



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**ANÁLISIS DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN RUTAS PANAMERICANAS  
ARTERIALES DEL ECUADOR, A TRAVÉS DE DATOS RECOPIADOS DE  
DIFERENTES VEHÍCULOS, UTILIZANDO SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE  
DATOS OBD II PARA PROPONER ESTRATEGIAS QUE MINIMICEN EL  
CONSUMO INSTANTÁNEO.**

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

AUTOR: FREDDY DAVID MALLITASHIG YUGCHA  
TUTOR: PAÚL ANDRÉS MOLINA CAMPOVERDE

Quito - Ecuador  
2025

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

Yo Freddy David Mallitashig Yugcha con documento de identificación N° 1727436113 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo 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.

Quito, 25 de febrero del año 2025

Atentamente,



---

Freddy David Mallitashig Yugcha  
1727436113

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

Yo Freddy David Mallitashig Yugcha con documento de identificación No. 1727436113, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: “Análisis del consumo de combustible en rutas panamericanas arteriales del ecuador, a través de datos recopilados de diferentes vehículos, utilizando sistemas de adquisición de datos obd ll para proponer estrategias que minimicen el consumo instantáneo”, 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, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Quito, 25 de febrero del año 2025

Atentamente,



---

Freddy David Mallitashig Yugcha  
1727436113

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Paúl Andrés Molina Campoverde con documento de identificación N° 0104948104, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN RUTAS PANAMERICANAS ARTERIALES DEL ECUADOR, A TRAVÉS DE DATOS RECOPIADOS DE DIFERENTES VEHÍCULOS, UTILIZANDO SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS OBD II PARA PROPONER ESTRATEGIAS QUE MINIMICEN EL CONSUMO INSTANTÁNEO, realizado por Freddy David Mallitashig Yugcha con documento de identificación N° 1727436113, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción: Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 25 de febrero del año 2025

Atentamente,



---

Ing. Paúl Andrés Molina Campoverde, MSc.

0104948104

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente proyecto a Dios por todas las bendiciones recibidas, mis padres los cuales han sido un pilar muy importante para mi vida, los cuales con su fortaleza y dedicación me enseñaron el valor del esfuerzo y perseverancia para alcanzar este logro.

A mis pocos compañeros de aula, por su apoyo y por recordarme que el camino de estudiante, aunque en muchas ocasiones difícil nunca debe de recorrer solo.

Y finalmente a mi mismo, por no rendirme ante los diferentes contratiempos y continuar avanzando con determinación.

David Mallitashig

## **AGRADECIMIENTO**

Mis sinceros agradecimientos a mis padres, Carmen Yugcha y Freddy Mallitashig, siendo ellos mi fuente de inspiración, y mil gracias por depositar su confianza en mi persona y así darme el impulso para avanzar con firmeza.

Al Ing. Paul Molina, quien con su orientación, paciencia y experiencia supo guiarme durante el desarrollo de este trabajo.

A mi chica especial de 5 años que, aunque en ocasiones haciéndome cambiar de genio, me ha brindado su apoyo y me ha ayudado a pasar momentos duros durante este proceso.

Finalmente, agradezco a todos aquellos que de manera directa o indirecta hicieron posible la culminación de este esfuerzo.

David Mallitashig

## ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN .....	11
PROBLEMA.....	12
Objetivo General.....	13
Objetivos Específicos.....	13
Marco Teórico .....	13
CAPÍTULO 1.....	17
EFICIENCIA DE COMBUSTIBLE EN VÍAS DE ALTA VELOCIDAD.....	17
1.1    Estado del arte.....	17
2.1    Estimación del consumo de combustible.....	19
Estimación del consumo de combustible a través de parámetros identificadores.....	20
Estimación del consumo de combustible mediante el sensor MAF (flujo de masa de aire). 20	
Estimación del consumo de combustible mediante mapas cartográficos .....	21
Estimación del consumo de combustible a través de pruebas en dinamómetros de chasis. 22	
1.3 Análisis de indicadores.....	24
Raíz Cuadrada Media (RMS) .....	24
Energía cinética Específica (PKE) .....	24
Aceleración positiva relativa (RPA).....	24
Potencia Específica del Vehículo (VSP) .....	25
Intensidad cinética (KI) .....	25
Velocidad de la Aceleración positiva (VA).....	26
Desviación Estándar de la Velocidad (SD Speed) .....	26
CAPÍTULO 2.....	27
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS .....	27
2.1.    Adquisición de datos .....	27
2.2    Post procesamiento.....	29
2.3    Estudio Exploratorio .....	33
2.4    Cálculo de indicadores .....	37
Raíz Cuadrada Media (RMS) .....	37
Energía Cinética Especifica (PKE) .....	38
Aceleración Positiva Relativa (RPA) .....	38
Potencia Específica del Vehículo (VSP) .....	39
Intensidad Cinética (KI) .....	40
Velocidad Aceleración Positiva (VA).....	40
Desviación Estándar de la Velocidad (SD Speed) .....	40

CAPÍTULO 3.....	44
ESTIMACIÓN DE VARIABLES RELEVANTES.....	44
3.1 Análisis de correlación .....	44
3.2 Análisis de importancia de variables.....	50
CAPÍTULO 4.....	52
ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS .....	52
4.1 Análisis mediante arboles de regresión .....	52
4.2 Comparación de resultados.....	60
CONCLUSIONES .....	64
RECOMENDACIONES.....	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Mapa Cartográfico.....	21
Figura 1.2: Dinamómetro de chasis .....	23
Figura 2.2: Conexión OBD II .....	29
Figura 2.2: Grafica ruta Kia rio Quito - Cuenca .....	29
Figura 2.3: Grafica ruta Aveo activo Quito - Baños .....	31
Figura 2.4: Grafica ruta Aveo activo Forestal -Baños.....	32
Figura 2.5: Grafica ruta Aveo emotion Chillogallo - Baños .....	32
Figura 2.6: Grafica ruta Kia rio Quevedo - Cuenca.....	33
Figura 2.7: Grafica ruta Renault – Logan Forestal Tungurahua .....	34
Figura 2.8: Grafica velocidad Kia rio.....	35
Figura 2.9: Grafica aceleración Kia rio .....	36
Figura 2.10: Grafica VSS .....	36
Figura 2.11: Grafica consumo de combustible .....	37
Figura 2.12: Grafica de velocidades.....	39
Figura 2.13: Grafica VSP Kia rio.....	45
Figura 3.1: Correlación con respecto al consumo Kia rio 1.4 (ruta 1).....	46
Figura 3.2: Correlación con respecto al consumo Aveo activo (ruta 1).....	47
Figura 3.3: Correlación con respecto al consumo Aveo activo (ruta 2).....	48
Figura 3.4: Correlación con respecto al consumo Aveo emotion .....	49
Figura 3.5: Correlación con respecto al consumo Kia rio 1.4 (ruta 2).....	50
Figura 3.6: Correlación con respecto al consumo Renault Logan .....	50

Figura 4.1: Selección de árboles de decisión.....	53
Figura 4.2: Árbol de decisión progression learner .....	54
Figura 4.3: Árbol de decisión progression learner .....	55
Figura 4.4: Consumo de combustible con modelo predictivo .....	55
Figura 4.5: Árbol de decisión progression learner .....	56
Figura 4.6: Árbol de decisión progression learner .....	57
Figura 4.7: Árbol de decisión progression learner .....	57
Figura 4.8: Árbol de decisión progression learner .....	58
Figura 4.9: Árbol de decisión progression learner .....	59
Figura 4.10: Valores de consumo mediante la aplicación del modelo .....	59
Figura 4.11: Consumo de combustible de prueba.....	61
Figura 4.12: Consumo de combustible Aveo emotion.....	62

#### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Ficha técnica vehículos .....	28
Tabla 2.2: Valores obtenidos Cuenca Rio – Kia rio.....	29
Tabla 2.3: Tabla de valores.....	43
Tabla 3.1: Tabla de Correlaciones con respecto al consumo.....	51

## RESUMEN

El análisis del consumo de combustible en rutas panamericanas arteriales del Ecuador aborda en el primer capítulo se desarrolló un marco teórico necesario, comenzando con una revisión del estado del arte abarcando investigaciones previas. Se analizan los métodos actuales para estimar el consumo. Además, se lleva a cabo un análisis detallado de los indicadores que influyen en la eficiencia del consumo de combustible.

En el capítulo dos, se describe el proceso de adquisición e interpretación de datos, se explica el uso de sistemas OBD II para la recopilación de información en tiempo real. se calculan indicadores que permiten evaluar el desempeño de los vehículos en diferentes condiciones operativas en rutas arteriales panamericanas.

El capítulo tres, se aborda la identificación de las variables más relevantes mediante de análisis. A través de un análisis de correlaciones, se evalúan las relaciones entre diferentes variables con respecto al consumo de combustible complementando así un análisis de importancia de variables. Permitiendo así establecer un enfoque para comprender los indicadores que tienen mayor influencia en la eficiencia del motor.

Finalmente, en el capítulo cuatro, se integran los resultados obtenidos de los análisis mediante la implementación de modelos predictivos, utilizando técnicas de regresión basados en árboles de decisión. Estos modelos permiten explicar de manera detallada el consumo de combustible en función de las variables que influyen principalmente en el gasto de combustible. Así se formulan propuestas de estrategias que buscan reducir el consumo instantáneo de combustible en vehículos que circulan en rutas panamericanas.

**Palabras Claves:** consumo de combustible, eficiencia de combustible, adquisición de datos, sistemas OBD II, estudio exploratorio, análisis de correlación, modelos predictivos, árboles de decisión, regresión, optimización, consumo instantáneo.

## ABSTRACT

The analysis of fuel consumption on Pan-American arterial routes in Ecuador addresses in the first chapter a necessary theoretical framework was developed, starting with a review of the state of the art covering previous research. Current methods for estimating consumption are analyzed. In addition, a detailed analysis of the indicators that influence fuel consumption efficiency is carried out.

In chapter two, the process of data acquisition and interpretation is described, the use of OBD II systems for real-time data collection is explained, and indicators are calculated to evaluate vehicle performance under different operating conditions on Pan-American arterial routes.

Chapter three deals with the identification of the most relevant variables by means of analysis. Through an analysis of correlations, the relationships between different variables with respect to fuel consumption are evaluated, thus complementing an analysis of the importance of variables. This allows us to establish an approach to understand the indicators that have the greatest influence on the efficiency of the engine.

Finally, in chapter four, the results obtained from the analysis are integrated through the implementation of predictive models, using regression techniques based on decision trees. These models allow a detailed explanation of fuel consumption according to the variables that mainly influence fuel consumption. In this way, strategies proposals are formulated to reduce instantaneous fuel consumption in vehicles circulating on Pan-American routes.

**Keywords:** fuel consumption, fuel efficiency, data acquisition, OBD II systems, exploratory study, correlation analysis, predictive modeling, decision trees, regression, optimization, instantaneous

## INTRODUCCIÓN

Este estudio se enfoca en el análisis detallado del consumo de combustible en las rutas panamericanas arteriales del Ecuador, a través de la recopilación de datos procedentes de diversos vehículos utilizando sistemas de adquisición OBD II. El objetivo principal es proponer estrategias que contribuyan a la minimización del consumo instantáneo, mejorando así la eficiencia energética en las vías de alta velocidad.

En el primer capítulo, se aborda la eficiencia de combustible en estas rutas, con un análisis del estado del arte, que presenta las investigaciones previas sobre el tema, seguido por la estimación del consumo de combustible y un estudio detallado de los indicadores utilizados para evaluar la eficiencia vehicular.

El segundo capítulo se centra en el análisis e interpretación de los datos recopilados, comenzando con la adquisición de datos, el estudio exploratorio para identificar patrones y tendencias, y el cálculo de indicadores para evaluar el rendimiento de los vehículos en diferentes condiciones de conducción.

En el tercer capítulo, se profundiza en la estimación de variables relevantes, realizando un análisis de correlación para comprender las relaciones entre las variables clave, seguido de un análisis de la importancia de estas variables.

Finalmente, el cuarto capítulo presenta el análisis y la comparación de los resultados obtenidos, utilizando técnicas avanzadas como la regresión a través de árboles de decisión, lo que permite comparar los resultados con diferentes modelos y datos, se proponen estrategias para reducir el consumo de combustible basado en estos análisis. Este enfoque combina técnicas estadísticas y modelos predictivos, permite ofrecer soluciones prácticas y basadas en datos para mejorar la eficiencia del consumo de combustible en las principales rutas panamericanas de Ecuador.

## **PROBLEMA**

El proyecto se centra en el sector del transporte por carretera, específicamente en Ecuador, abordando el problema del alto consumo de combustible y las emisiones contaminantes en las rutas panamericanas. Se identifica que el incremento del parque automotor en Ecuador ha resultado en un aumento significativo en el consumo de combustible y las emisiones contaminantes, siendo el sector del transporte responsable de aproximadamente el 40% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> en el país según (Lugmania & Paillacho, 2023). Este problema tiene implicaciones ambientales y económicas, ya que los vehículos motorizados contribuyen sustancialmente a las emisiones de gases de efecto invernadero y a la contaminación atmosférica, afectando la salud pública y generando costos adicionales. La delimitación física se sitúa en las rutas panamericanas, con un enfoque geográfico específico en Ecuador, aunque se mencionan estudios realizados en ciudades como Riobamba y Quito (Cruz & Alomaliza, 2020). Aunque no se especifica una delimitación temporal concreta, se hace referencia a investigaciones realizadas en diferentes años, desde 2018 hasta 2023, lo que sugiere una cobertura temporal actualizada de la problemática. En consecuencia, el proyecto busca implementar medidas que promuevan el uso de vehículos más eficientes en el consumo de combustible y menos contaminantes, así como alternativas de movilidad sostenible y políticas de gestión del tráfico para abordar estos desafíos y mejorar la calidad ambiental en el transporte por carretera en Ecuador.

### **Delimitación del problema. –**

Existen varias rutas panamericanas que cruzan a lo largo del territorio ecuatoriano siendo estas las más importantes en el estudio que involucra consumos instantáneos de combustibles al estar circulando por las mismas, conectando de esta manera a grandes ciudades como son Quito, Ibarra, Riobamba, Cuenca, Guayaquil siendo estas las más emblemáticas del territorio nacional.

El análisis del consumo de combustible se basa en automóviles sedan que no estén por debajo del año 2010 desde su ensamblaje para de esta manera contar con tecnología acorde al mercado ecuatoriano.

## **Objetivo General.**

Analizar el uso de combustible en las principales vías de las rutas panamericanas en Ecuador, mediante la recopilación de datos de varios vehículos, utilizando sistemas de captura de datos OBD II, con el fin de proponer estrategias que reduzcan el consumo de combustible de manera inmediata.

## **Objetivos Específicos.**

- Explorar estudios previos sobre el consumo de combustible en las rutas panamericanas para fundamentar el contexto teórico del estudio.
- Elaborar un algoritmo de análisis de datos a través del estudio de los parámetros identificadores de datos.
- Determinar las variables más influyentes del consumo de combustible de vehículos recorren rutas panamericanas.
- Comparar los resultados con estudios similares en regiones cercanas al país.

## **Marco Teórico**

El análisis del consumo de combustible en rutas panamericanas arteriales del Ecuador tiene como objetivo comprender cómo los vehículos consumen combustible en diferentes condiciones utilizando sistemas de monitoreo OBD II. Estos dispositivos recopilan datos esenciales sobre el rendimiento del vehículo, como la velocidad, el consumo de combustible en tiempo real y las revoluciones por minuto (RPM). La información obtenida permite identificar los factores que influyen en el uso del combustible, el estilo de conducción y las características específicas del vehículo. Además, se observa que la velocidad del vehículo está directamente relacionada con la eficiencia del consumo de combustible, siendo las velocidades moderadas generalmente más eficientes. Con base en el análisis de los datos recopilados, se sugiere implementar estrategias orientadas a optimizar el consumo de combustible. Entre estas destaca la planificación de rutas eficientes, basada en criterios como la distancia, el tráfico y la topografía, con el objetivo de minimizar recorridos innecesarios y maximizar el rendimiento vehicular. Además, se contempla el mantenimiento preventivo de las unidades y la capacitación especializada de los conductores. Esta formación, dirigida tanto a operadores profesionales como a particulares interesados, se impartirá mediante talleres prácticos y sesiones teóricas que aborden técnicas de conducción eficiente.

Finalmente, se propone la incorporación de tecnologías avanzadas, como sistemas de navegación inteligentes y herramientas de monitoreo en tiempo real. En conjunto, estas medidas prometen no solo reducir los costos operativos, sino también disminuir significativamente las emisiones de gases contaminantes, alineándose con objetivos de sostenibilidad ambiental. (Luna & Javier, 2020).

En contraste con las afirmaciones de trabajos de (Marchese & Golato, 2011), su investigación ha logrado calcular, según el tipo de vehículo, el gasto de combustible y energía para distintos niveles de carga, tomando en cuenta el impacto del rozamiento de las ruedas y la aerodinámica del vehículo. El trabajo aporta una metodología o un enfoque más detallado y específico para evaluar cómo estas variables interactúan, mejorando la comprensión del consumo energético en diferentes escenarios. Esto sugiere un progreso respecto a investigaciones previas, subrayando la importancia de las condiciones operativas y características físicas de los vehículos en los cálculos.. Para el automóvil, se ha observado que con un motor de mayor eficiencia y una aerodinámica mejorada, se puede reducir el consumo de combustible entre un 27% y un 38% en comparación con la situación inicial, considerando los niveles de carga examinados.

