



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

**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**

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

**AUTORES: ROMEL ALFONSO CHILIG ZAPATA**  
**ALEX DAVID FARINANGO CHONTASI**

**TUTOR: PAÚL ANDRÉS MOLINA CAMPOVERDE**

Quito - Ecuador  
2024

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Romel Alfonso Chilig Zapata con documento de identificación N° 1727500223 y Alex David Farinango Chontasi con documento de identificación N° 1724399900 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.

Quito, 22 de febrero del 2024

Atentamente,



---

Romel Alfonso Chilig Zapata  
1727500223



---

Alex David Farinango Chontasi  
1724399900

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

Nosotros, Romel Alfonso Chilig Zapata con documento de identificación N° 1727500223 y Alex David Farinango Chontasi con documento de identificación N°1724399900, 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 Proyecto Técnico: “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”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Automotrices, 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.

Quito, 22 de febrero del 2024

Atentamente,



---

Romel Alfonso Chilig Zapata  
1727500223



---

Alex David Farinango Chontasi  
1724399900

## 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: 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, realizado por Romel Alfonso Chilig Zapata con documento de identificación N° 1727500223 y Alex David Farinango Chontasi con documento de identificación N° 1724399900, 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, 22 de febrero del 2024

Atentamente,



---

Ing. Paúl Andrés Molina Campoverde, MSc.

0104948104



## **DEDICATORIA**

Dedico el presente proyecto a Dios y mis abuelitos en el cielo, por las bendiciones recibidas para llegar a cumplir esta etapa tan importante de mi vida. A mis padres, por ser el pilar fundamental de mi formación personal. A mi familia, en especial a mis tías que me brindaron su apoyo incondicional durante mi vida académica. Y a mi novia, por ser mi compañera de vida y quien me ha motivado a continuar adelante siendo la mejor versión de mí.

Romel Chilig

Dedico el presente proyecto a mis queridos padres Manuel Farinango y Nelly Chontasi por siempre estar apoyándome durante el transcurso de mi vida estudiantil, quienes me brindaron su apoyo incondicionalmente para poder cumplir un escalón más en mi vida. A mis hermanos Anthony y María, que siempre han estado a mi lado pendientes todos los días brindándome su cariño. A Dios, por mantener con salud y vida a mis seres queridos.

Alex Farinango

## **AGRADECIMIENTO**

Mi eterna gratitud al Ing. Paúl Molina por todo el apoyo recibido durante mi formación universitaria, en especial por su valiosa guía y asesoramiento en nuestro proyecto de titulación en calidad de tutor.

Romel Chilig

Mis sinceros agradecimientos al ingeniero Paul Molina quien brindo su confianza dentro de este proyecto, en calidad de tutor, brindándonos sus conocimientos en el transcurso de nuestra carrera universitaria. A mi compañero de tesis Romel por haberme brindado su amistad y confianza para realizar este proyecto y sacar el proyecto adelante y por la disposición de su vehículo en el que hemos realizado las pruebas.

A la Universidad Politécnica Salesiana a través de los docentes de la carrera brindan todo su conocimiento para una buena formación profesional.

Alex Farinango

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	XIII
ABSTRACT .....	XIV
INTRODUCCIÓN .....	1
PROBLEMA .....	2
Delimitación del problema .....	3
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos .....	3
Marco Teórico .....	4
1.1    Los combustibles .....	4
1.2 Combustible extra.....	4
1.3 Velocidad máxima ideal para el ahorro de combustibles .....	5
1.4 Categoría vehicular M1 .....	5
1.5 Conducción eficiente .....	6
1.6 Optimización matemática del consumo de combustible .....	6
CAPÍTULO 1 .....	7
ESTUDIO DE LOS MODOS DE CONDUCCIÓN Y EFICIENCIA DE COMBUSTIBLE7	
1.1 Ciclos de conducción.....	7
1.1.1 Características de un ciclo de conducción.....	8
1.1.2 Tipos de ciclos de conducción.....	9
1.2 Modos de Conducción .....	18
1.2.1. Patrones de velocidad .....	18
1.3. Potencia específica del motor VSP.....	20
1.4. Eficiencia de combustible.....	22

1.4.1 Aspectos técnicos para un mayor ahorro de combustible.....	23
1.4.2. Conducción ecológica.....	25
1.4.3. Principales factores de una conducción ecológica .....	25
CAPÍTULO 2 .....	27
ESTUDIO EXPLORATORIO DE DATOS.....	27
2.1. Adquisición de datos .....	27
2.1.1 Equipos .....	28
2.1.2 Vehículo de prueba.....	29
2.1.3 Curvas características .....	30
2.1.4 Ruta de prueba.....	31
2.1.5 Cálculo del consumo de combustible .....	32
2.2 Post procesamiento de la información.....	33
2.2.1 Escalones de velocidad.....	34
2.2.2 Diagramas.....	36
2.2.3 Algoritmo propuesto.....	39
CAPÍTULO 3 .....	45
OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE.....	45
3.1 Parámetros de consideración en el modelo.....	45
3.1.1 Análisis de variables .....	46
3.2 Desarrollo del modelo .....	49
3.3 Pruebas del modelo.....	56
CAPÍTULO 4 .....	60
COMPARATIVA DE LOS CICLOS DE CONDUCCIÓN.....	60
4.1 Comparativa de resultados.....	60
4.2 Análisis de resultados .....	62
CONCLUSIONES.....	65

