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.jweia.2021.104528.

50. R. Tarakka, N. Salam, J. Jalaluddin, and M. Ihsan, "Effect of blowing flow control and front geometry towards the reduction of aerodynamic drag on vehicle models," *FME Transactions*, vol. 47, no. 3, pp. 552–559, 2019, doi: 10.5937/fmet1903552T.
51. R. Tarakka, N. Salam, J. Jalaluddin, and M. Ihsan, "Active Flow Control by Suction on Vehicle Models with Variations on Front Geometry," *International Review of Mechanical Engineering (IREME)*, vol. 12, no. 2, p. 128, Feb. 2018, doi: 10.15866/ireme.v12i2.13876.
52. E. Bagheri, M. M. Tehrani, M. Azadi, and A. Moosavian, "Impact of driving characteristic parameters and vehicle type on fuel consumption and emissions performance over real driving cycles," *PLoS One*, vol. 20, no. 1, p. e0317098, Jan. 2025, doi: 10.1371/journal.pone.0317098.
53. Ó. S. Serrano-Guevara, J. I. Huertas, and M. Giraldo, "Real Energy Efficiency of Road Vehicles," *Energies (Basel)*, vol. 18, no. 8, p. 1933, Apr. 2025, doi: 10.3390/en18081933.