Por otra parte (González Valdés et al., 2010), explica cómo se examinaron los hallazgos de investigaciones previas sobre el consumo de combustible en motores de combustión interna (MCI) que utilizan gasolina, y cómo varía dicho consumo en relación con la masa y la potencia generada. Se identificaron relaciones entre los indicadores y el impacto de las características de diseño utilizando el software STATGRAPHICS Plus 5.0, lo que resultó en vehículos de tipo sedan con motor 1.6 de modelo Chevrolet activo, sail y spark, la obtención de ecuaciones para los modelos ajustados.

Se han llevado a cabo diversas investigaciones dentro del ámbito automotriz, aunque son escasas las que se centran específicamente en la evaluación del consumo de combustible en vehículos livianos. Por esta razón, (Terán & Luis, 2013), esta investigación constituye un aporte valioso para la comunidad, ya que ofrece un análisis exhaustivo y datos precisos sobre el consumo de combustible vinculado a la movilidad en entornos urbanos. El objetivo de esta investigación es cuantificar y examinar el consumo de combustible en dos vehículos

livianos bajo diferentes condiciones de ruta y carga, replicando así las situaciones habituales de uso que experimentan los habitantes de Quito al utilizar sus automóviles.

En apoyo a la presente investigación, (Miyashiro Pérez & Delgado Fernández, 2009). El estudio del consumo de combustible resulta crucial en los campos del transporte y la ingeniería automotriz, pues permite analizar y comprender los factores determinantes que afectan el desempeño energético de los vehículos. Este conocimiento facilita la identificación de oportunidades para optimizar su eficiencia. La presente investigación busca desarrollar estrategias destinadas a disminuir el consumo de combustible, promoviendo una mayor eficiencia energética, la reducción de costos operativos y una huella de carbono más baja.

Para alcanzar estos objetivos, se emplean diversas metodologías de análisis, tales como ensayos en laboratorio, pruebas en carretera, modelado computacional y evaluaciones estadísticas. Estas técnicas se apoyan en instrumentos de medición avanzados y software especializado de simulación. Mediante la comparación de distintos modelos de vehículos, condiciones de carga, trayectorias de conducción y estilos de manejo, es posible determinar las eficiencias relativas y formular recomendaciones prácticas para maximizar el rendimiento energético y minimizar los gastos asociados al transporte.

Además de las contribuciones de (Terán & Luis, 2013), En esta investigación, el estudio del consumo de combustible cobra una importancia fundamental dentro de los sectores del transporte y la ingeniería automotriz. Su objetivo principal radica en analizar y comprender los factores que influyen en el gasto energético de los vehículos, con el fin de identificar áreas susceptibles de mejora y optimización. Este enfoque permite desarrollar estrategias orientadas a la disminución del consumo de combustible, promoviendo así una mayor eficiencia energética, la reducción de costos operativos y una disminución en las emisiones de carbono.

Las metodologías utilizadas en el análisis incluyen ensayos en entornos controlados, pruebas en condiciones reales de conducción, simulaciones computacionales y evaluaciones estadísticas detalladas, apoyadas por dispositivos de medición avanzados y herramientas especializadas de software. Comparando diferentes configuraciones de vehículos, rutas de circulación, niveles de carga y técnicas de manejo, se pueden determinar las eficiencias

relativas y generar recomendaciones precisas para optimizar el rendimiento energético y minimizar los gastos asociados al transporte.

Por lo tanto, según investigaciones de (Montaño & Ayala José, 2018), El estudio del consumo de combustible desempeña un rol esencial en el ámbito del transporte y la ingeniería automotriz, ya que su propósito es analizar y comprender los factores que influyen en dicho consumo, con el objetivo de identificar oportunidades de mejora. Este análisis resulta clave para diseñar estrategias destinadas a optimizar el uso de combustible, promoviendo una mayor eficiencia energética y reduciendo los costos operativos.

Las metodologías empleadas abarcan ensayos controlados en laboratorio, pruebas en condiciones reales de conducción, simulaciones computacionales y análisis estadísticos detallados, utilizando herramientas tecnológicas avanzadas. Mediante la comparación de distintos modelos de vehículos, trayectorias de manejo, niveles de carga y estilos de conducción, es posible determinar las diferencias en sus eficiencias y formular recomendaciones específicas para maximizar el rendimiento energético y minimizar los costos asociados al transporte.

## CAPÍTULO 1

### EFICIENCIA DE COMBUSTIBLE EN VIAS DE ALTA VELOCIDAD

#### 1.1 Estado del arte.

La eficiencia de combustible en vías de alta velocidad es esencial a nivel global debido a los altos costos del combustible, la dependencia de los combustibles fósiles y la necesidad de reducir las emisiones contaminantes. Varios factores influyen en esta eficiencia, como la velocidad del vehículo, su diseño aerodinámico, el peso, el estado de las carreteras y las tecnologías modernas del automóvil. Países como Estados Unidos, la Unión Europea y China han establecido normativas estrictas de emisiones y ofrecen incentivos para vehículos eficientes, como los híbridos y eléctricos, además de invertir en la investigación de combustibles alternativos. Por lo cual (Juan Felipe Franco R., 2012) menciona, al mejorar la eficiencia de combustible en estas vías no solo reduce las emisiones de CO<sub>2</sub>, ayudando a combatir el cambio climático y mejorando la calidad del aire, sino que también baja los costos operativos.

La eficiencia de combustible en las vías arteriales de alta velocidad en Ecuador se presenta como un factor determinante para abordar los desafíos económicos y ambientales que enfrenta el país en el ámbito del transporte. Dado el creciente volumen de tráfico y la dependencia de combustibles fósiles, es imperativo optimizar el consumo de combustible para reducir el impacto económico asociado a los costos operativos, tanto para empresas de transporte como para conductores individuales. Además, la mejora en la eficiencia energética de los vehículos que transitan por estas vías es fundamental para disminuir las emisiones de gases contaminantes, como el dióxido de carbono, que contribuyen al cambio climático y afectan la salud pública. En las principales arterias viales del país, como las carreteras panamericanas, la velocidad de los vehículos desempeña un papel crucial. A medida que la velocidad se incrementa, también lo hace el consumo de combustible, debido al aumento de la resistencia aerodinámica y la mayor demanda de potencia del motor. Este incremento no solo afecta los costos operativos de los conductores, sino que también genera un aumento en las emisiones de gases contaminantes, como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), lo que agrava el cambio climático y deteriora la calidad del aire. La implementación de estrategias para gestionar la velocidad, tales como establecer límites adecuados y fomentar técnicas de conducción eficiente, junto con la incorporación de tecnologías avanzadas en los

vehículos, puede contribuir significativamente a reducir el consumo de combustible y minimizar las emisiones de gases nocivos (Carlos et al., 2019)

Para estimar el consumo de combustible de los vehículos asignados a instituciones gubernamentales en Montería, se emplea un método integrado que combina tecnologías como el sistema OBD-II para la recopilación de datos en tiempo real, incluyendo velocidad, RPM, carga del motor y consumo instantáneo de combustible, junto con el uso de tecnologías GPS y GSM/GPRS para el seguimiento continuo de la ubicación y transmisión de datos a través de una plataforma web. Actualmente, se observa un consumo promedio de combustible de aproximadamente 12 litros por cada 100 kilómetros recorridos. Con la implementación de estas tecnologías avanzadas, se proyecta reducir el consumo promedio a alrededor de 10 litros por cada 100 kilómetros recorridos, lo que representa una mejora estimada del 20% en la eficiencia del consumo de combustible. Este enfoque no solo permite un monitoreo detallado y actualizado del uso de los vehículos, sino que también facilita análisis en tiempo real de los patrones de consumo y el cumplimiento de rutas, mejorando así la eficiencia operativa y garantizando un uso más eficaz de los recursos públicos en Montería (Vergara Guevara & Estrella Velásquez, 2018).

En contraste con las afirmaciones previas según (Temístocles & Muñoz, 2021) se basa en el desarrollo de un prototipo de adquisición, almacenamiento y análisis de datos "datalogger" mediante el uso de microcontroladores, sistema OBD-II y sensores. Este sistema permite la medición en tiempo real de variables como velocidad y consumo de combustible, entre otras, a través de aplicaciones Android enlazadas al OBD-II del vehículo. El prototipo también incluye la implementación de una interfaz que utiliza Arduino y Python con la librería Pandastable para visualizar, seleccionar y graficar datos de interés de manera intuitiva para el usuario. Actualmente, se han realizado pruebas que muestran resultados como muestras de RPM, temperatura del motor y cámara de admisión, obteniendo un total de 3000 muestras. Con la implementación completa del sistema, se espera aumentar la capacidad de recolección de datos hasta 5000 muestras por prueba, lo que representa un incremento del 40% en la cantidad de información capturada y analizada. Este enfoque facilita la interpretación y análisis detallado de los datos, proporcionando una herramienta fundamental para la investigación y la mejora continua de la eficiencia de los motores de combustión interna.

A su vez, (Bernal Fabian & Villacrese Homero, 2024) explica como el método utilizado para estimar el consumo de combustible en su estudio se basa en la recolección de datos mediante el sistema OBD II y una metodología de estimación de consumo y emisiones con un ciclo real de conducción, se empleó un modelo matemático para calcular el consumo de combustible, obteniendo resultados cercanos a los valores proporcionados por el fabricante del vehículo. El enfoque del estudio fue no experimental, descriptivo y cuantitativo, utilizando técnicas y métodos organizados bajo la metodología de las 5M (Materiales, Mano de obra, Método, Medio ambiente y Medición). Este análisis revela que los propietarios de camionetas en el sector estudiado están principalmente influenciados por factores económicos al elegir diésel como combustible principal, debido a su costo. Actualmente, las emisiones estimadas de CO<sub>2</sub> se sitúan en aproximadamente 180 gramos por kilómetro recorrido, lo que refleja un aumento del 15% en comparación con mediciones anteriores bajo condiciones similares. Aunque existe un creciente interés en la innovación y sostenibilidad, incluyendo la consideración de vehículos eléctricos, las condiciones actuales y la disponibilidad de vehículos adecuados limitan su adopción en este contexto específico.

En el estudio de (García-Castro, 2015) se estableció una relación empírica entre un índice de congestión y el consumo de combustible mediante el análisis de datos reales de vehículos en diversos tramos del área metropolitana de Madrid, registrando un total de 3,800 viajes bajo distintas situaciones de tráfico y estilos de conducción. Antes de la investigación, se había observado que el consumo promedio de combustible era de aproximadamente 8 litros por cada 100 kilómetros en condiciones de tráfico fluido. Tras el estudio, se encontró que, durante condiciones de tráfico congestionado, el consumo promedio aumentó a aproximadamente 10 litros por cada 100 kilómetros, lo que representó un incremento del 25% en comparación con las condiciones ideales. Además, se realizó la simulación de emisiones atmosféricas y consumo de combustible para tres flotas hipotéticas de vehículos en la ciudad de Valladolid utilizando el programa Copert 4. Este software calculó las emisiones atmosféricas y el consumo de combustible considerando parámetros como condiciones climáticas, características del combustible, recorridos típicos, tipos de vehículos y normativas anticontaminantes aplicables, proporcionando así datos precisos para la evaluación y gestión ambiental en áreas urbanas.

## **2.1 Estimación del consumo de combustible.**

### **Estimación del consumo de combustible a través de parámetros identificadores.**

Existen diferentes formas de estimar el consumo de combustible que van desde formas experimentales hasta analíticas. Con el uso de la ley ideal de los gases que se basa principalmente en la Presión Absoluta del Colector de Admisión (MAP), parámetro que se encuentra vinculado con la estimación del consumo de combustible en vehículos. Este procedimiento se centra en la medición de variables como la presión en la cámara de combustión (P) en KPa o psi, el volumen de las cámaras de combustión (V) en  $cm^3$ , R es la constante universal de los gases, cuyo valor es  $8.3146 (cm^3 * MPa) / (K * mol)$ , n siendo el número de moles en la muestra, y la temperatura del aire de admisión (T) en K, todas obtenidas mediante sensores específicos (ROMEL ZAPATA & ALEX CHONTASI, 2024).

$$\text{Consumo Combustible} = \frac{MAP * RPM * Cilindrada * VE}{AFR * Densidad Combustible * 120} \quad \text{Ec. (1.1)}$$

Donde:

- MAP: Presión en el colector de admisión (en kPa o psi).
- RPM: Revoluciones por minuto del motor.
- Cilindrada: Capacidad de los cilindros del motor (en litros).
- VE: Eficiencia volumétrica del motor (porcentaje de aire que entra respecto a la capacidad máxima).
- AFR: Relación aire-combustible, generalmente 14.7:1 para motores de gasolina.
- Densidad del Combustible: Densidad del combustible, en kg/L.

### **Estimación del consumo de combustible mediante el sensor MAF (flujo de masa de aire).**

La estimación del consumo de combustible mediante el sensor de Flujo de Masa de Aire (MAF) es un método eficiente para calcular con precisión tanto el consumo de combustible como las emisiones de  $CO_2$  en vehículos. Este procedimiento se basa en los datos proporcionados directamente por el sensor MAF, que mide la cantidad de aire que entra al motor en gramos por segundo (g/s) (Patricio Román et al., 2019).

Para determinar el consumo de combustible, primero utilizamos la fórmula:

$$AFR = \frac{m_a [g]}{m_{fuel} [g]} \quad \text{Ec. (1.2)}$$

En esta fórmula:

- $m_a$  : es el flujo de masa de aire en gramos (g).
- $AFR$  : representa la relación aire-combustible, que es la proporción de aire respecto al combustible en la mezcla.
- $m_{fuel}$  : es la densidad del combustible en gramos (g).

La densidad del combustible es un valor conocido que generalmente oscila entre los 720 g/l para la gasolina, por lo cual se lo puede relacionar con el consumo de combustible en (L/h).

### **Estimación del consumo de combustible mediante mapas cartográficos.**

La estimación del consumo de combustible usando mapas cartográficos es una utilización de tablas tridimensionales que representan el desempeño del motor bajo distintas condiciones de funcionamiento. A estos también se los puede conocer como mapas de eficiencia o mapas de consumo específico de combustible los cuales van relacionados directamente con la velocidad del motor y la carga que se ejerce al mismo. (Andres Lopez et al., 2022)

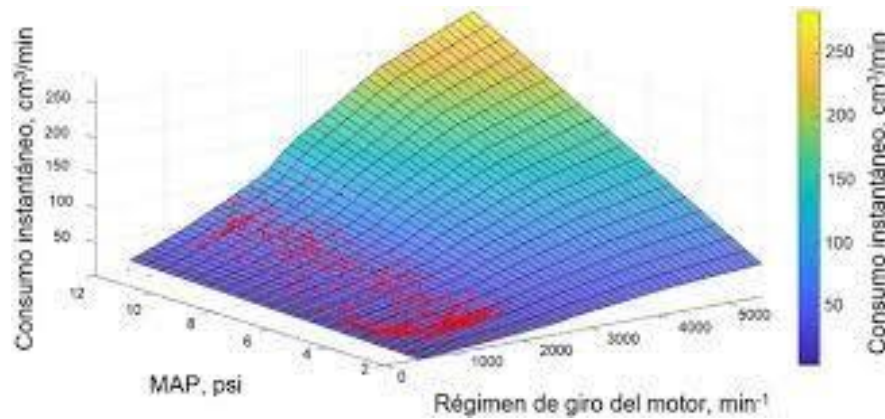
Para la creación de estos mapas como se muestra en la Figura 1.1 se recolectan varios datos del funcionamiento del motor en diferentes velocidades y cargas, el mapa tridimensional donde los ejes representan la velocidad, la carga y el consumo de combustible en la cual con la siguiente fórmula lo podremos representar:

$$\text{Consumo combustible} = RPM * C_{motor} \quad \text{Ec. (1.3)}$$

Donde:

- $RPM$ : revoluciones por minuto
- $C_{motor}$ : carga del motor en Nm
- $\text{Consumo combustible}$ : g/s o L/h

Figura 1.1: Mapa Cartográfico



Ejemplo visualización, Fuente: (Andrés López et al., 2022)

### **Estimación del consumo de combustible a través de pruebas en dinamómetros de chasis.**

Las pruebas en dinamómetros de chasis son una técnica controlada para estimar el consumo de combustible de un vehículo bajo condiciones de pruebas. Este método permite evaluar el rendimiento del vehículo y su eficiencia en consumo de combustible mediante la simulación de diversas condiciones de conducción controlada. Se presentan las fórmulas y los pasos claves que se utiliza en este proceso (Andrés López et al., 2022)

La potencia de salida del motor se mide directamente en el dinamómetro y se puede expresar como:

$$P_{salida} = T * w \quad \text{Ec. (1.4)}$$

Donde:

- $T$ : es el torque generado por el motor (N·m)
- $w$ : es la velocidad angular del motor (rad/s)

La potencia de entrada se calcula considerando el flujo de combustible y el valor calorífico inferior (LHV) del combustible:

$$P_{entrada} = \dot{m}_{fuel} * LHV \quad \text{Ec. (1.5)}$$

Donde:

- $\dot{m}$ : es la tasa de flujo de combustible (kg/s)
- LHV: es el valor calorífico inferior del combustible (J/kg)

El consumo de combustible durante la prueba se estima utilizando la tasa de flujo de combustible medida y el tiempo de prueba:

$$\dot{m}_{fuel} = \frac{V_{fuel}}{t_{prueba}} \quad \text{Ec. (1.6)}$$

Donde:

- $V_{fuel}$ : es el volumen de combustible consumido durante la prueba (L)
- $t_{prueba}$ : es tiempo de duración de la prueba (s)

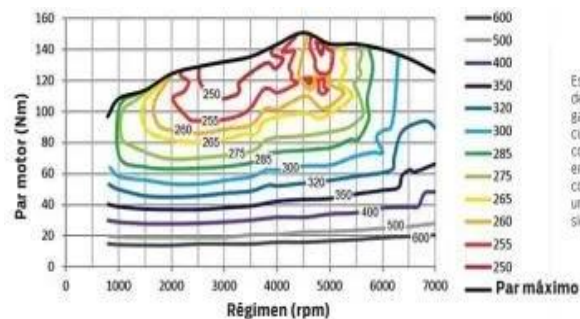
Para expresar el consumo de combustible en una medida común como se lo interpreta en la Figura 1.2, se convierte el consumo de combustible a litros por cada 100 kilómetros:

$$C_f \left( \frac{L}{100 Km} \right) = \frac{\dot{m}_{fuel} * 100}{\rho_{fuel} * V_{promedio}} \quad \text{Ec. (1.7)}$$

Donde:

- $\dot{m}_{fuel}$ : es la tasa de flujo de combustible (kg/s)
- $\rho_{fuel}$ : es la densidad del combustible (kg/L)
- $V_{promedio}$ : es la velocidad promedio del vehículo durante la prueba (km/h)

Figura 1.2: Dinamómetro chasis



Ejemplo de visualización, Fuente: (Andrés López et al., 2022)

### 1.3 Análisis de indicadores

#### Raíz Cuadrada Media (RMS)

La raíz cuadrada media es una magnitud promedio de una señal o un conjunto de datos la (RMS) se la utiliza para evaluar las distintas variaciones y la potencia de las señales que se relacionan con parámetros como la velocidad y la aceleración siendo estas las principales.