RECOMENDACIONES .....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. ....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ciclo de Conducción.....	8
<b>Figura 2.</b> Ciclo FTP-72.....	11
<b>Figura 3.</b> Diagrama 3D de la Velocidad/Aceleración del ciclo FTP-72.....	11
<b>Figura 4.</b> Se visualiza el esquema de conducción FTP-75 .....	12
<b>Figura 5.</b> Ciclo de conducción europeo.....	13
<b>Figura 6.</b> Ciclo de conducción NEDC.....	13
<b>Figura 7.</b> Ciclo de conducción para Moto .....	14
<b>Figura 8.</b> Ciclo de conducción para Buses tipo SITP .....	14
<b>Figura 9.</b> Ciclo de conducción para buses TransMilenio .....	15
<b>Figura 10.</b> Ciclo realizado en Chile.....	16
<b>Figura 11.</b> Ciclo de conducción en la ciudad de Quito.....	17
<b>Figura 12.</b> Ciclo de conducción en la ciudad de Quito.....	17
<b>Figura 13.</b> Ciclo de conducción en la ciudad Quito .....	17
<b>Figura 14.</b> Modo de conducción que utiliza frenadas bruscas.....	18
<b>Figura 15.</b> Patrones de velocidades .....	19
<b>Figura 16.</b> Parámetros para el cálculo de las VSP.....	21
<b>Figura 17.</b> Correlación mostrada entre VSP y consumo de combustible.....	21
<b>Figura 18.</b> Consumo de combustible del motor.....	22
<b>Figura 19.</b> Interfaz OBD II conectada .....	28
<b>Figura 20.</b> Scanner Freematics ONE+.....	29
<b>Figura 21.</b> Vehículo de prueba .....	30
<b>Figura 22.</b> Curvas características del motor .....	30
<b>Figura 23.</b> Ruta de prueba recorrida .....	32
<b>Figura 24.</b> Diagrama de velocidad.....	35
<b>Figura 25.</b> Escalones de velocidad .....	35
<b>Figura 26.</b> Diagrama Velocidad - Tiempo.....	36
<b>Figura 27.</b> Diagrama Aceleración - Tiempo.....	37
<b>Figura 28.</b> Cálculo de la distancia .....	38
<b>Figura 29.</b> Consumo de combustible de la prueba .....	39
<b>Figura 30.</b> Entrenamiento de la red .....	40

<b>Figura 31.</b> Estado de Entrenamiento .....	40
<b>Figura 32.</b> Histograma de error .....	41
<b>Figura 33.</b> Validación de la red .....	42
<b>Figura 34.</b> Curva de consumo de combustible .....	42
<b>Figura 35.</b> Curva de consumo por marchas .....	43
<b>Figura 36.</b> Consumo de combustible de cada marcha .....	44
<b>Figura 37.</b> Comparativo consumo por marchas.....	44
<b>Figura 38.</b> Identificación de las marchas .....	45
<b>Figura 39.</b> Matriz de correlación – todos los parámetros .....	46
<b>Figura 40.</b> Matriz de correlación – parámetros relevantes .....	47
<b>Figura 41.</b> Tendencia de la función de consumo de combustible.....	49
<b>Figura 42.</b> Función consumo de combustible.....	50
<b>Figura 43.</b> Curva consumo por marchas.....	51
<b>Figura 44.</b> Función de primera marcha.....	52
<b>Figura 45.</b> Función de segunda marcha.....	52
<b>Figura 46.</b> Función de tercera marcha .....	53
<b>Figura 47.</b> Función de cuarta marcha .....	53
<b>Figura 48.</b> Función de quinta marcha .....	54
<b>Figura 49.</b> Función de sexta marcha.....	54
<b>Figura 50.</b> Funciones de marchas .....	55
<b>Figura 51.</b> Rango de optimización de primera marcha.....	57
<b>Figura 52.</b> Rango de optimización de segunda marcha.....	57
<b>Figura 53.</b> Rango de optimización de tercera marcha .....	58
<b>Figura 54.</b> Rango de optimización de cuarta marcha .....	58
<b>Figura 55.</b> Rango de optimización de quinta marcha .....	59
<b>Figura 56.</b> Rango de optimización de sexta marcha.....	59
<b>Figura 57.</b> Ruta planificada .....	60
<b>Figura 58.</b> Flujo de combustible - conducción normal.....	61
<b>Figura 59.</b> Flujo de combustible – conducción ecológica .....	62
<b>Figura 60.</b> Comparativa estilos de conducción.....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Presenta los 4 patrones de velocidad .....	20
<b>Tabla 2.</b> Unidades de medida del consumo de combustible .....	23
<b>Tabla 3.</b> Equipos utilizados.....	28
<b>Tabla 4.</b> Características Técnicas del vehículo de prueba .....	29
<b>Tabla 5.</b> Variables registradas.....	33
<b>Tabla 6.</b> Variables relevantes del consumo de combustible .....	48
<b>Tabla 7.</b> Índice de correlación de las variables.....	48
<b>Tabla 8.</b> Comparativa de resultados.....	63



## RESUMEN

La industria automotriz enfrenta desafíos significativos debido al elevado consumo de combustibles fósiles y las complicaciones asociadas con la extracción de petróleo para satisfacer la demanda. Como respuesta, varios países han desarrollado secuencias de manejo destinadas a reducir el consumo de combustible. Estos ciclos, implementados en naciones desarrolladas, han servido como referencia para la aplicación de ciclos de conducción en América Latina, realizados en áreas urbanas con alto tráfico y en rutas específicas, estos ciclos han demostrado mejoras significativas en la eficiencia del consumo de combustible y reducir las emisiones perjudiciales para el medio ambiente.

La reducción del gasto de combustible en los vehículos es crucial tanto para la preservación ambiental al disminuir las emisiones contaminantes como desde una perspectiva económica para los conductores. Según investigaciones recientes sobre la eficiencia al volante, se revela que un conductor eficiente puede economizar hasta \$1.41 por cada 100 km en condiciones de tráfico y hasta \$2.83 por cada 100 km en ausencia de tráfico. La manera de conducir presenta un gran impacto sobre el consumo de combustible, y adoptar prácticas eficientes de conducción puede reducir el mismo.