La fórmula para calcular la (RMS) es la siguiente:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2} \quad \text{Ec. (1.8)}$$

- $x_i$ : valores individuales en un conjunto de datos
- N: número total de datos
- $\sum_{i=1}^N$  : suma de los cuadrados de  $x_i$

#### Energía cinética Específica (PKE)

Es la potencia generada dependiente de la unidad de masa del sistema en el cual se está trabajando, el (PKE) explica cómo se distribuye la energía cinética que esta relaciona con la masa del automóvil (Eljaik Gómez Director et al., 2022)

La fórmula para calcular el PKE es la siguiente:

$$PKE = \frac{v^2}{m} \quad \text{Ec. (1.9)}$$

- v: velocidad del automóvil
- m: masa (Kg)
- PKE: vatios por Kilogramo (W/Kg)

#### Aceleración positiva relativa (RPA)

El (RPA) es un método utilizado para relacionar con la velocidad de la aceleración que es empleada para describir la frecuencia de las aceleraciones de contienen grandes cantidades de energía y su cálculo se implica en la suma de los productos de la aceleración y su velocidad en cada segundo y luego dividirlo a la suma de cada segmento analizado.

Fórmula para cálculo del (RPA):

$$RPA = \frac{\int_0^T (v_i * a_i)}{x} \quad \text{Ec. (1.10)}$$

Donde:

- $v_i$ : velocidad instantánea
- $T$ : tiempo total
- $x$ : distancia total

### Potencia Específica del Vehículo (VSP)

Es la cantidad de potencia generada por la unidad de masa del vehículo, este parámetro es importante ya que proporciona una medida para la eficiencia y rendimiento del motor en relación con el peso de este.

El VSP se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$VSP = \frac{v(a(1+0,1)+9,81*0,0135)+1,207*0,0005*v^2}{2} \quad \text{Ec. (1.11)}$$

- $v$ : velocidad del vehículo m/s
- $a$ : aceleración del vehículo  $m/s^2$

### Intensidad cinética (KI)

La intensidad cinética describe la cantidad de energía cinética contenida en un vehículo en relación con el movimiento. Este sistema nos ayuda a entender cómo se distribuye la energía cinética en un sistema en movimiento, esta se relaciona con la velocidad y la masa dependiendo de la distribución cinética.

Fórmula para el cálculo de Intensidad cinética:

$$kI = \frac{E_k}{m} \quad \text{Ec. (1.13)}$$

- $E_k$ : energía cinética
- $m$ : masa total (Kg)
- $kI$ :  $m^2/s^2$

La energía cinética se calcula de la siguiente forma:

$$E_k = \frac{1}{2} * m * (v_f^2 - v_i^2) \quad \text{Ec. (1.14)}$$

- m: masa total (Kg)
- v: velocidad inicial y final (m/s)
- $E_k$ : julios (J)

### Velocidad de la Aceleración positiva (VA)

El (VA) se puede calcular vinculando la aceleración promedio con los diferentes intervalos de aceleración positiva de un automóvil la cual se puede expresar con la siguiente fórmula.

Fórmula para encontrar el (VA):

$$VA = \frac{\sum_{i=1}^N v(i)}{N} \quad \text{Ec. (1.15)}$$

$v(i)$  : velocidad en el instante de velocidad positiva

N; números en los que se cumplen la condición

### Desviación Estándar de la Velocidad (SD Speed)

Describe la variedad de los valores de la velocidad dentro de un conjunto de datos, este parámetro nos ayuda a obtener información sobre la continuidad o variación de las diferentes velocidades en un determinado tiempo (Montaño & Ayala José, 2018).

Fórmula utilizada para obtener (SD speed):

$$SD \text{ speed} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (v_i - \bar{v})^2} \quad \text{Ec. (1.16)}$$

$v_i$ : valor individual de velocidad (m/s)

$\bar{v}$ : media de velocidades (m/s)

N: número total de mediciones de velocidad

$\sum_{i=1}^N (v_i - \bar{v})^2$ : suma de velocidades, individual y media

## CAPÍTULO 2

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

En el siguiente apartado se explicó cómo se obtuvieron los datos recopilados mediante las entradas OBD II de los automóviles, con los cuales se facilitaron la toma de datos en tiempo real en las diferentes condiciones y patrones de conducción en distintos modelos de vehículos automotores los cuales recorrieron distintas carreteras arteriales panaméricas adaptándose al modo de conducción de cada conductor.

De esta forma con los datos adquiridos se calculó los diferentes indicadores mediante los sensores del automóvil, estos nos indicaron si existieron excesos de consumo de combustible dependiendo del tipo de conducción con el cual se manipulo el automóvil, para de esta manera poder proponer estrategias las cuales busquen minimizar el consumo instantáneo del combustible.

#### 2.1. Adquisición de datos

El dispositivo de diagnóstico a bordo del vehículo y localización global (GPS), se lo emplea para monitorear el estado del automóvil y registrar información en tiempo real sobre su rendimiento y ubicación. Para utilizarlo, se conecta a la entrada OBD II como se muestra en la Figura 2.1, que normalmente se encuentra en la parte inferior del tablero bajo el volante del conductor. La entrada OBD II permite al dispositivo acceder a datos en tiempo real, como el rendimiento del motor, estado de los diferentes sistemas, sensores y la eficiencia del combustible.

Figura 2.1: Conexión OBD II



Adquisición de datos mediante entrada OBD II

Los datos del OBD II y del GPS pueden almacenarse en la memoria del dispositivo que consta de una memoria microSD. Entre la información obtenida se incluye diferentes parámetros como la velocidad, la distancia recorrida y el consumo de combustible, lo que permite observar el rendimiento del vehículo y sus trayectorias.

En las condiciones de cuando se realizó la toma de datos de los diferentes vehículos al momento que estos recorrieron las vías panamericanas variaron de diferentes formas, muchos factores afectan al desplazamiento de este, en los cuales pueden destacar las condiciones de las vías en el cual dentro de este se relaciona el estado de las vías, ya que en este se puede diferenciar el estado del asfalto o concreto.

En el manejo de los vehículos en las diferentes vías panamericanas, los pilotos conducen sin ningún tipo de condicionamiento para que repliquen formas habituales de manejo, así como la distinción de conducciones más agresivas.

Las condiciones climáticas es otro factor que influye en el rendimiento y consumo del combustible, ya que la temperatura afecta al rendimiento y eficiencia del motor, las precipitaciones y la dirección e intensidad del viento pueden influir al avance del vehículo aumentando de esta manera la potencia y por ende el consumo de combustible.

Cuando el vehículo se traslada por las vías panamericanas en noches el consumo será menor a uno que realizaría una conducción diurna debido a condiciones de intensidad vehicular.

A continuación, se presenta en la Tabla 2.1 las diferentes fichas técnicas recalando parámetros importantes de los distintos tipos de vehículos sedan:

Tabla 2.1: Ficha técnica vehículos

<b>ID</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Desplazamiento cm<sup>3</sup></b>	<b>Año</b>	<b>Numero de cilindros</b>	<b>Numero de válvulas</b>	<b>Euro</b>
1	Chevrolet	Activo	1598	2012	4	16	EURO 3

2	Chevrolet	Emotion	1598	2012	4	16	EURO 3
3	Kia	Rio	1368	2018	4	16	EURO 3
4	Renault	Logan	1598	2016	4	16	EURO 3

### Especificaciones técnicas de vehículos de estudio

Las diferentes rutas que se muestran a continuación varían según el automóvil al desplazarse sobre diferentes rutas panamericanas existentes en territorio ecuatoriano, así mismo se presenta las tablas con datos obtenidos, clasificados y seleccionados los cuales serán utilizados como válidos para la realización de los diferentes cálculos de los diferentes identificadores.

#### 2.2 Post procesamiento

Los vehículos de estudio se describieron en la Tabla 2.2, pero por cuestiones didácticas se realiza un resumen para un vehículo puesto que el procedimiento es similar para el resto de la muestra. El vehículo Kia Rio de tipo sedan, parte desde Chillogallo ubicado en el distrito metropolitano de Quito hasta su destino Cuenca, con un tiempo estimado de llegada de 7 hrs, 36 min, 27 seg, se lo puede identificar en la Tabla 2.2 siguiente dando como valores válidos para cálculos a las celdas marcadas con la palabra “O.K.”

Tabla 2.2: Valores obtenidos Cuenca – Kia rio

Vehículo	Ruta tentativa	Archivo	Procesado
kia rio	Quitumbe - San Andrés	662.csv	r1
Cuenca	San Andrés - Lican	663.csv	r2
	Lican - Chunchi	664.csv	r3
	Chunchi - Cuenca	665.csv	r4

Selección y clasificación de valores

En la Figura 2.2 se representa de forma gráfica la ruta de recorrido en la cual se puede visualizar la velocidad máxima con distintos colores para identificar cuáles son los diferentes trayectos realizados por el conductor y donde se pudo sobrepasar los límites de velocidad.

Figura 2.2: Grafica ruta Kia rio Quito - Cuenca



Ruta recorrida, Quito – Cuenca

Se presenta a continuación los mapas de las rutas recorridas de los diferentes vehículos utilizados para el estudio exploratorio. El automóvil tipo sedan Chevrolet Aveo activo 1.6 recorrió una distancia de 429.81 Km desde Quito a Baños de Agua Santa en un recorrido redondo con un tiempo total de 7 h 03 min como se puede visualizar en la Figura 2.3.

Figura 2.3: Grafica ruta Aveo activo Quito – Baños



Ruta recorrida, Quito – Baños

De la misma manera el mismo automóvil recorrió una ruta diferente como se visualiza en la Figura 2.4 que empieza en el sector de la Forestal en Quito con rumbo a Tulcán con un tiempo de 11 h 35 min, con una distancia de 537.39 km.

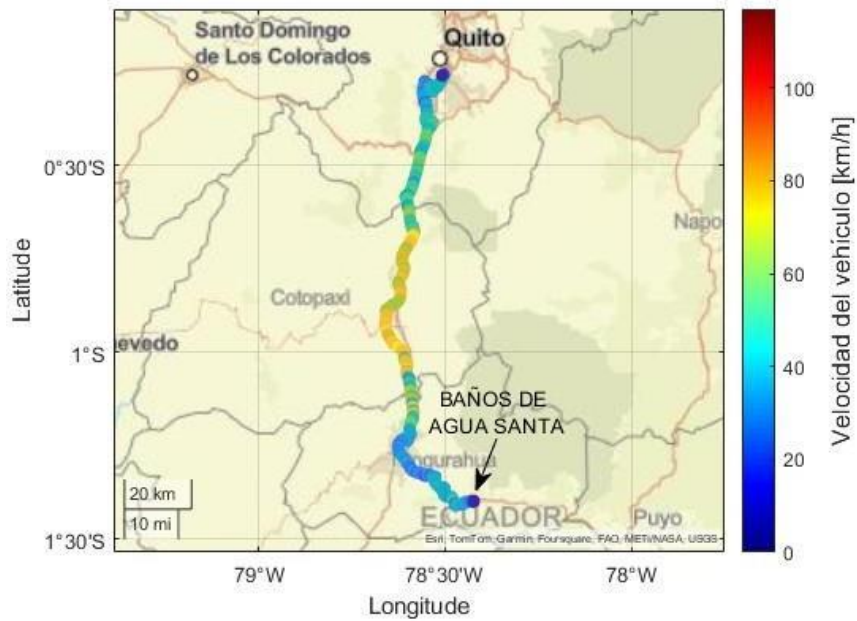
Figura 2.4: Grafica ruta Aveo activo Forestal– Tulcán



Ruta recorrida, Quito – Tulcán

El vehículo seda Aveo emotion mostrado en la Figura 2.5 con un recorrido de 192.8 km distancia existente entre Chillogallo a Baños de Agua Santa con un tiempo total de 4 h 27 min.

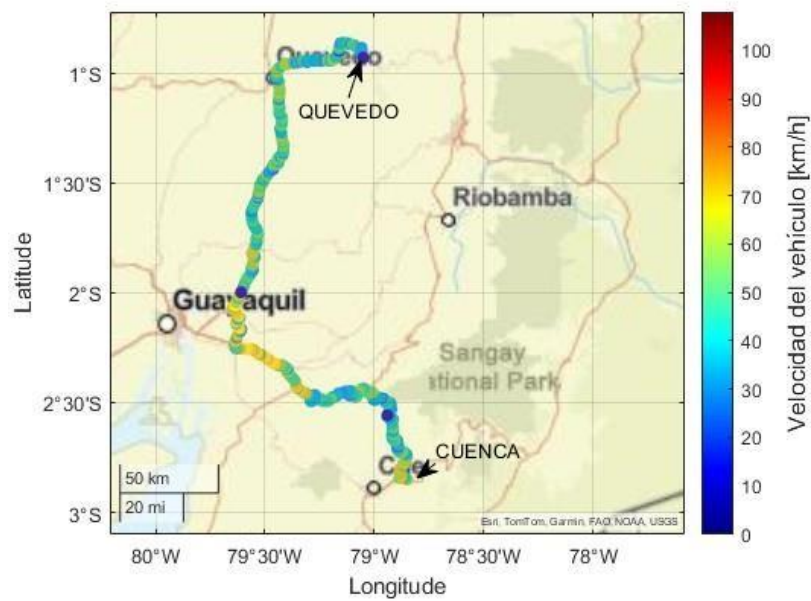
Figura 2.5: Grafica ruta Aveo Emotion Chillogallo – Baños



Ruta recorrida, Quito – Baños de agua santa

Se demuestra en la Fig. 2.6 el automóvil Kia rio 1.4 realizo un recorrido de Quevedo a Cuenca dicha distancia es de 414.41 Km con un tiempo estimado total de 8 h 06 min.

Figura 2.6: Grafica ruta Kia rio Quevedo – Cuenca



Ruta recorrida, Quevedo - Tingo

Por otro lado, el vehículo Renault logan de tipo sedan realizo un recorrido de 344.89 Km de distancia que existe entre Quito a Tungurahua como se lo demuestra en la Fig. 2.7 con un tiempo estimado total de 8 h 05 min

Figura 2.7: Grafica ruta Renault Logan Forestal - Tungurahua

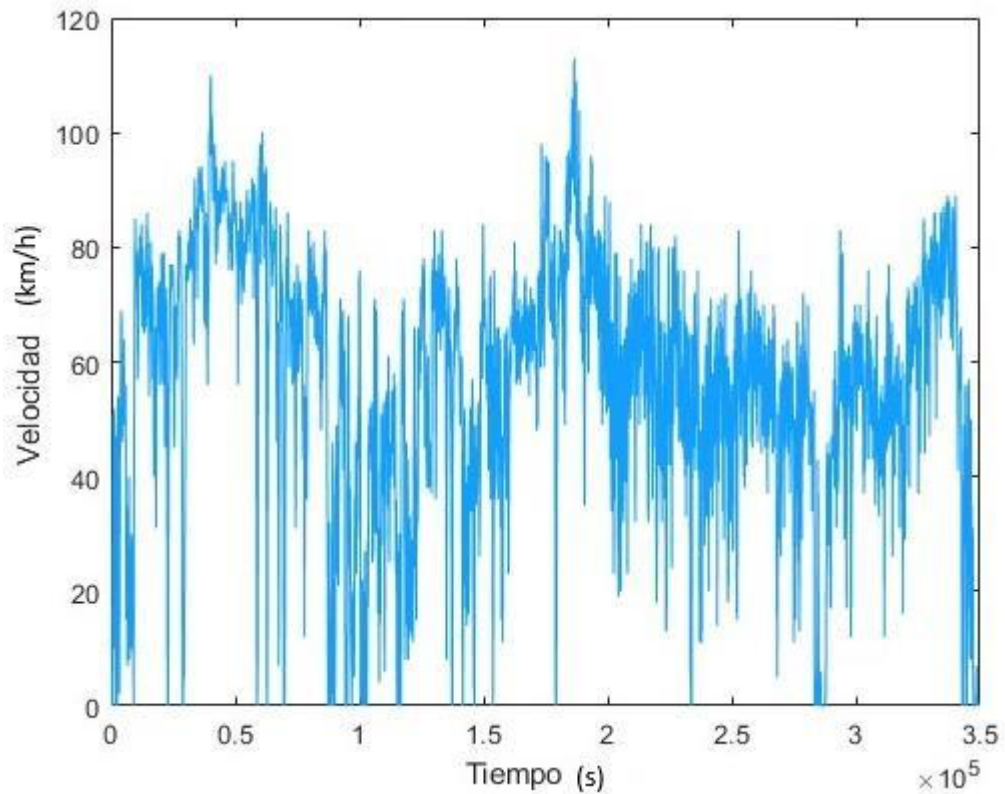


Ruta recorrida, Forestal - Tungurahua

### 2.3 Estudio Exploratorio

El desempeño se lo presenta gráficamente en la Fig. 2.8, se lo puede clasificar en su velocidad en la cual se pudo observar que la máxima velocidad alcanzada por el vehículo en la ruta Quito – Cuenca en uno de sus trayectos fue de 140 Km/h, así como su velocidad mínima fue de 0 Km/h en la cual se tomó el dato de cuando el automóvil se encontraba en modo ralentí, con un consumo de combustible de 34.5402 Litros lo que equivale a 9.124 galones con una distancia de 429.81 Km

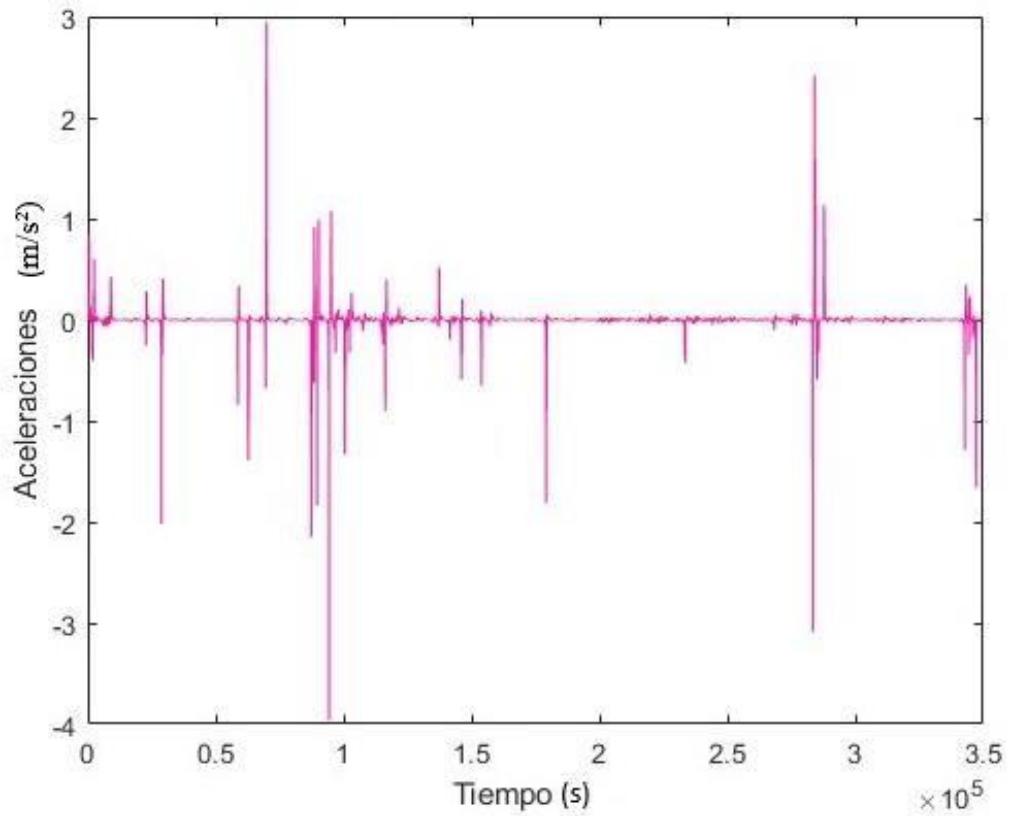
Figura 2.8: Grafica Velocidad Kia rio



#### Velocidades máximas – mínimas alcanzadas

La aceleración que experimento el vehículo en los diferentes tramos de las vías panamericanas recorridas también se la puede determinar según su capacidad dependiendo de la respuesta de este. Así se pudo demostrar que el automóvil alcanzo una aceleración máxima de  $3 \text{ m/s}^2$  y de la misma manera se pudo observar que este alcanzo una aceleración mínima de  $-4 \text{ m/s}^2$  como se lo puede demostrar en la siguiente Figura 2.9.

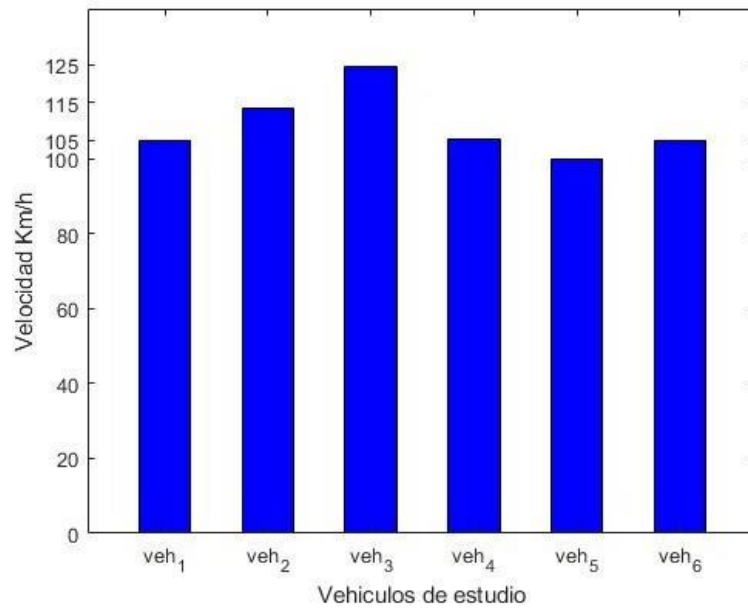
Figura 2.9: Grafica aceleración Kia rio



Aceleraciones máximas – mínimas alcanzadas

En la Fig. 2.10 se grafica las velocidades máximas alcanzadas por los diferentes vehículos utilizados para el estudio, estas velocidades se llegaron a alcanzar cuando el vehículo circulo por vías panamericanas.

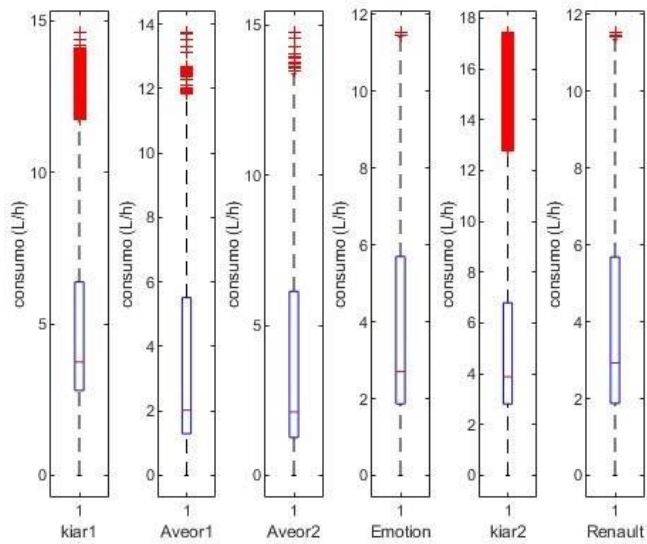
Figura 2.10: Grafica VSS



Velocidades máximas alcanzadas

Así mismo en la Figura 2.11 se representa un diagrama de cajas en donde observa el consumo de los 6 automóviles de estudio, los cuales nos ayuda a interpretar cual obtuvo el mayor consumo de combustible en L/h a lo largo del trayecto de la ruta en vía panamericana.

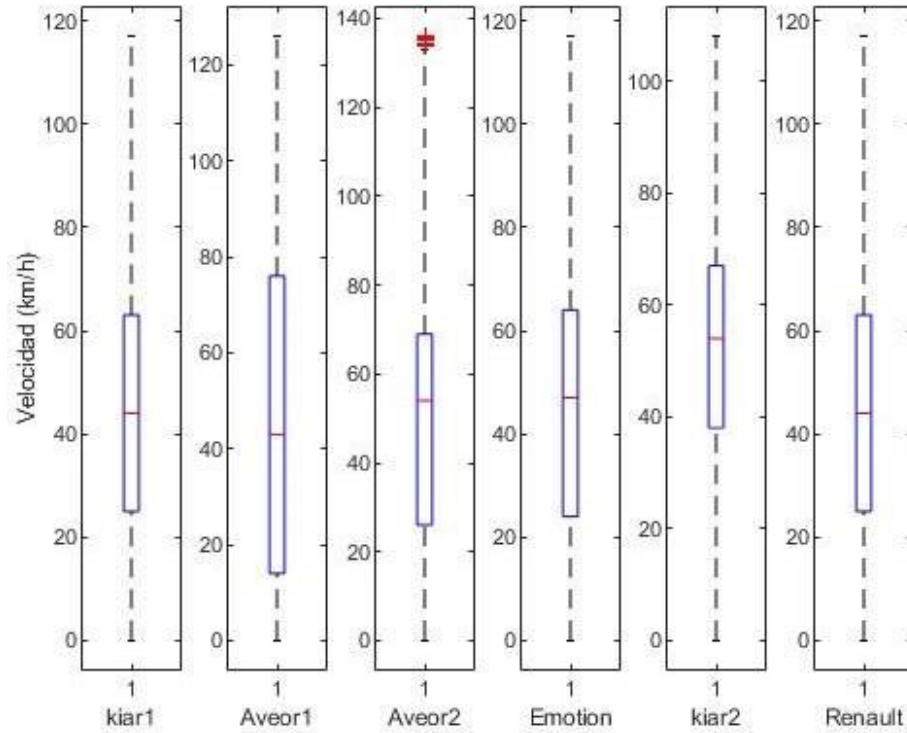
Figura 2.11: Grafica consumo de combustible



Consumo de combustible en (L/h)

Mediante los diagramas de caja, como se muestra en la Figura 2.12 se identificó las distintas velocidades los diferentes vehículos de estudio en los cuales se identificó que las mayores cantidades de velocidades oscilan entre valores cercanos al 50%

Figura 2.12: Grafica de Velocidades



Velocidades máximas alcanzadas

## 2.4 Cálculo de indicadores

### Raíz Cuadrada Media (RMS)

El cálculo para la Raíz Cuadrada Media se lo puede apreciar como una medida que nos ayuda a proporcionar los valores promedios de las diferentes magnitudes de las distintas variables en lo que dura los diferentes trayectos de tiempo. Para el cálculo de (RMS) se aplica la ecuación  $RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x^2}$ , en donde  $x$  de lo puede denominar que es la variable en el

instante de  $i$  la cual se la puede representar como la velocidad o la aceleración y  $N$  es el número total de mediciones.

El cálculo para el automóvil Kia rio de tipo sedan se recomienda analizar con la aceleración del vehículo, en los cuales cada valor de aceleración se los tiene que elevar al cuadrado, estos valores se los sumaran en su totalidad se los dividirá entre los números de mediciones que se los representa con la letra N, finalmente a este valor se lo tomara y se le realizara su respectiva raíz cuadrada el valor que se obtiene se lo representa como el valor de RMS en  $m/s^2$ .

El RMS calculado de automóvil Kia rio de tipo sedan y con todos los datos recopilados y calculados nos dio como resultado de un  $RMS = 0,3897 m/s^2$ .

### **Energía Cinética Específica (PKE)**

La energía cinética específica de un automóvil describe a la energía específica por unidad de masa dependiendo de la velocidad del vehículo, se utiliza para analizar el consumo energético que está relacionado con la aceleración y deceleración que se dan en las vías panamericanas mientras duro el trayecto.

El PKE se calcula mediante la formula  $PKE = \frac{v^2}{m}$ , en donde la v es la velocidad del automóvil m es la masa que se desprecia ya que se evalúa solo la energía cinética por unidad de masa y la fórmula para la energía cinética  $E_c = \frac{1}{2}m * v^2$

Para evaluar el PKE en cada instante y analizar la variación de la energía utilizamos  $PKE = \frac{v_i^2}{m}$ , en donde  $v_i$  es la velocidad en el instante i, cada valor recolectado de la velocidad se lo eleva al cuadrado y divide para dos. El resultado que se demostró con los datos obtenidos en la recolección de datos fue de un  $PKE = 13,03 J/Kg$

### **Aceleración Positiva Relativa (RPA)**

El RPA describe la aceleración positiva promedio en los distintos momentos que un automóvil realiza una aceleración positiva significativa y esta es una medida que permite entender la intensidad de las aceleraciones durante el tiempo de viaje

La fórmula para calcular  $RPA = \frac{\sum_{i=1}^N a_i}{N}$ , donde se aprecia que  $a_i$  es el valor de la aceleración en un instante de tiempo, y N es el número total de aceleraciones positivas

Para el cálculo de RPA se debe de sumar todos los valores de las distintas aceleraciones de todos los datos obtenidos se los divide por el número de mediciones totales el resultado se medirá en  $m/s^2$  y el valor obtenido con los datos obtenidos en el automóvil Kia rio es de un  $RPA = 0,0099 m/s^2$

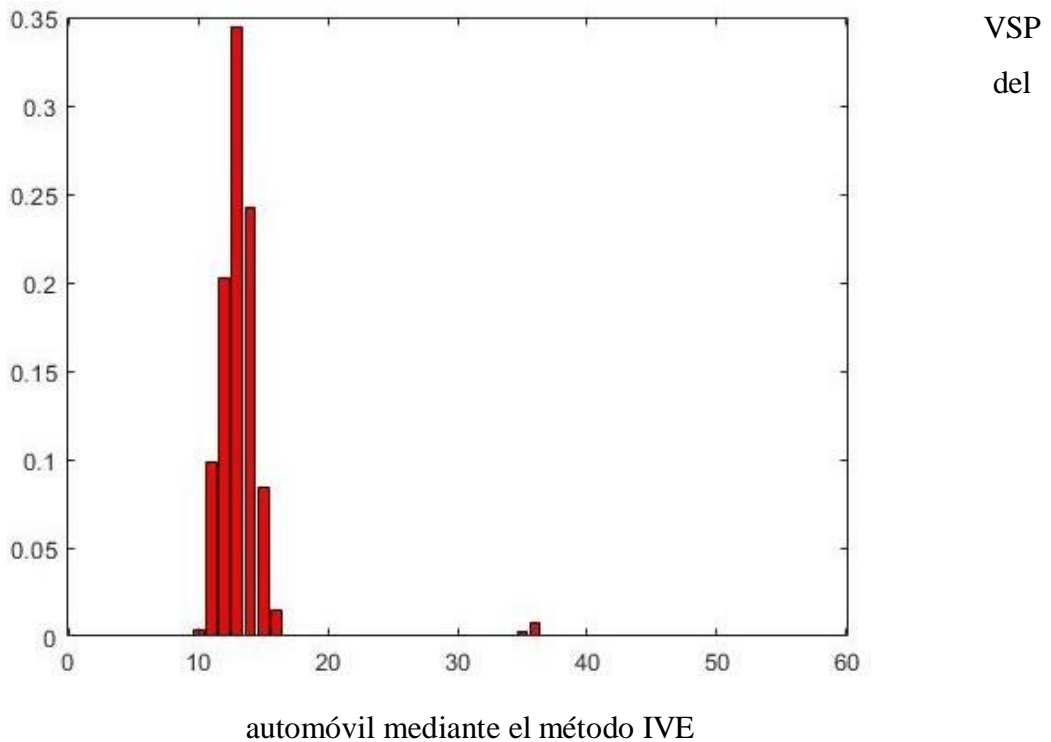
### Potencia Específica del Vehículo (VSP)

Para calcular el (VSP) que es una medida por unidad de masa que es necesaria para vehículo esta también es una medida que puede considerar los efectos en los cuales se puede combinar la velocidad, la aceleración, la resistencia aerodinámica, la resistencia a la rodadura con estos intervalos se puede calcular el consumo de energía y emisiones.