El proyecto actual se centra en estudiar un óptimo consumo de combustible mediante la conducción eficiente de un vehículo categorizado como M1 en la ruta realizada por las vías de la ciudad de Quito. Mediante el desarrollo de un modelo algorítmico de optimización basado en las funciones de consumo de combustible vinculadas a la velocidad, se determina un rango de velocidad ideal (velocidad verde) donde se maximiza la eficiencia del consumo de combustible para cada marcha.

**Palabras Claves:** Optimización, ciclos de conducción, combustible, funciones de consumo, velocidad verde

## ABSTRACT

The automotive industry faces significant challenges due to the high consumption of fossil fuels and the complications associated with extracting oil to meet demand. In response, several countries have developed driving sequences aimed at reducing fuel consumption. These cycles, implemented in developed nations, have served as a reference for the application of driving cycles in Latin America, carried out in urban areas with high traffic and on specific routes, these cycles have demonstrated significant improvements in fuel consumption efficiency and reduce emissions harmful to the environment.

Reducing fuel consumption in vehicles is crucial both for environmental preservation by reducing polluting emissions and from an economic perspective for drivers. According to recent research on driving efficiency, it is revealed that an efficient driver can save up to \$1.41 per 100 km in traffic conditions and up to \$2.83 per 100 km in the absence of traffic. The way you drive has a great impact on fuel consumption, and adopting efficient driving practices can reduce it.

The current project focuses on studying optimal fuel consumption through the efficient driving of a vehicle categorized as M1 on the route taken along the roads of the city of Quito. By developing an algorithmic optimization model based on fuel consumption functions linked to speed, an ideal speed range (green speed) is determined where fuel consumption efficiency is maximized for each gear.

**Keywords:** Optimization, driving cycles, fuel, consumption functions, green speed

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, a nivel global las empresas automotrices buscan desarrollar avances tecnológicos que ayuden a contribuir a la disminución del uso de energía combustible en los automóviles, porque ocasiona un efecto directo en medio ambiente y en el consumo de combustibles fósiles.

Los patrones de manejo se visualizan gráficamente a través de la relación entre la velocidad y el tiempo del comportamiento de conducción típico en un lugar determinado, teniendo en cuenta el tráfico, la distancia, el tipo de carretera, etc.

En el capítulo 1 se presenta un estudio de los tipos, modos y ciclos de conducción; y demás aspectos importantes para una conducción ecológica y optimización de combustible, indica parámetros importantes a mantener dentro de nuestro vehículo para una mejor optimización de combustible.

El capítulo 2 muestra un estudio exploratorio de los datos del proyecto, se detallan los equipos, las especificaciones del vehículo de prueba, la ruta planificada, etc. Se presenta el procesamiento de la información, ecuaciones para realizar los cálculos del consumo y el algoritmo identificador de la marcha según la velocidad y la frecuencia de rotación del motor.

El capítulo 3 se basa en la optimización del consumo de combustible considerando parámetros relevantes para el desarrollo del modelo. Este capítulo se centra en la obtención de las funciones de consumo de combustible por cada marcha y se calcula el rango de velocidad ideal para optimizar el rendimiento del combustible.

Por último, en el capítulo 4 se realiza una comparativa de los estilos de conducción estudiados y se analizan los resultados obtenidos, lográndose evidenciar una optimización del 20.03 % de ahorro de consumo de combustible.

## **PROBLEMA**

En la industria automotriz, resolver el desafío del consumo eficiente y adecuado del combustible es una de las preocupaciones más destacadas. La investigación se ha centrado intensamente en este aspecto, considerando su influencia tanto en el impacto ambiental como en la situación económica del consumidor, especialmente en momentos de incremento en el costo de este recurso en los últimos años.

Pese al continuo avance tecnológico y las mejoras implementadas por los fabricantes en la búsqueda de reducir el gasto de combustible en los automotores, el problema no se ha podido erradicar por completo, pues la forma en que conducimos un vehículo sigue siendo un factor determinante en el gasto de combustible.

Actualmente, la gente busca un enfoque efectivo que ayude a cambiar la forma en que los conductores conducen para abordar mejor los crecientes precios del combustible y los desafíos socioeconómicos de nuestro país. Utilizando la investigación de modelos de conducción ecológica, alta eficiencia y consumo de combustible significativamente reducido (Leguísamo, 2020).

El tráfico y la conducción ineficiente son unos de los mayores factores que influyen en la contaminación ambiental en Quito, ya que estos problemas generan un consumo excesivo de combustible en los vehículos.

Introducir sistemas de conducción eficiente en Quito no solo posibilitará alentar a conductores, flotas de transporte, empresas logísticas y propietarios de vehículos a minimizar sus gastos a través de la reducción del consumo de combustible, sino que también contribuirá a la disminución de emisiones contaminantes en el entorno ambiental (Olalla & Parra, 2023).

La reducción de combustible en vehículos automotores presenta un impacto fundamental, no solo del punto de vista ecológico a partir de la reducción de la emisión de gases contaminantes, sino también desde una perspectiva económica para los conductores.

## **Delimitación del problema**

Un aumento en el consumo de combustible generalmente conduce a mayores gastos para los consumidores. Esto afecta negativamente el presupuesto de las personas y de las empresas, especialmente si hay fluctuaciones en los precios del petróleo (Stokić et al., 2023).

La disminución del gasto de combustible en vehículos es crucial desde una perspectiva económica ahorrando en combustible, y también desde una perspectiva ecológica reduciendo las emisiones móviles y gases que son altamente contaminantes para los seres humanos. En la ciudad existen factores que alteran el consumo de combustible, una de ellas es el tráfico que existe en las horas de mayor congestión vehicular y también el modo de conducción el cual presenta un impacto significativo sobre el consumo.

En el país se buscan alternativas que ayuden a reducir el consumo de combustible debido al impacto económico que representa, este problema afecta en especial a las ciudades más pobladas como Quito, Guayaquil o Cuenca, ciudades en las cuales existen registros de mayor consumo de combustible, por esto, el proyecto es orientado a rutas con congestión en la ciudad de Quito, donde se optimizó el gasto de combustible en un vehículo de categoría M1, categoría la cual es la más utilizada por los ciudadanos (Rojas, 2003).