Se clasifico los datos en intervalos discretos en Matlab para validar valores mediante el metodo IVE con lo cual se procesó los datos para eliminar inconsistencias basados en variables como velocidad y carga del motor, con el fin de analizar emisiones vehiculares bajo diferentes condiciones operativas, así como se lo demostró gráficamente en la Fig. 2.13

La fórmula para calcular el VSP es =  $\frac{v(a(1+0,1)+9,81*0,0135)+1,207*0,0005*v^2}{2}$

Figura 2.13: VSP Kia rio



Como se demuestra en la Figura 2.14 tenemos un VSP de un automóvil en el cual se identifica que el conductor en muy mínimas ocasiones tuvo una conducción fuera de lo normal o también se puede mencionar que tuvo aceleraciones demasiadas bruscas en mínimas ocasiones en lo que duro el trayecto del viaje de Quito – Cuenca.

### **Intensidad Cinética (KI)**

El K.I. relaciona a una medida con la energía cinética del vehículo con esto se analiza el esfuerzo de frenado requerida para poder detener un vehículo en movimiento.

La fórmula para encontrar el K.I.  $kI = \frac{E_k}{m}$  en donde  $E_k$  es la energía cinemática y  $m$  es la masa del vehículo, para encontrar  $E_k = \frac{1}{2} * m * (v_f^2 - v_i^2)$  en donde  $v_{f.i}$  es la velocidad final e inicial.

La Intensidad Cinemática calculada en el auto Kia rio es la siguiente K.I. = 43,93 J

### **Velocidad Aceleración Positiva (VA)**

V.A. se refiere a la velocidad promedio de un automóvil cuando este tiene aceleraciones positivas y esto sucede cuando el automóvil va aumentando su velocidad progresivamente con esto se puede analizar el consumo de energía, así como el comportamiento dinámico del automóvil.

La siguiente formula  $VA = \frac{\sum_{i=1}^N v(i)}{N}$ , en donde  $vi$  se refiere a la velocidad instantánea cuando la aceleración es positiva y  $N$  es el número total de mediciones cuando las aceleraciones fueron positivas.

La iniciar a utilizar la formula primero las diferentes velocidades registradas, se divide para el numero datos registrados y este valor encontrado en el automóvil Kia rio V.A. = 3.1894 m/s.

### **Desviación Estándar de la Velocidad (SD Speed)**

SD Speed mide cual es la dispersión de la velocidad de un automóvil en el tiempo de viaje por las carreteras panamericanas con este indicador nos permite verificar cuan consistente fue la velocidad ya que este puede presentar variaciones en la misma.

La fórmula para calcularla es  $SD\ speed = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (v_i - \bar{v})^2}$  en la cual se puede identificar que  $v_i$  el valor de velocidades en cada instante dado,  $\bar{v}$  es la velocidad promedio del vehículo, N es el número total de mediciones de las diferentes velocidades.

Primero se calcula la velocidad promedio, se resta las velocidades promedias con las velocidades registradas, se divide para el número total de mediciones a este resultado se le saca la raíz cuadrada y obtendremos el valor de SD Speed

Para el caso de cálculo del Kia rio fue SD Speed = 19.82 m/s

Se presenta en la Tablas 2.3 los valores obtenidos y calculados de los diferentes vehículos en donde se detallaron los parámetros más relevantes relacionados con el consumo de combustible instantáneo.

Los valores para un adecuado RMS varían entre 0.486 m/s<sup>2</sup> a 0.675 m/s<sup>2</sup> cuando estos valores disminuyen se puede distinguir desaceleraciones lo que aumenta el consumo por consecuencia a la perdida de la eficiencia, caso contrario cuando los valores aumentan el motor trabaja más eficientemente, así mismo el consumo de combustible aumenta debido a la mayor la resistencia aerodinámica (González-Oropeza, 2005).

Con investigaciones de (Carlos et al., 2019) se demuestra que valores efectivos para un PKE en vehículos tipo sedan son de 7.00 J/Kg a 9.00 J/Kg, el aumento de estos valores indica aceleraciones más agresivas lo que eleva el consumo del combustible, caso contrario valores por debajo de los mimos representan una conducción mas uniforme y con menos aceleraciones bruscas por ende disminuye el consumo.

El RPA varía entre 0.05 m/s<sup>2</sup> a 0.15 m/s<sup>2</sup> siendo estos los valores promedios, si estos valores aumentan existen cambios de velocidad bruscos, por lo contrario, si estos disminuyen es porque existe una conducción estable y así también disminuye el gasto energético según investigaciones de (Sileghem et al., 2014).

Para valores del VSP según investigaciones de (Rafael-Morales et al., 2010) como valores porcentuales de 0 – 20 como una conducción suave, valores de 20 a 40 se considera una conducción estándar y valores que sobrepasan 40 a 60 se los considero una conducción agresiva que no se lo pudo identificar en la Tabla 2.3

Los valores para un KI adecuado es 18.00 J a 22.00 J, cuando estos valores aumentan es por las diferentes variaciones cinéticas que se presentan así aumentando de esta manera el consumo, cuando los valores disminuyen existe una conducción estable reduciendo de esta forma el consumo.

El VA con los valores óptimos de 5.67 m/s a 8.54 m/s, por encima de esos valores se requiere una mayor potencia del motor aumentando el consumo, valores por debajo de los óptimos existen aceleraciones suaves y conducciones estándares que disminuyen el consumo.

Los SD speed varían de 18.00 m/s a 24.00 m/s cuando estos valores disminuyen la velocidad varia lo que favorece a la eficiencia del motor y por ende el consumo, cuando aumentan los valores es por las irregularidades en la velocidad esto se puede producir por los frenados, aceleraciones bruscas lo que ocasiona el consumo de combustible (Ahn et al., 2007).

Tabla 2.3: Tabla de valores

<b>Vehículo</b>	<b>Kia rio r1</b>	<b>Aveo activo r1</b>	<b>Aveo activo r2</b>	<b>Aveo emotion</b>	<b>Kia rio r2</b>	<b>Renault logan</b>
<b>Ruta</b>	Cuenca - Quito	Forestal - Baños	Foresta l - Tulcán	Chillogallo - Baños	Quevedo - Cuenca	Forestal - Tungurahua
<b>RMS (m/s<sup>2</sup>)</b>	0.3897	0.7954	1.8950	0.6821	0.7094	0.975
<b>PKE (J/Kg)</b>	7.344	5.906	6.129	5.867	6.591	5.749
<b>RPA (m/s<sup>2</sup>)</b>	0.0099	0.0183	0.0306	0.0171	0.0132	0.0171
<b>VSP</b>	10 - 18	10 - 15	10-15	10 - 15	10 -15	10 - 14
<b>KI (J)</b>	17,979	20.549	24,082	18.097	16.723	18.158

<b>Indicadores</b>	<b>VA</b> (m/s)	3.1849	8.7022	8.786	7.0970	5.5124	8.8287
	<b>SD</b> <b>Speed</b> (m/s)	19.82 m	31.008	25.65	24.937	20.294	24.587
<b>Tiempo</b>		7h 36min	7h 03min	11h 36min	4h 27min	8h 05min	8h 45min
<b>Distancia</b>  (Km)		429.81	321.59	537.39	192.18	414.41	344.89
<b>Consumo</b>		9.124 gal (34.538 L)	6.386 gal (24.173 L)	10,845 gal (41.052 L)	4.185 gal (15.841 L)	10.281 gal (38.917 L)	7.704 gal (29.162 L)
<b>Velocidad máxima</b> (Km/h)		104.9	113,6	124,5	105.39	100	105

Resumen de valores y datos cálculos

## CAPÍTULO 3

### ESTIMACION DE VARIABLES RELEVANTES

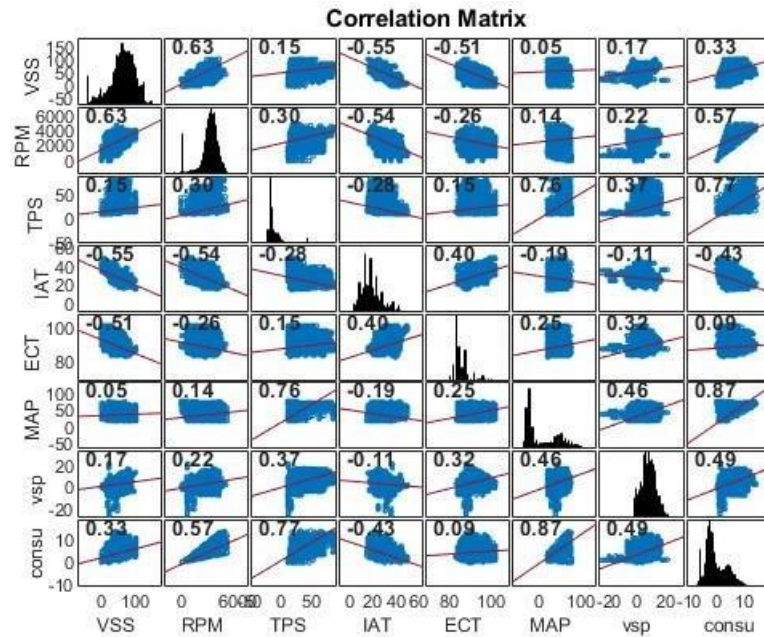
Para el análisis del consumo instantáneo de un vehículo debemos de comprender como diferentes variables influyen directa o indirectamente en el funcionamiento del mismo, varias como el consumo específico, la potencia específica vehicular (VSP), presión del colector de admisión (MAP), temperatura del refrigerante (ECT), temperatura del aire de admisión (IAT), posición del pedal de aceleración (TPS), revoluciones por minuto (RPM) y el sensor de velocidad (VSS) nos permiten evaluar el funcionamiento del automóvil.

Con estas diferentes variables podremos evaluar el consumo de combustible específicamente cuando este se encuentre circulando por vías panamericanas, así de la misma forma estas variables nos permitirán optimizar el consumo de combustible para que el sistema computarizado del vehículo (ECU) pueda ajustar de manera más eficiente la mezcla aire-combustible y con esto obtener una conducción más efectiva con menores cantidades de emisiones contaminantes.

#### **3.1 Análisis de correlación**

Para cada uno de los vehículos estudiados se realiza un análisis de correlación de Pearson buscando encontrar las variables que poseen una mayor influencia en el consumo de combustible instantáneo, que para este caso se reporta en l/h. Como se observa en la Figura 3.1 el vehículo Kia Rio al desplazarse por carreras panamericanas reporta una correlación medianamente fuerte con  $R^2 = 0.57$  para las RPM, el TPS con un valor de correlación fuerte de 0.77, un MAP de 0.87 y un VSP de 0.49. De estos valores se puede inferir que las variables más importantes serían la presión en el colector de admisión, revoluciones del motor y posición del pedal del acelerador.

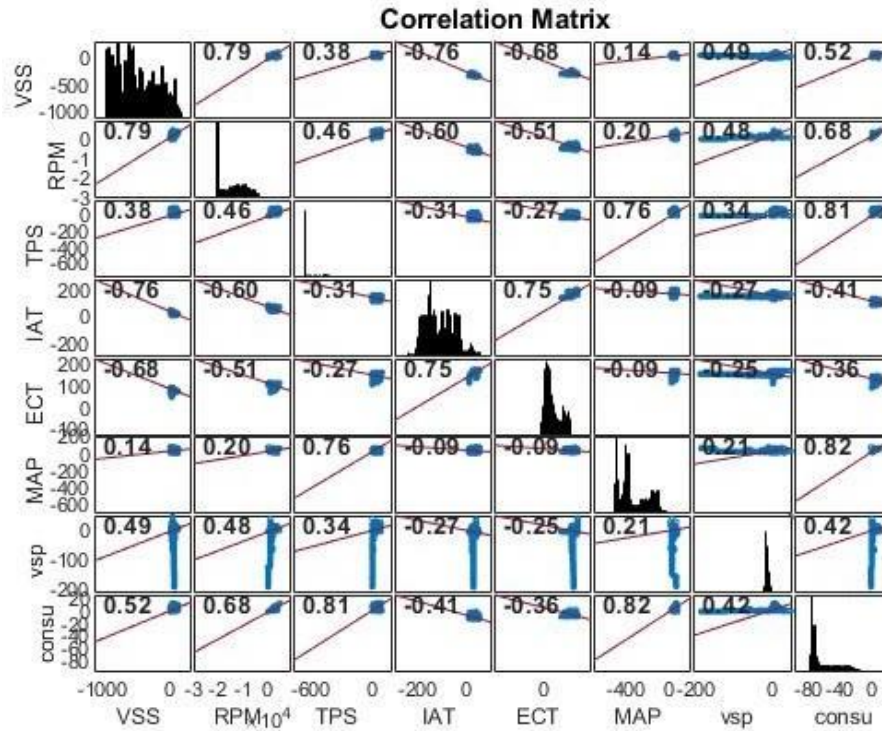
Figura 3.1: Correlación con respecto al consumo Kia Rio 1.4 (ruta 1)



Correlación de indicadores ruta Quito – Cuenca

La correlación de Pearson para el consumo de combustible en l/h en ruta panamericana del vehículo modelo Aveo activo de tipo sedan identifica valores para un MAP con valor de 0.82 siendo este el valor más alto en la correlación, el TPS con correlaciones altas de 0.81, así mismo una correlación fuerte con  $R^2 = 0.68$  para las RPM y una correlación medianamente baja de 0,52 del VSS. Así se muestra que las variables que influyen directa con el consumo de combustible son la posición del pedal de aceleración, la presión del colector de admisión, las revoluciones del motor, tal y como se lo demuestra en la Figura 3.2.

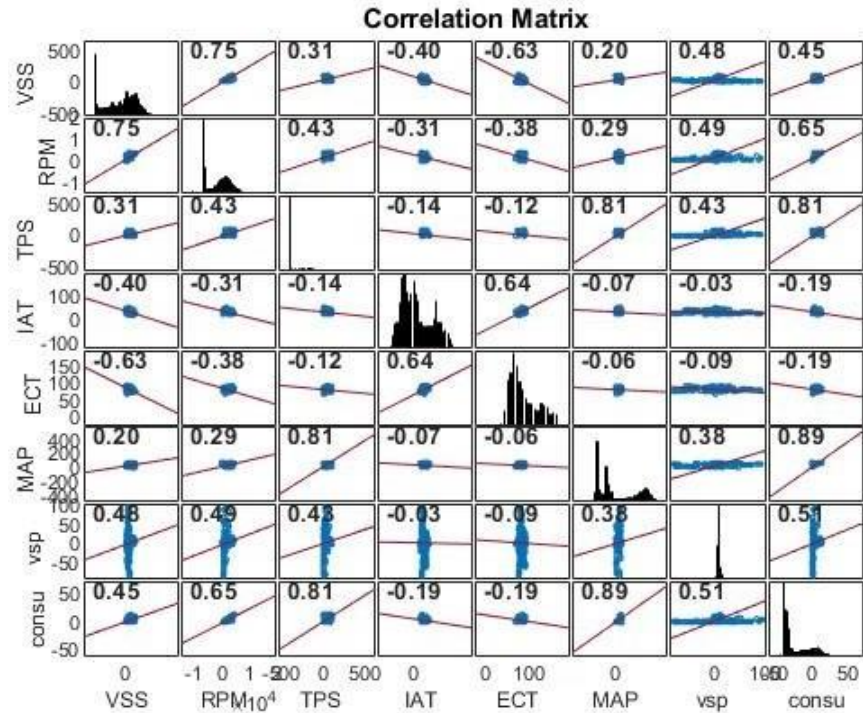
Figura 3.2: Correlación con respecto al consumo Aveo activo (ruta 1)



Correlación de indicadores ruta Forestal - Baños

Para el mismo vehículo de estudio mencionado anteriormente con diferente ruta de recorrido se interpretan valores que se visualizan en la Figura 3.3 demostrando así siendo el más alto un MAP de 0.89 de correlación, el TPS muestra correlaciones de valor 0.81, con RPM de correlaciones 0.65 y correlaciones medianamente bajas para un VSP de 0.51. Demostrando que de igual manera las correlaciones que se vinculan directamente con el consumo en l/h son indicadores principales como las revoluciones del motor, la posición del acelerador y presión del colector de admisión.

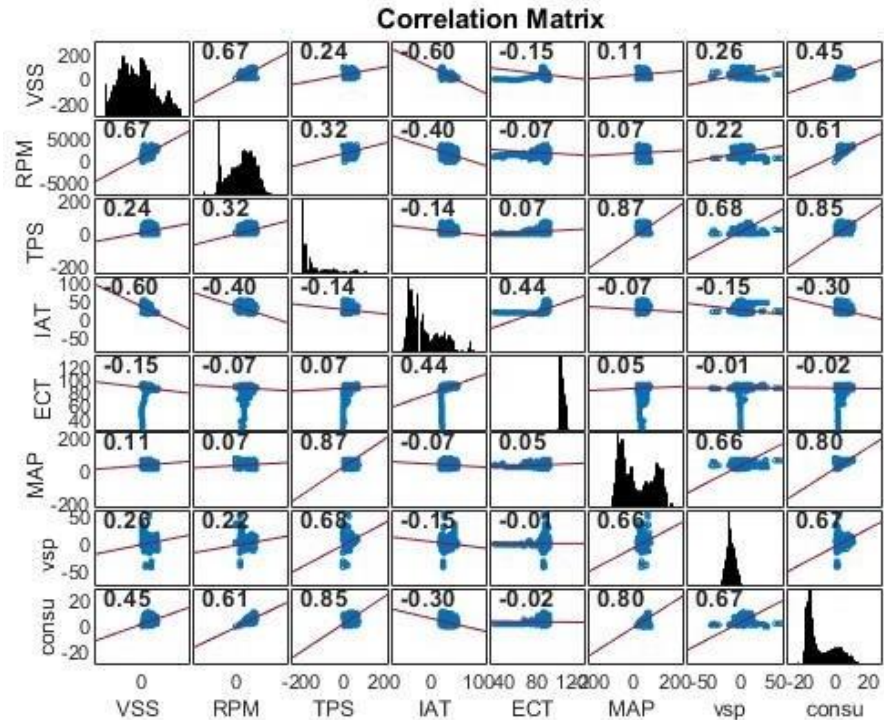
Figura 3.3: Correlación con respecto al consumo Aveo activo (ruta 2)



Correlación de indicadores ruta Forestal -Tulcán

Las correlaciones de Pearson para el modelo de vehículo Aveo Emotion se muestran en la Figura 3.4 interpretando que el valor más altamente relacionado con el consumo es para el TPS con 0.85, un MAP elevado de 0.80, el VSP demostrando valores de 0.67 y para las RPM valores medianamente altos de 0,61, siendo estos indicadores que influyen directamente en el consumo de combustible l/h en este tipo de vehículo de estudio.

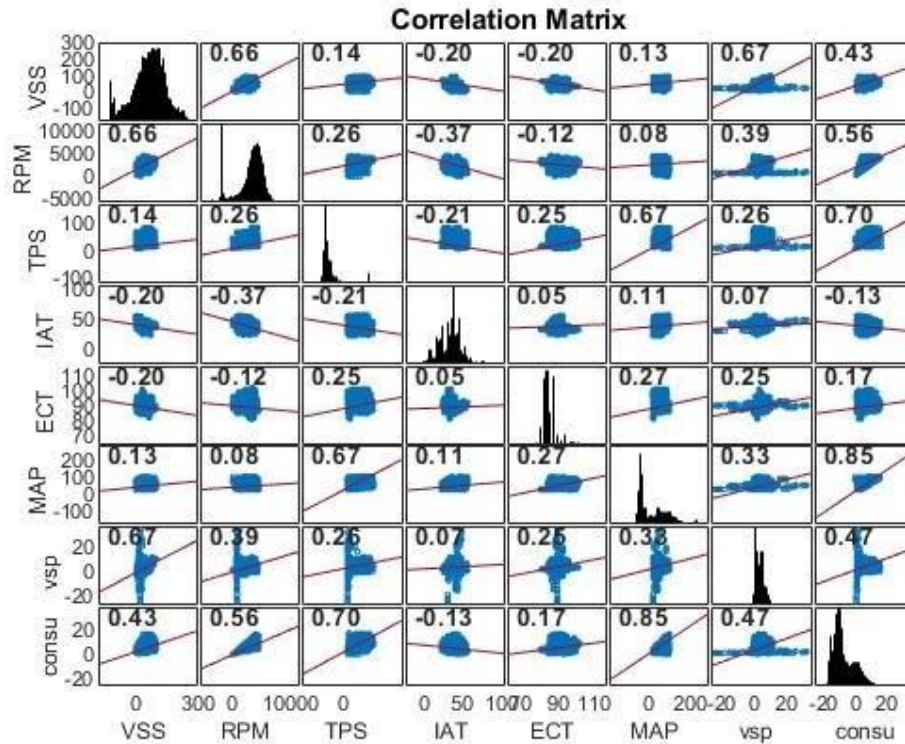
Figura 3.4: Correlación con respecto al consumo Aveo emotion



Correlación de indicadores ruta Chillogallo - Baños

Con base al modelo de correlaciones de Pearson y con el vehículo de estudio de un Kia Rio se obtuvieron valores de correlaciones de influyen directamente en el consumo de combustible en l/h siendo estos valores altos como se lo demuestra en la Figura 3.5 con un MAP de 0.85, un TPS de 0.70 y una correlación medianamente baja de 0.56 para las RPM. Siendo estos 3 únicos indicadores que influyen en el consumo de combustible en este tipo de vehículos cuando estos circulan a altas velocidades en rutas panamericanas.

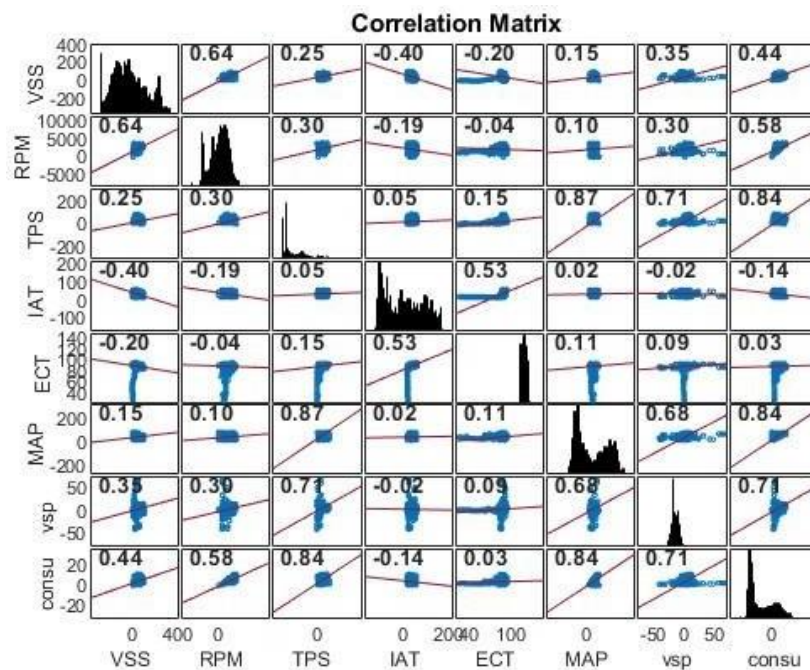
Figura 3.5: Correlación con respecto al consumo Kia 1,4 (ruta 2)



Correlación de indicadores ruta Quevedo - Cuenca

El vehículo de estudio modelo Renault Logan de tipo sedan, muestra correlaciones de Pearson con distintos valores tanto altos y medianamente bajos como se lo visualiza en la Figura 3.6, así se demuestra que las correlaciones más elevadas comparten valores similares de 0.84 para TPS y MAP los cuales influyen directamente con el consumo, mientras tanto un VSP de 0.71 y una correlación medianamente baja de 0.58 correspondiente a las RPM.

Figura 3.6: Correlación con respecto al consumo Renault Logan



Correlación de indicadores ruta Forestal - Tungurahua

### 3.2 Análisis de importancia de variables

En el análisis del estudio de consumo de combustible en rutas panamericanas se consideraron varias variables como VSP, MAP, ECT, IAT, TPS, RPM y el VSS los cuales representan un grupo significativo en la eficiencia energética del motor.

Con el enfoque metodológico utilizado basado en la correlación de Pearson se determinó las correlaciones lineales entre las distintas variables y el consumo de combustible considerando vehículos que circulan por vías panamericanas considerando condiciones de conducción como pendientes, altitud, modelo y año del automóvil lo cual hace gran interés al estudio ya que son escenarios prácticos de uso.

A través del análisis de Pearson, se procedió a descartar aquellas variables las cuales con respecto a la correlación de consumo de combustible estas fueron bajas o que no intervinieron directamente. Este proceso de filtrado permitió dispersar las variables que realmente influyen en el consumo instantáneo, así como parámetros esperables como el TPS y el MAP se muestren en una relación más directa, así como la IAT o el VSP tuvieron menor relación con el consumo.

A partir de los análisis realizados se permite identificar la correlación existente ente el consumo de combustible en L/h con indicadores que influyen directamente con el consumo de combustible a mayores o menores cantidades. Considerando que valores que están por encima de 0.6 son correlaciones que intervienen directamente con el consumo de combustible, por otro lado, valores que estén inferiores se les considera como correlaciones que no intervienen en el consumo de combustible directa o simplemente no provocan ningún cambio o alteración en el funcionamiento del motor.

Dando, así como resultado las variables más determinantes como se lo representa en la Tabla 3.1, un resumen de los valores obtenidos mediante el modelo de Pearson de las diferentes correlaciones en los distintos vehículos de estudio. Demostrando así los indicadores mas importantes que influyen directamente con el consumo de combustible.

Tabla 3.1: Tabla de Correlaciones con respecto al consumo

<b>Correlación de indicadores</b>							
<b>Vehículo</b>	<b>VSP</b>	<b>MAP</b>	<b>ECT</b>	<b>IAT</b>	<b>TPS</b>	<b>RPM</b>	<b>VSS</b>
<b>Kia (ruta1)</b>	0.49	0.87	0.09	0.43	0.59	0.57	0.33
<b>Aveo (ruta 1)</b>	0.42	0.82	0.36	0.41	0.81	0.68	0.52
<b>Aveo (ruta 2)</b>	0.51	0.89	0.19	0.19	0.81	0.65	0.45
<b>Aveo Emotion</b>	0.67	0.80	0.02	0.30	0.85	0.61	0.45
<b>Kia (ruta 2)</b>	0.47	0.85	0.17	0.13	0.70	0.56	0.43
<b>Renault</b>	0.71	0.84	0.03	0.14	0.84	0.58	0.44
	<b>consumo</b>	<b>consumo</b>	<b>consumo</b>	<b>consumo</b>	<b>consumo</b>	<b>consumo</b>	<b>consumo</b>
	<b>correlación baja</b>		<b>correlación media</b>		<b>correlación alta</b>		

Correlaciones en diferentes vehículos de estudio

## **CAPÍTULO 4**

### **ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS**

Este capítulo analiza y compara los resultados del estudio sobre el consumo de combustible en vehículos que circulan por vías panamericanas. Mediante el modelo de correlación de Pearson, con diferentes análisis de proceso de regresión y predicción los cuales se implementan en MATLAB.

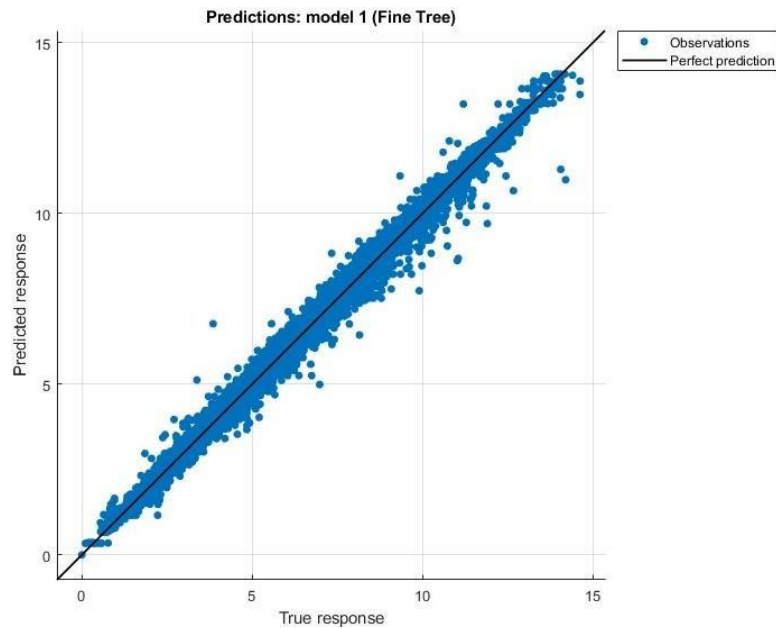
Este método facilitó la identificación de varios factores que muestran una correlación directa y lineal con el consumo de combustible, descartando aquellos de menor influencia en situaciones de conducción real. Esto destacó la necesidad de modificar ciertos aspectos dentro del modelo. Las variaciones observadas subrayaron la relevancia de las condiciones operativas particulares, tales como el estilo de conducción y el estado del vehículo, en la estimación del consumo de combustible.

#### **4.1 Análisis mediante arboles de regresión**

Un análisis de regresión mediante arboles de decisión se centra en la relación existente entre las variables independientes y dependientes relacionadas directamente con el consumo de combustible.

Con el análisis de variables seleccionaremos el árbol de Regresión Learner tal cual se muestra en la Figura 4.1, la cual nos permite identificar que el consumo de combustible esta más cercana a ideal dando un análisis de predicción del 0.999% con respecto a los demás arboles los cuales dan una predicción más baja que la seleccionada.

Figura 4.1: Correlación del modelo



Correlación de 0.99% entre valores observados y estimados

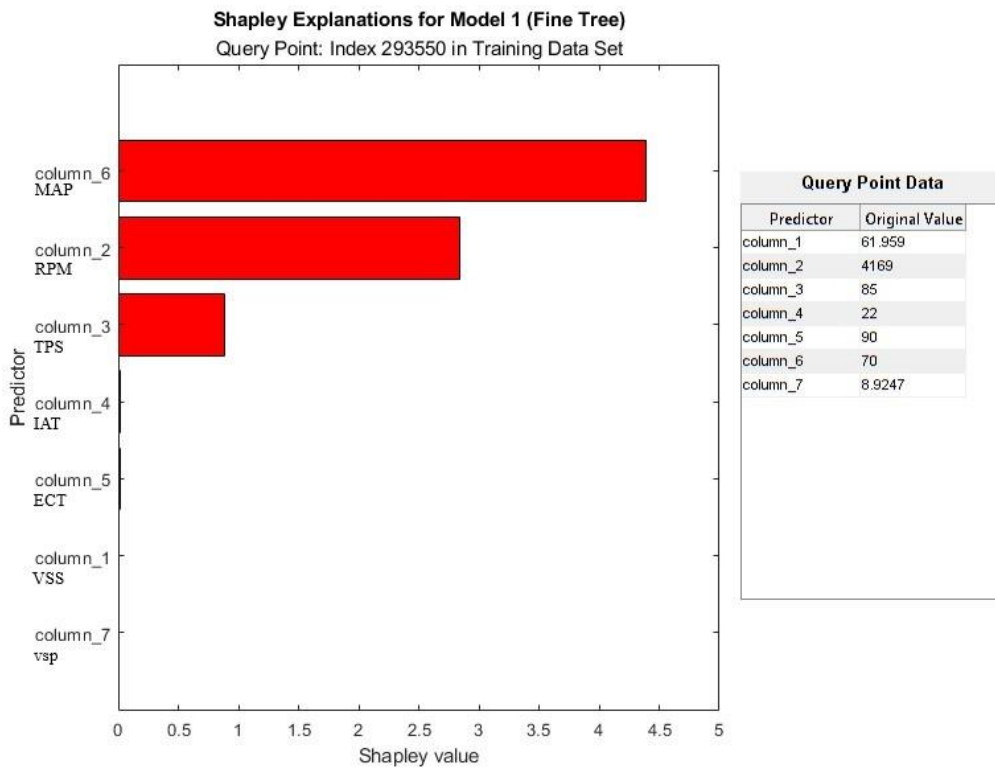
El método de árbol de decisiones facilita la construcción, entrenamiento, evaluación y comparación de modelos de regresión, optimizando el proceso de selección del modelo más adecuado para un conjunto de datos.

Al momento de cargar los datos se importan las variables clasificadas y filtradas en MATLAB utilizando indicadores como son el VSS, RPM, TPS, IAT, ECT, MAP y VSP.

Las variables predictoras son los indicadores, mientras que la variable de respuesta es el consumo instantáneo de combustible, en este proceso se incluye la selección de variables más importantes mediante análisis de importancia y pruebas.