Reducir drásticamente el consumo de combustible es una tarea complicada, en especial con la problemática de la congestión presente en las grandes urbes, sin embargo, el proyecto busca orientar a los conductores a concientizar una conducción eficiente en la cual se optimice el gasto de combustible.

## **Objetivo General**

Optimizar el consumo de combustible y la influencia del estilo de conducción mediante un estudio de una conducción eficiente en rutas establecidas para vehículos de categoría M1 en la ciudad de Quito

## **Objetivos Específicos**

- Conceptualizar teóricamente los tipos de conducción y consumo de combustible
- Analizar los datos recopilados con respecto al estilo de conducción eficiente e ineficiente

- Desarrollar un estilo de conducción eficiente, el cual beneficiará para reducir el consumo de combustible en beneficio del vehículo
- Comparar los resultados obtenidos con respecto al estilo de conducción eficiente e ineficiente

## **Marco Teórico**

Debido a la influencia de factores como el costo, la disminución progresiva de las fuentes petrolíferas y su influencia en el entorno natural, se hace imperativo examinar el consumo de combustible en los automóviles de categoría M1. Este consumo se ve afectado por una variedad de factores, tanto internos como externos, que influyen en el proceso de combustión del vehículo, intensificándose con el incremento de la rapidez del motor.

La utilización de combustible constituye una fracción significativa de los gastos operativos de los vehículos. En ciertos tipos de vehículos y en regiones específicas, este consumo puede alcanzar hasta el 50% de los costos totales de transporte por cada vehículo.

En la optimización de combustible influyen varios factores como el cilindraje del motor, el octanaje del combustible, la categoría del vehículo, tipo de inyección, esto son algunos de los factores más importantes, pero también interviene el tipo de conducción que se emplea, por eso a continuación vamos a detallar cada uno de estos aspectos y como influyen para una mejor optimización de combustible y una conducción eficiente.

### **1.1 Los combustibles**

Según (Montegolo, 2021), diversos tipos de combustibles se agrupan según su estado, abarcando los hidrocarburos gaseosos como el metano, etano y butano. Entre los líquidos, se incluyen los derivados del petróleo como el gasóleo, la gasolina y el queroseno, además de alcoholes como el metanol y el etanol. Por otro lado, los combustibles sólidos comprenden el carbón en sus formas mineral y vegetal, el coque y la biomasa. Estos recursos, al someterse a procesos de combustión, liberan energía en forma de luz y calor.

### **1.2 Combustible extra**

El combustible, es una amalgama de hidrocarburos derivados del petróleo, se emplea como gasolina en una variedad de motores, incluyendo los de combustión interna, sistemas de

calefacción e incluso en lámparas. El petróleo, un líquido natural compuesto por hidrógeno y carbono, se somete a un proceso de fraccionamiento que da origen a diversos productos, destacando entre ellos la gasolina. Con el propósito de emplearlos en motores de combustión interna, la gasolina debe cumplir con condiciones específicas para asegurar el óptimo rendimiento del motor y satisfacer los requisitos ambientales. Una de estas necesidades cruciales fundamentales es el índice de octanaje, que define la capacidad del combustible para resistir la detonación (Renting, 2020).

El octanaje representa la capacidad de la gasolina para resistir la explosión al ser comprimida en el cilindro durante la combustión, en relación con la temperatura y la presión. En consecuencia, a medida que aumenta el octanaje, mejora la calidad del combustible.

### **1.3 Velocidad máxima ideal para el ahorro de combustibles**

A pesar de las mejoras continuas en la eficiencia del gasto de gasolina de los automóviles, la conducta del conductor sigue siendo crucial, garantizar una rapidez máxima de 90 km/h, considerando la ruta y el tráfico, puede optimizar el consumo según la Dirección General de Transportes, que también destaca que esta velocidad no solo mejora la seguridad, sino que es la ideal para maximizar el ahorro de combustible. En contraste, alcanzar los 120 km/h conlleva un incremento del 30% en el consumo (Ochoa, 2021).

Otras recomendaciones para economizar combustible incluyen el uso de marchas largas cuando sea viable, aliviando así la carga del motor y posibilitando una conducción más suave en maniobras previsibles. Asimismo, se sugiere disminuir el uso del aire acondicionado, optar por abrir las ventanas para maximizar la aerodinámica y realizar un mantenimiento adecuado del vehículo, verificando la condición del aceite, el estado del filtro de aire y la presión correcta de los neumáticos (Ochoa, 2021).

### **1.4 Categoría vehicular M1**

La categoría vehicular M1 se refiere a una clasificación europea que se utiliza para designar vehículos de pasajeros. Esta clasificación se basa en la normativa establecida por la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (UNECE). La categoría M1 incluye vehículos motorizados con al menos cuatro ruedas, diseñados principalmente para

el transporte de pasajeros. Estos automóviles tienen la capacidad de transportar hasta ocho pasajeros, además del conductor

En resumen, los vehículos de categoría M1 son automóviles de pasajeros, y esta categoría abarca una extensa gama de vehículos, que abarca desde automóviles convencionales hasta distintos tipos de vehículos. deportivos utilitarios (SUV) y monovolúmenes (minivans), siempre que cumplan con los criterios específicos establecidos para la categoría M1. Estos criterios se centran en el diseño y la capacidad de pasajeros del vehículo (Instituto Ecuatoriano de Normalización 2012).

### **1.5 Conducción eficiente**

Debido a diversos factores, es crucial que los vehículos de transporte sean operados de manera eficiente para preservar energía y combustible, al tiempo que cumplen con las normativas de seguridad vial y garantizan el buen estado del automóvil. Este enfoque de conducción es basado en prácticas específicas, la habilidad del conductor en el manejo de cambios, aceleraciones y desaceleraciones, así como en su conocimiento técnico (Gómez y Usho 2020).