Usando herramientas dentro de la aplicación, como graficas de importancia de predicciones, se identificaron los indicadores más primordiales. Entre los indicadores, RPM, TPS y MAP demostraron tener la mayor correlación con el consumo instantáneo de combustible, mientras que VSS, IAT, ECT y VSP mostraron menor influencia como se visualiza en la Figura 4.2

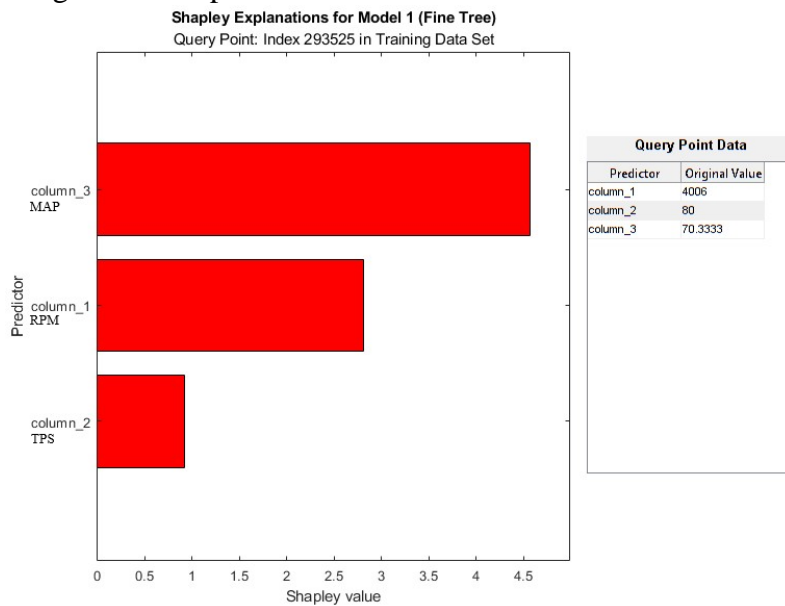
Figura 4.2: Importancia de las variables



Regresión Learner con indicadores

Se descartaron variables con baja importancia, quedando únicamente con RPM, TPS y MAP para simplificar el modelo y aumentar la precisión como se lo muestra en la Figura 4.3

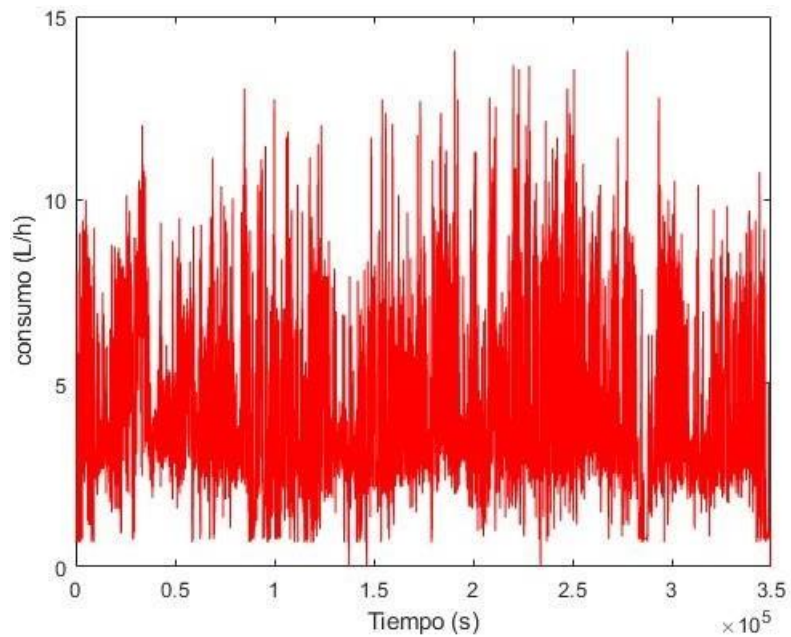
Figura 4.3: Importancia de las variables con modelo reducido



Regresión Learner con indicadores más relevantes

En este caso, la elección de RPM, TPS, MAP como predictores principales para modelos de vehículo como es el Kia Rio 1.4, se asegura un modelo enfocado y altamente representativo del consumo instantáneo de combustible como se lo demuestra en la Figura 4.4.

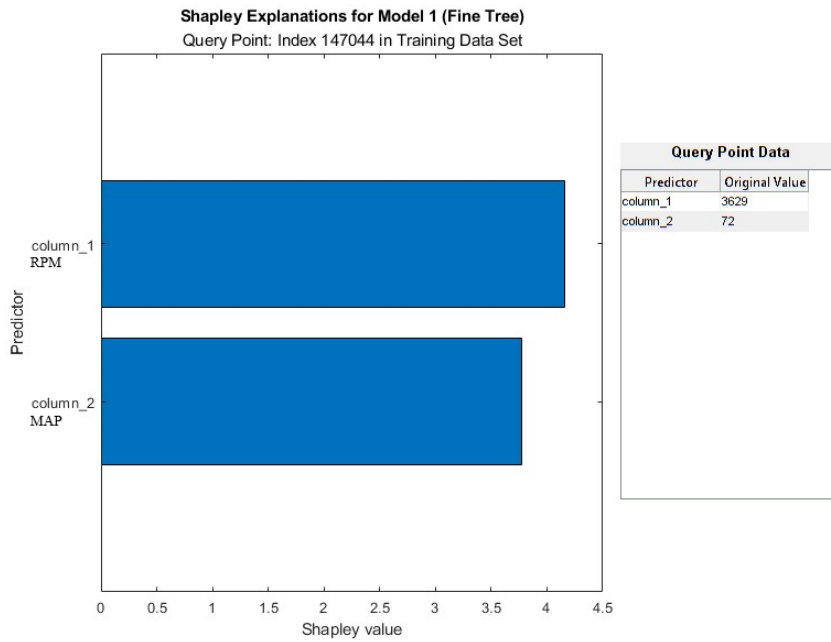
Figura 4.4: Consumo de combustible con modelo predictivo



Consumo de combustible con 3 indicadores principales

Para el vehículo de estudio Aveo Activo sus indicadores más importantes únicamente fueron las RPM y MAP las cuales son las que actúan directamente con el consumo de combustible en este tipo de modelo de vehículo sedan como se los demuestra en la Figura 4.5.

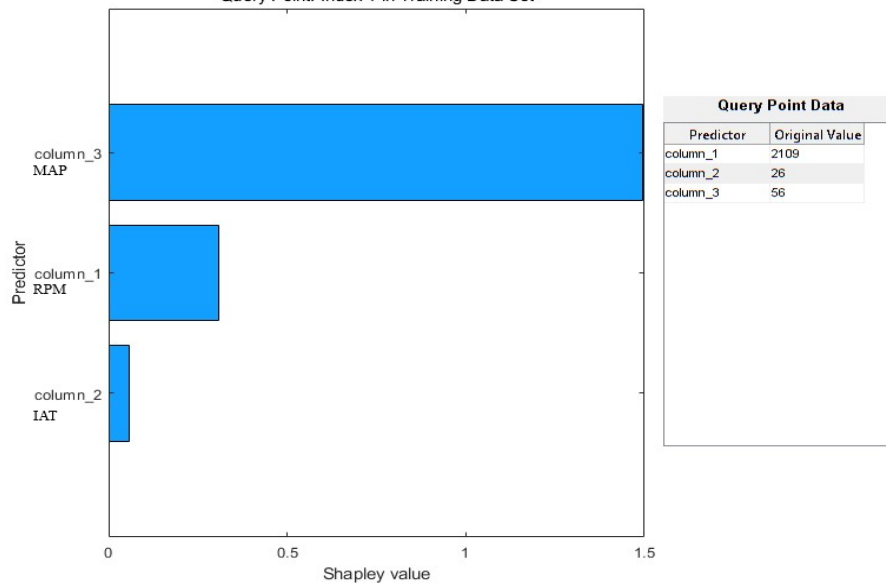
Figura 4.5: Importancia de las variables



Regresión Learner con indicadores más relevantes

En la Figura 4.6 se representan los indicadores para el modelo de vehículo Aveo activo más importantes los cuales fueron RPM, IAT y MAP permitiendo así demostrar que solo se puede demostrar el consumo de combustible con 3 variables cuando el automóvil circula en rutas panamericanas.

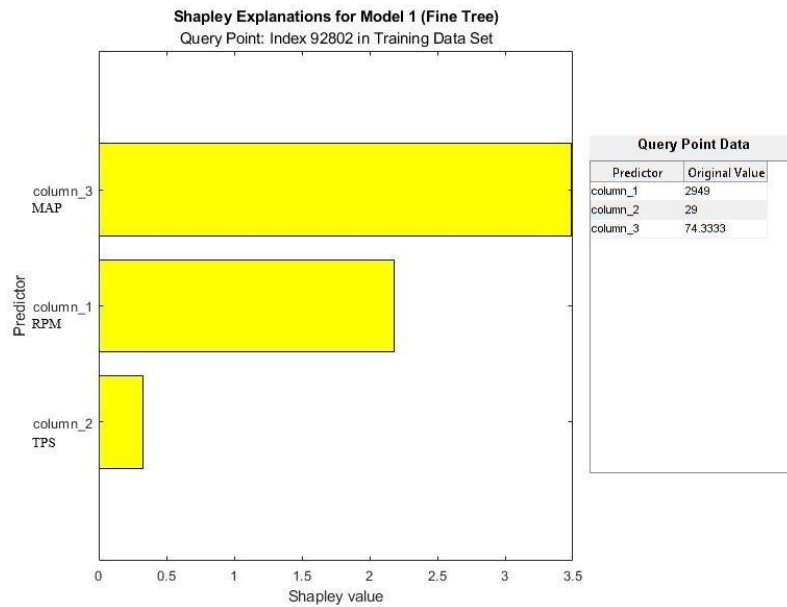
Figura 4.6: Importancia de las variables  
**Shapley Explanations for Model 1 (Fine Tree)**  
Query Point: Index 1 in Training Data Set



Regresión Learner con indicadores más relevantes

Las variables más importantes para esta ruta en vías arteriales panamericanas resaltan 3 variables importantes MAP, RPM y TPS las cuales facilitan calcular el consumo de combustible cuando vehículos de modelo Aveo emotion están a altas velocidades como representa en la Figura 4.7.

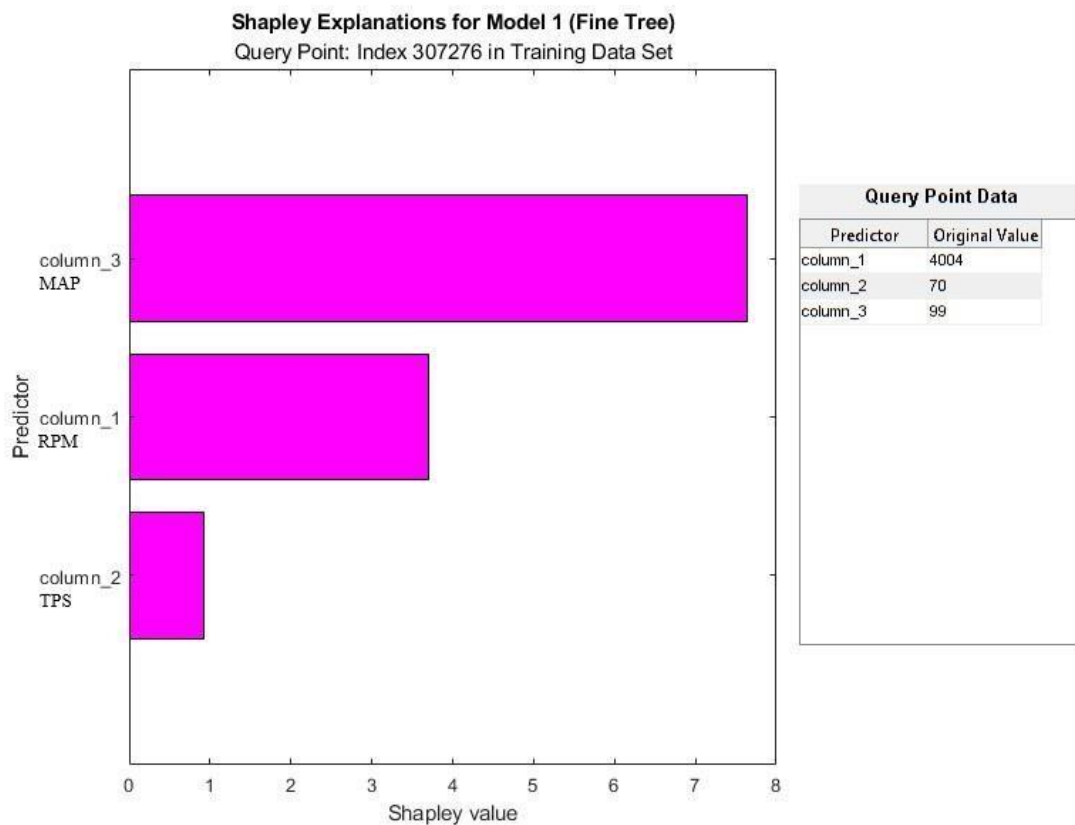
Figura 4.7: Árbol de decisión Progression Learner



### Regresión Learner con indicadores más relevantes

En la Figura 4.8 se visualiza los indicadores más importantes para mejorar y facilitar el análisis de consumo de combustible a altas velocidades del vehículo tipo sedan que recorrió la ruta 2.

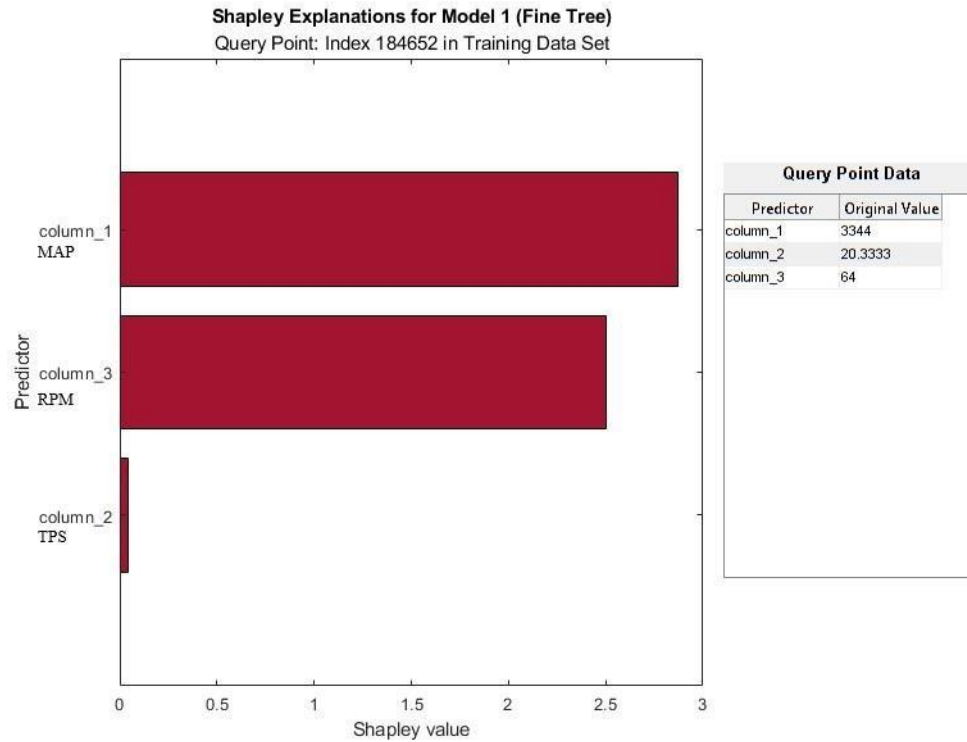
Figura 4.8: Árbol de decisión Progression Learner



### Regresión Learner con indicadores más relevantes

Las variables más importantes del vehículo de estudio Renault Logan son las RPM, TPS y MAP son variables más interactivas directamente relacionadas con el consumo de combustible como se lo demuestra en la Figura 4.9.

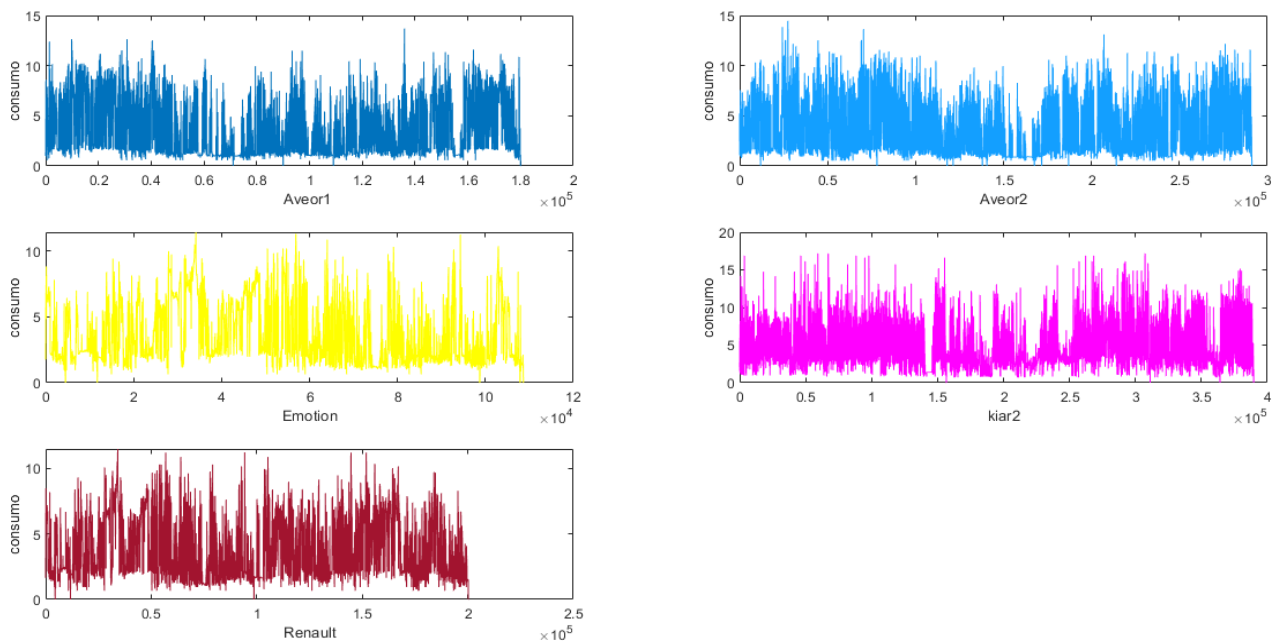
Figura 4.9: Árbol de decisión Progression Learner



**Regresión Learner con indicadores más relevantes**

Se presenta a continuación en la Figura 4.10 los consumos de combustibles en los diferentes modelos de vehículos caracterizados por las variables más principales que actúan directamente cuando el vehículo circula a altas velocidades con los modelos entrenados

**Figura 4.10: Valores de consumo mediante la aplicación del modelo**



**Consumo de combustible**

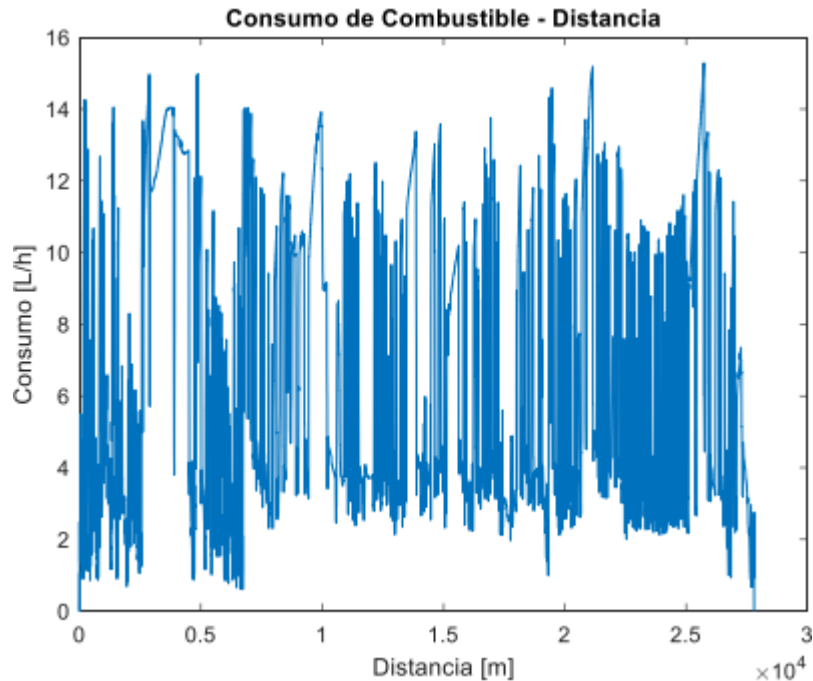
## 4.2 Comparación de resultados

Con el propósito de analizar la precisión de los resultados obtenidos, se compararon los valores generados por la fórmula teórica para calcular el consumo de combustible en Km/h con respecto a las predicciones del algoritmo entrenado. Este análisis considero evaluando su desempeño en condiciones de viaje sobre carreteras panamericanas. Los resultados se los indican a continuación.

El análisis comparativo del consumo de combustible del Kia Rio 1.4 en rutas panamericanas se desarrolló empleando dos estrategias más utilizadas uno que es el cálculo basado en la fórmula teórica  $consumo = \frac{kilometros * RPM}{TPS * IAT}$ , por otro lado, la estimación mediante un arboles de decisiones ya entrenado y hecho las debidas pruebas utilizando variables importantes como RPM, IAT, TPS. Así se evidenciaron entre ambos métodos que el consumo de combustible mediante la parte teórica fue de 34.5 L de gasolina y mediante el algoritmo entrenado se obtuvo 33.7 L, este último valor es el más aproximando ya que consta con un erro del 2.32%

Según estudios realizados por (Romel Chilig & Alex Farinango, 2024) para el mismo tipo de vehículo Kia rio y haciendo un enfoque con relación a la distancia recorrida se demuestra que el consumo de combustible es de 36.4 L, demostrando así de esta manera que el consumo de combustible es mayor cuando el vehículo de este modelo circula en la ciudad como se lo demuestra en la Figura 4.11.

Figura 4.11: Consumo de combustible de prueba

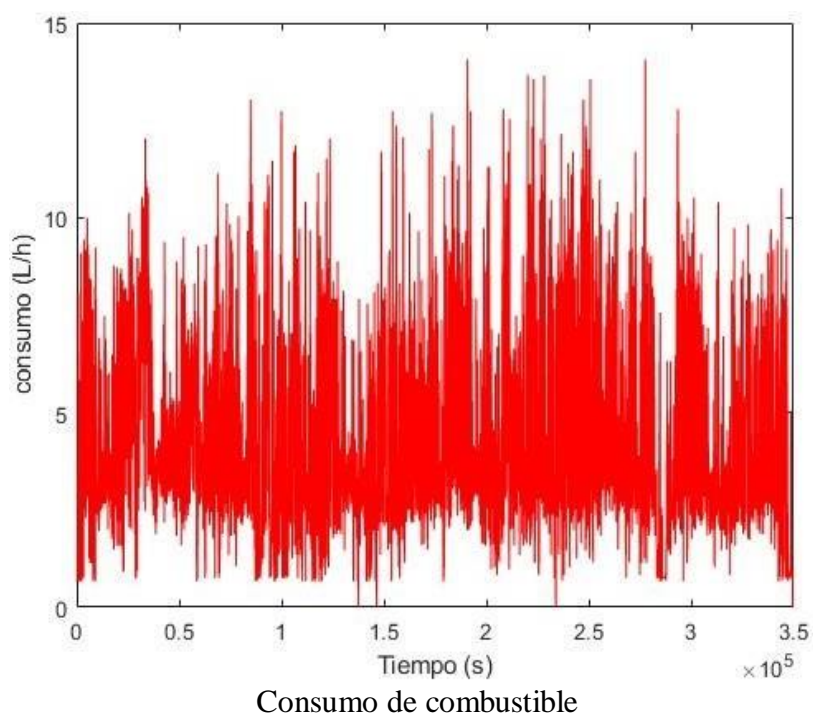


Consumo de combustible – distancia, Autores: Chilig, Farinango

Para el vehículo Chevrolet Aveo Activo se demostró con la parte teórica que el consumo de combustible en litros fue de 24.17, demostrando que con respecto al algoritmo entrenado se obtuvo un error de 5.55%, dando así que el consumo de combustible obtenido con el algoritmo de predicciones se obtuvo 22.9 L.

El vehículo modelo Aveo Emotion con los diferentes cálculos teóricos se obtuvo un consumo de combustible instantáneo de 15.84 L cuando este círculo por vías arteriales panamericanas, en este caso el modelo y año del vehículo y las buenas condiciones operativas ayudo a la disminución del gasto alto de combustible, dando error con respecto al algoritmo de valor 4,90% y un valor en L de 15.1. y en la Figura 4.12 que no existe mucha discrepancia ente la gráfica teórica con respecto a la del algoritmo desarrollado.

Figura 4.12: Consumo de combustible Aveo Emotion



Finalmente, para el modelo Renault Logan de tipo sedan se demuestra en la parte teórica un consumo de combustible de 29.16 L y en la parte calculada por el algoritmo predictivo se obtuvo un valor de 27.4 L esto teniendo un error del 6.42%. y según estudios anteriores de (Diaz et al., 2014) para este modelo de vehículos se debe tener consideraciones demasiadas importantes ya que las emisiones producidas por el mismo están afectan considerablemente al consumo ya que estos modelos son más electrónicos, por ende, constan de más sensores y son más frecuentes a fallar en las partes electrónicas que en partes mecánicas que lo componen en su totalidad.

Así de esta manera se crean y proponen estrategias basadas al presente estudio, orientadas a optimizar el consumo de combustible al conducir por vías de alta velocidad. Estas estrategias se derivan de un análisis detallado de los hábitos de conducción y su impacto en el rendimiento del vehículo.

En carreteras de alta velocidad, las aceleraciones agresivas incrementan el consumo de combustible. Mantener un ritmo de aceleración suave y constante, permitir al motor operar entre los rangos óptimos de revoluciones que generalmente oscilan entre 2000 y 2500 RPM

En las vías de alta velocidad, es fundamental utilizar marchas superiores para permitir que el motor funcione a menores revoluciones por minuto, lo que contribuye a reducir el consumo de combustible. Realizar los cambios de marcha de manera adecuada facilita un funcionamiento más eficiente del motor.

## CONCLUSIONES

La implementación de la adquisición en tiempo real a través de la interfaz OBD II con GPS integrado resultó ser una herramienta precisa y efectiva para la recopilación de datos sobre el consumo de combustible en las rutas panamericanas, alcanzando una precisión de hasta el 98%. Los datos obtenidos permitieron identificar patrones específicos que pueden asociarse con los comportamientos de conducción, tales como una velocidad promedio de 80 km/h, una altitud de hasta 400 metros sobre el nivel del mar y una carga del motor que oscila entre el 60% y el 80%.

El modelo desarrollado, basado en árboles de decisión y con un nivel de precisión del 99% durante el proceso de entrenamiento, ofrece una solución eficaz para predecir el consumo de combustible en vehículos del mismo modelo. Este alto grado de precisión asegura que las estrategias generadas sean confiables y aplicables, lo que permitirá reducir el consumo instantáneo de combustible de manera efectiva.

Se identificaron las variables más influyentes en el consumo de combustible de los vehículos. Entre estas pudimos identificar la presión del colector de admisión, la posición del pedal de aceleración, y las revoluciones del motor. Estas variables presentaron una correlación directa con el consumo de combustible, se observó que mantener velocidades dentro del rango de 60 – 80 Km/h se puede reducir el consumo hasta un 12% mientras que En el aumento de altitud superiores a 2000 metros sobre el nivel del mar el consumo aumenta en un 8% debido a la densidad del aire.

Los resultados de los análisis permitieron proponer estrategias que se orientan a minimizar el consumo de combustible en un 15%, así como la identificación de las velocidades optimas entre 60 – 80 Km/h, ajustes necesarios en los distintos hábitos de conducción y recomendaciones para mantenimientos preventivos de los vehículos cada 5.000 km. Con el modelo predictivo se puede mejorar la eficiencia de los vehículos en un 20% cuando el automóvil este circulando por las distintas vías panamericanas dentro del Ecuador.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda fomentar prácticas de conducción eficiente entre los conductores que transitan por las rutas panamericanas. Esto incluye mantener velocidades constantes dentro del rango de 60 a 80 km/h, evitando aceleraciones y frenados bruscos, lo que contribuye a un consumo de combustible más eficiente y reduce el desgaste del vehículo. Además, un manejo suave y un uso adecuado de las marchas pueden mejorar aún más la eficiencia y disminuir las emisiones contaminantes.

Al seleccionar los árboles de decisión, es importante asegurarse de que el valor de precisión se acerque lo más posible a 1, ya que esto garantizará un modelo más exacto y confiable. De esta forma, se podrá crear un programa que se adapte de manera más efectiva a las características específicas de cada modelo de vehículo, optimizando así la precisión en las predicciones y mejorando la eficiencia del análisis.

Al momento de proponer el modelo predictivo, recolectar datos de diferentes rutas sin tomar el tiempo ni distancia de viaje, para poder entrenarlo y que la interfaz se acostumbre a pronosticar el consumo de combustible las eficientemente y con mayor precisión y rapidez.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Ahn, K., Van Aerde, M. W., Trani, A. A., Lin, W. H., & Rakha, H. (2007). *MICROSCOPIC FUEL CONSUMPTION AND EMISSION MODELING*.
- Andres Lopez, Francisco Torres, Benjamin Pla, & Byron Romero. (2022). *Metodología para inferir el mapa de desempeño y el consumo de combustible de un motor de combustión interna alternativo*. 5(1), 43–60. <https://doi.org/10.37135/ns.01.09.04>
- Bernal Fabian, & Villacrese Homero. (2024). *ANALISIS DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE VEHICULOS DE TRANSPORTE MIXTO EN LA CIUDAD DE AZOGUES*.
- Carlos, S. D. L. M., Neira, J., Esteban, L. S. P., & Gissella, J. L. M. (2019). *ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE CICLOS DE CONDUCCIÓN REPRESENTATIVOS EN BUCARAMANGA, SANTANDER*.
- Cruz, J., & Alomaliza, R. (2020). *ANÁLISIS DEL CONSUMO Y FACTORES DE EMISIONES REALES GENERADOS POR VEHÍCULOS LIVIANOS A GASOLINA BAJO UN CICLO DE CONDUCCIÓN URBANO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA MEDIANTE PRUEBAS DINÁMICAS*. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.
- Diaz, D. V., Jose, S., Hurtado, I., Paúl, M., Molina Campoverde, A., Fernando, J., & Ordonez, V. (2014). *UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE CUENCA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRÍZ “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL COLECTOR DE ADMISIÓN PARA EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA YAMAHA FZR 600 CC PARA LA COMPETENCIA FORMULA SAE”. TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRÍZ AUTORES*.
- Eljaik Gómez Director, O. D., Carmona García, M., & Huertas Cardozo, J. I. (2022). *ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y EMISIONES DE CO2 EN AUTORICKSHAWS BAJO LA METODOLOGÍA DE MICRO VIAJES EN EL MUNICIPIO DE SOLEDAD -COLOMBIA*.
- García-Castro, Á. (2015). *Análisis de la relación entre el índice de congestión y el consumo de combustible basado en datos empíricos*.
- González Valdés, R. P., Rodríguez López, Y., García Taín, Y., & Fernández, L. (2010). *Consumo de combustible de los motores de combustión interna*. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(1), 01–08. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-00542010000100001&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542010000100001&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- González-Oropeza, R. (2005). *Los ciclos de manejo, una herramienta útil si es dinámica para evaluar el consumo de combustible y las emisiones contaminantes del auto transporte*.

- Juan Felipe Franco R. (2012). contaminación atmosférica en centros urbanos. desafío para lograr su sostenibilidad: caso de estudio bogotá. In *Revista EAN* (Issue 72). Universidad EAN.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-81602012000100013&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-81602012000100013&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- Lugmania, J., & Paillacho, L. (2023). *ANÁLISIS DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE MEDIANTE UN CICLO DE CONDUCCIÓN NORMAL ENTRE LAS GASOLINAS ECO PLUS Y SUPER PREMIUM EN UN VEHÍCULO CHEVROLET ONIX TURBO 1.0 EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.*
- Luna, F., & Javier, K. (2020). *ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE CO2 GENERADAS POR EL TRANSPORTE VEHICULAR EN LA VÍA SANTA ROSA MACHALA.*
- Marchese, R. A., & Golato, M. A. (2011). *El Consumo de Combustible y Energía en el Transporte.* [www.bridgestone.co.jp/tire/ecopia\\_ep100/ind](http://www.bridgestone.co.jp/tire/ecopia_ep100/ind)
- Miyashiro Pérez, L., & Delgado Fernández, M. (2009). *CALIDAD PROCEDIMIENTO PARA LA MEJORA DE PROCESOS QUE INTERVIENEN EN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE.*
- Montaño, E., & Ayala José. (2018). *ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y NIVELES DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN VEHÍCULO DE CATEGORÍA M1 EN RUTAS CON MAYOR GRADO DE SATURACIÓN EN LA CIUDAD DE CUENCA.*
- Patricio Román, Gabriel Abad, & Estuardo Herdoiza. (2019). *Cambio del Sistema de Carburación Tipo Venturi por un Sistema Electrónico a Inyección De Un Vehículo Mitsubishi Lancer.*
- Rafael-Morales, M., Cervantes De Gortari, J., & Guzmán, A. L. (2010). *EFICIENCIA ENERGETICA DEL TREN MOTRIZ DE VEHICULOS PESADOS CON REDUCCION DE CO 2.*
- Romel Chilig, & Alex Farinango. (2024). *OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE PARA UN VEHÍCULO CATEGORÍA M1 MEDIANTE EL ESTUDIO DE UNA CONDUCCIÓN EFICIENTE EN RUTAS ESTABLECIDAS EN LA CIUDAD DE QUITO.*
- ROMEL ZAPATA, & ALEX CHONTASI. (2024). *OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE PARA UN VEHÍCULO CATEGORÍA M1 MEDIANTE EL ESTUDIO DE UNA CONDUCCIÓN EFICIENTE EN RUTAS ESTABLECIDAS EN LA CIUDAD DE QUITO.*
- Sileghem, L., Bosteels, D., May, J., Favre, C., & Verhelst, S. (2014). Analysis of vehicle emission measurements on the new WLTC, the NEDC and the CAD. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 32, 70–85.  
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.07.008>
- Temístocles, B., & Muñoz, M. (2021). *"DISEÑO DE UN DATALOGGER PARA PRUEBA DE RUTA EN AUTOMOVILES.*

Terán, L., & Luis, J. (2013). *EVALUACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE VEHÍCULOS LIVIANOS EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.*

Vergara Guevara, O. M., & Estrella Velásquez, T. F. (2018). *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo y estimación del consumo de combustible de automóviles de la alcaldía de Montería.*  
<https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/548>