### **1.6 Optimización matemática del consumo de combustible**

La utilización de la optimización matemática en la eficiencia de combustible de vehículos es un área de estudio esencial en las disciplinas de ingeniería y ciencias de la computación. Se recurre a modelos matemáticos y algoritmos que mejoren la eficiencia del combustible y reduzcan las emisiones de gases contaminantes. A continuación, se presentan algunos métodos y técnicas frecuentemente empleados en este ámbito.

Se emplean diversos enfoques para la optimización del consumo de combustible en vehículos, incluyendo algoritmos de control de velocidad, sistemas de propulsión híbridos y eléctricos, planificación de rutas eficientes, control de aceleración y frenado, sistemas predictivos, optimización del motor, diseño aerodinámico, reducción de peso y sistemas de recuperación de energía. Estos enfoques, a menudo combinados con algoritmos de aprendizaje automático, buscan adaptarse a condiciones cambiantes. La optimización del consumo de combustible es crucial para abordar desafíos ambientales y económicos vinculados a los vehículos a combustión.



# **CAPÍTULO 1**

## **ESTUDIO DE LOS MODOS DE CONDUCCIÓN Y EFICIENCIA DE COMBUSTIBLE**

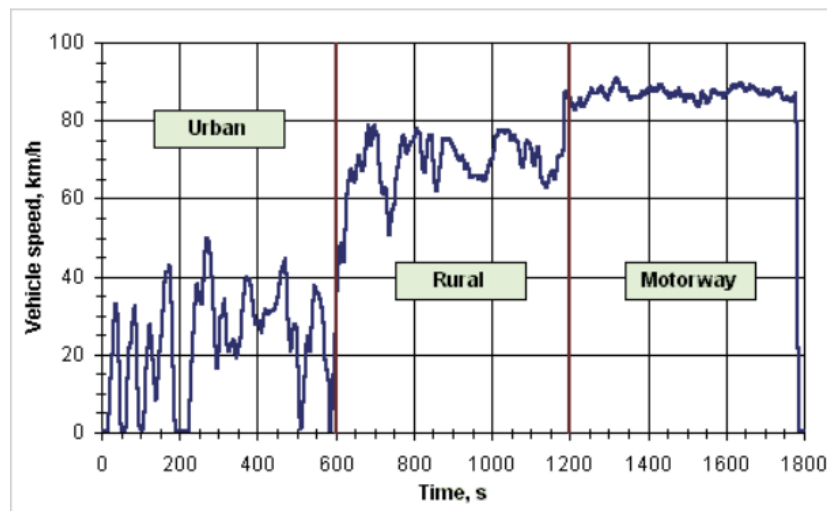
Analizar los diversos estilos de conducción y la influencia que presenta en el consumo de combustible del vehículo es un aspecto fundamental. Esta investigación es crucial para comprender cómo los conductores pueden afectar la eficiencia del combustible. Un examen detallado de los diferentes modos de conducción y su relación con la eficiencia del combustible proporciona información valiosa para optimizar el consumo de combustible y mitigar las emisiones de contaminantes gaseosos.

### **1.1 Ciclos de conducción**

Hasta ahora, se han desarrollado distintos patrones de conducción adaptados a diferentes categorías de vehículos, variando según el país, la ruta y el tipo de vehículo. Estos ciclos representan patrones de manejo comunes utilizados para medir el desempeño de los vehículos, evaluando aspectos como la eficiencia del combustible y las emisiones. Además, se presentan como gráficos estadísticos que representan la relación entre la velocidad y el tiempo durante la conducción (Liu & Jin, 2023).

Un periodo de manejo muestra la variación de la rapidez de un automóvil a lo largo del tiempo, considerando diversas condiciones de circulación en un lugar específico, con el propósito de medir las emisiones y la eficiencia del combustible. Esta representación se plasma en un gráfico de velocidad frente al tiempo, como se detalla en la Figura 1.

**Figura 1.** Ciclo de Conducción



**Fuente:**(González-Oropeza, n.d.)

La velocidad, la temperatura de funcionamiento, el gasto de gasolina y el tipo de combustible son factores cruciales que intervienen en el tipo y el volumen de emisiones contaminantes. Sin embargo, la velocidad desempeña un papel destacado, ya que velocidades muy bajas resultan en un mayor consumo de combustible, generando un incremento en la liberación de sustancias contaminantes (González et al., 2010).

La prueba primordial para certificar vehículos nuevos y evaluar emisiones se lleva a cabo en un instrumento de medición de chasis. Este dispositivo aplica una carga al vehículo de prueba, equilibrando el peso de inercia y la potencia estimada, simulando así condiciones normales de desplazamiento durante el ciclo de conducción (Llanos & Sinchi, 2018).

### **1.1.1 Características de un ciclo de conducción**

Un patrón de manejo se caracteriza por una cadena de elementos que definen un propósito el cual puede ser el ahorro de combustible o también la disminución de emisiones:

La primera característica es la velocidad, en donde los ciclos de conducción tienen perfiles específicos de velocidad que representan valores promedio y las aceleraciones que se

esperan en su entorno de conducción. La duración es otra característica de cada ciclo de conducción tiene una duración definida que representa el tiempo que tarda un ciclo, la duración depende del ciclo de conducción ya que hay pruebas que se demoran pocos minutos y otros ciclos que se demoran más de una hora (Llanos & Sinchi, 2018).

Una de las características de los ciclos es la replicabilidad, lo cual significa que se puede repetir de manera constante en su entorno de pruebas o evaluación, esto garantiza que los resultados de los vehículos sean comparables para distinguir cual es la mejor prueba de conducción que se está realizando.

Los ciclos de conducción pueden presentar diferentes condiciones de funcionamiento, como una conducción urbana, conducción de carretera, conducción en frío, conducción en caliente, etc. Estos parámetros influyen en la velocidad, aceleración y otros parámetros del ciclo.

Otro parámetro a considerar es la carga del vehículo, esta es una característica significativa por lo cual puede afectar el rendimiento del vehículo ya que a mayor carga mayor esfuerzo del vehículo por lo cual tiende a consumir más combustible.

Los ciclos de conducción urbana que incluyen paradas y arranques, puede variar la gráfica estadística en la eficiencia de ahorro de combustible. Debemos tomar en cuenta que en un ciclo de conducción la velocidad máxima y mínima debe tener límites para obtener buenos resultados durante el ciclo de conducción (Hurtado et al., 2014).

Adicionalmente otro parámetro a considerar son las normas y estándares, muchos ciclos de conducción están definidos por normativas y estándares gubernamentales o de la industria, y su cumplimiento puede ser requerido para fines de homologación y regulación de cada país.

### **1.1.2 Tipos de ciclos de conducción**

Los modelos de conducción son cruciales para que los fabricantes de automóviles evalúen y certifiquen la eficiencia de combustible y las emisiones de sus productos. Además, proporcionan a los consumidores la capacidad de tomar decisiones informadas al elegir un vehículo que satisfaga sus requisitos y consideraciones ambientales (González, 2005). Es crucial considerar que la conducción en condiciones reales en carreteras puede diferir

considerablemente de los patrones de manejo convencionales, ya que factores como la forma de conducir y las circunstancias del tráfico y la topografía pueden tener un impacto significativo (Hurtado et al., 2014).

Hay diferentes categorías de ciclos de conducción, clasificados según su origen y la ubicación de la ruta.

### **1.1.2.1 Ciclos de conducción en EEUU**

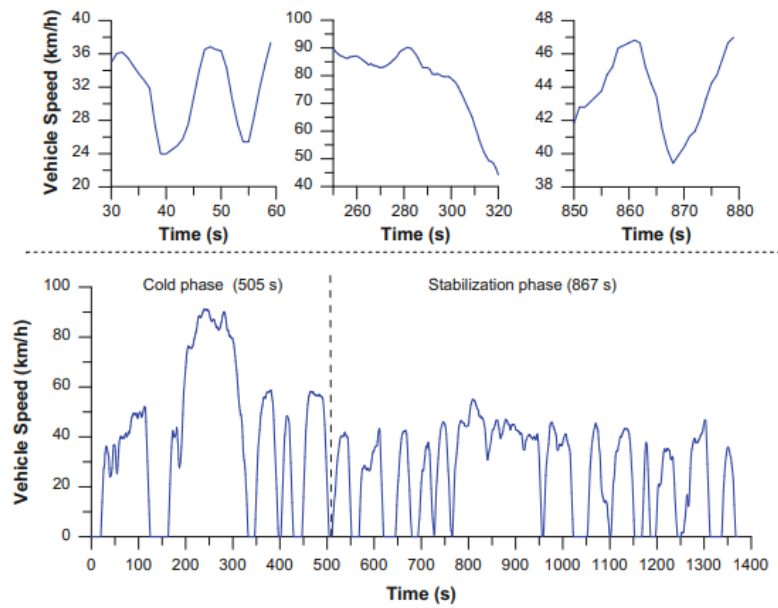
En Estados Unidos, se reconocen a nivel mundial como los patrones de manejo más esenciales al FTP (Procedimiento de Pruebas Federales), del cual se desprenden el FTP72 y el FTP75; ambos son ciclos gubernamentales diseñados con el propósito de regular las emisiones de gases contaminantes (Olalla & Parra, 2023).

#### **Ciclos de ensayo FTP72**

La velocidad característica del ciclo FTP72 se relaciona con la primera evaluación, denominada prueba de tipo I, que consiste en constatar las emisiones después de un arranque en frío. Este ciclo simula un recorrido urbano de 12.07 km con paros frecuentes, logrando una velocidad máxima de 91.26 km/h y manteniendo una velocidad promedio de 31.6 km/h (Giakoumis, 2016).

Este patrón incluye dos fases: la inicial, que abarca 505 segundos (5.78 km a una velocidad promedio de 41.2 km/h), empieza con un arranque en frío; seguida por la segunda fase, que dura 867 segundos. La Figura 2 presenta el ciclo FTP-72 durante su fase inicial.

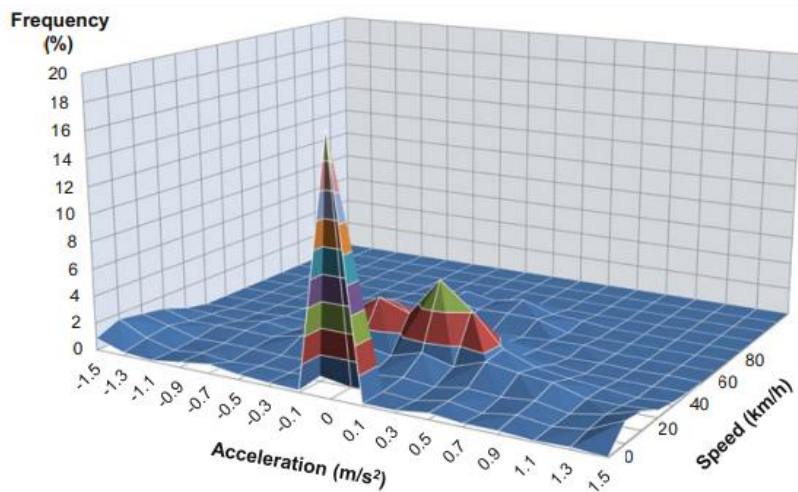
**Figura 2. Ciclo FTP-72**



**Fuente:**(Giakoumis, 2016)

La Figura 3 Enfoca la conexión entre la velocidad y la aceleración en la realización del ciclo de conducción FTP-72, resaltando la interrelación entre estos dos aspectos.

**Figura 3. Diagrama 3D de la Velocidad/Aceleración del ciclo FTP-72**



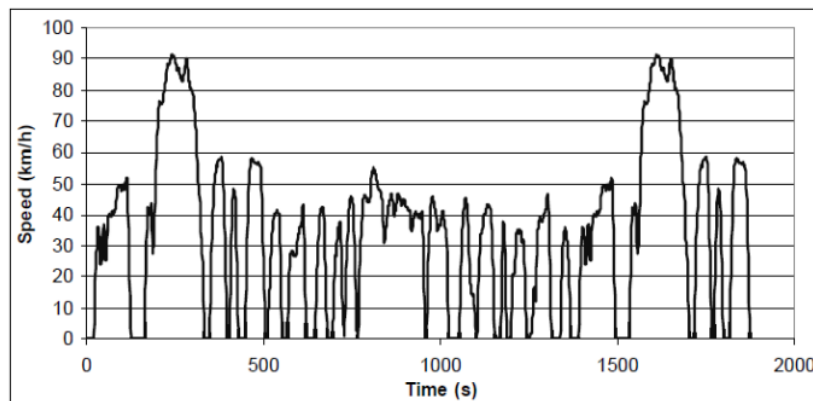
**Fuente:**(Giakoumis, 2016)

## Ciclos de ensayo FTP75

En este ciclo la adquisición de datos fue desarrollado en la ciudad de los Ángeles durante horas pico en horario matutino (Bosch, 2015).

El ciclo FTP-75 evoluciona a partir del FTP-72 al agregar un arranque en caliente, y consta de varios segmentos. Comienza con una fase de arranque en frío a temperatura ambiente, seguida por una fase estabilizada que abarca desde los -506 hasta los 1372 segundos. Luego, se incluye un período en caliente que oscila entre 540 y 660 segundos como mínimo y máximo, respectivamente. Finalmente, en la Figura 4 se visualiza el esquema de conducción con fase de arranque en caliente que se desarrolla desde 0 hasta los 505 segundos.

**Figura 4.** Se visualiza el esquema de conducción FTP-75



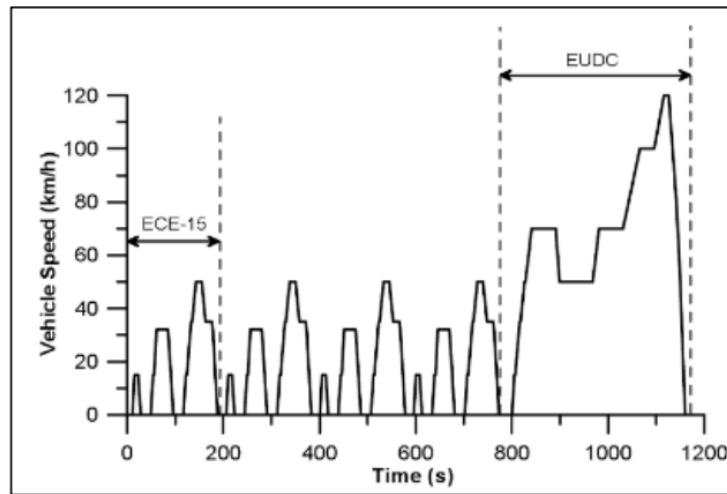
**Fuente:** (Barlow, 2009)

### 1.1.2.2 Ciclos de conducción en la Unión Europea

#### Ciclo Transitorio ECE +EUDC 15

Diversos automóviles de las personas fueron sometidos a evaluaciones de emisiones a través del ciclo ECE+EUDC. Este proceso tuvo lugar en una instalación de evaluación dinámica., y la Figura 5 ilustra la repetición ininterrumpida de los cuatro segmentos ECE, seguidos por un segmento EUDC (Ciclo de Conducción Urbana Europea)(Olalla & Parra, 2023).

**Figura 5.** Ciclo de conducción europeo



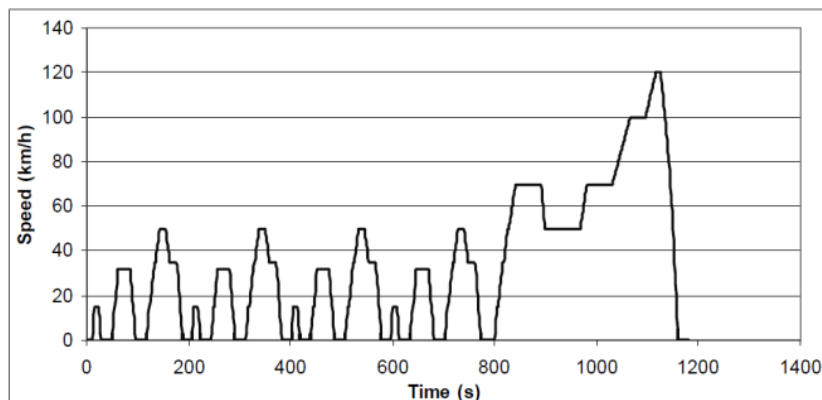
**Fuente:**(Barlow, 2009)

El ECE refleja un modelo de conducción ciudadano creado considerando las condiciones de tráfico en una urbe, caracterizado por aceleraciones moderadas que reflejan las condiciones típicas de conducción en una gran urbe europea (Llanos & Sinchi, 2018).

### **Ciclo de conducción NEDC**

En el año 2000, se eliminó el período de ralentí en la realización de este ciclo. El motor inicia en frío, y este procedimiento exhibe cómo varía la cantidad de emisiones en un vehículo. Además, este ciclo se emplea también con el propósito de evaluar las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Barlow, 2009). En la Figura 6 se visualiza un diagrama de un ciclo de conducción europeo donde tiene el propósito de evaluar la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub>.

**Figura 6.** Ciclo de conducción NEDC



**Fuente:**(Barlow, 2009)

### 1.1.2.3 Ciclos de conducción realizados en Latinoamérica

Existen varios ciclos que fueron realizados en distintos países de Latinoamérica, en diferentes ciudades y con distintas rutas, urbanas, rurales y autopistas también influye el tráfico que exista para realizar las diferentes pruebas. A continuación, se referencia algunos estudios que más relevancia han tenido para la determinar los ciclos de manejo.

#### Ciclo en la ciudad de Bogotá, Colombia

Este ciclo fue ejecutado en tres diversas categorías de vehículos, incluyendo motocicletas, buses del SITP y Transmilenio. Se llevaron a cabo 20 horas de recopilación de datos utilizando varios dispositivos para obtener la información requerida. Las Figuras 7, 8 y 9 muestran gráficamente el ciclo de conducción de estas tres distintas categorías de vehículos.

**Figura 7.** Ciclo de conducción para Moto



**Fuente:**(Benalcázar, 2013)

**Figura 8.** Ciclo de conducción para Buses tipo SITP





**Fuente:**(Benalcázar, 2013)

**Figura 9.** Ciclo de conducción para buses TransMilenio

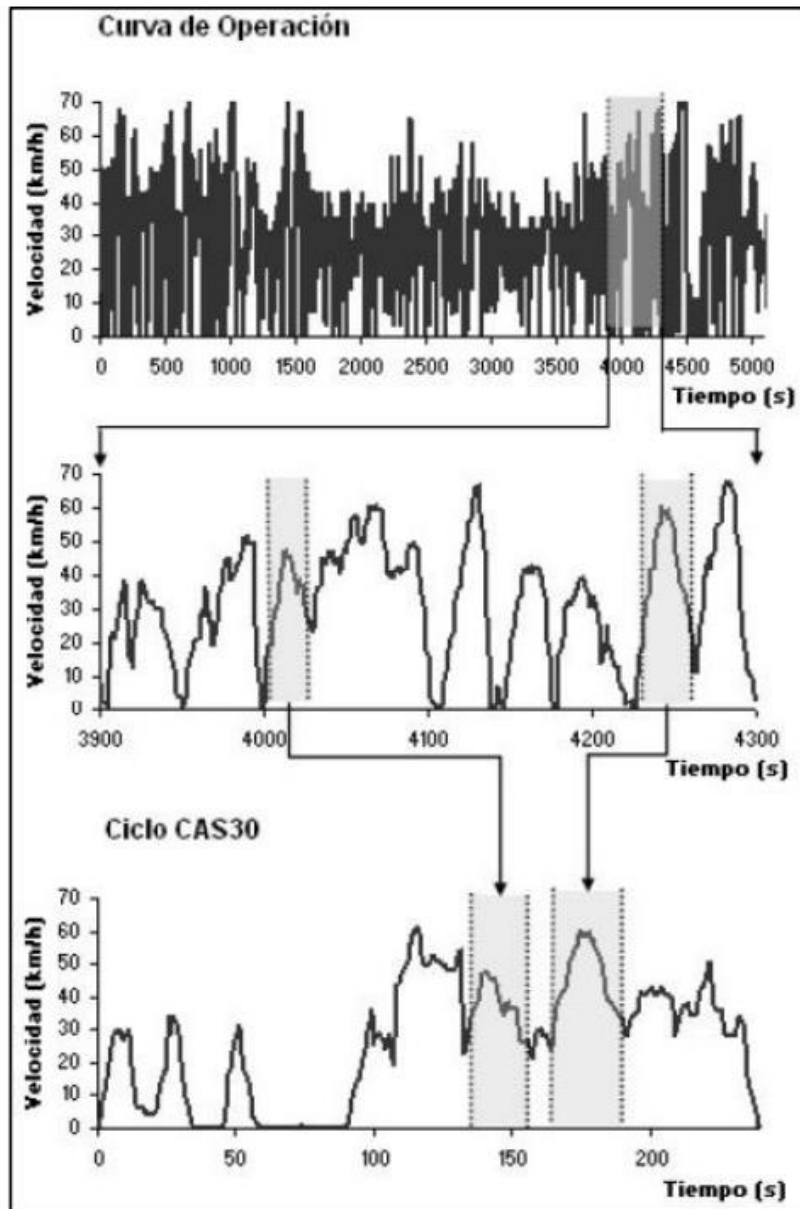


**Fuente:**(Benalcázar, 2013)

### **Ciclo en la ciudad de Santiago de Chile.**

El desarrollo de este patrón de conducción pasó por tres etapas: la primera incluyó la elección de las rutas, la segunda involucró la selección de datos de velocidad/tiempo en las rutas seleccionadas, y la última fase comprendió el procesamiento de datos seguido de la construcción del ciclo. La Figura 10 ilustra gráficamente el ciclo de conducción resultante.

**Figura 10.** Ciclo realizado en Chile



**Fuente:**(Osses, 2003)

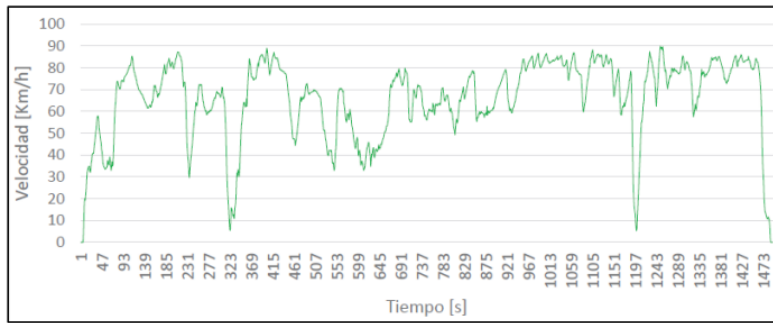
#### 1.1.2.4 Ciclo de Conducción en Ecuador

##### Ciclo en la ciudad de Quito, DMQ

De acuerdo con la investigación realizada por Quinchimbla en 2017, se llevaron a cabo ciclos de conducción en la ciudad de Quito, cubriendo tres rutas distintas en la ciudad (en dirección Sur-Norte) como se muestra en la Figura 11, en la carretera (en dirección Norte-Sur) según

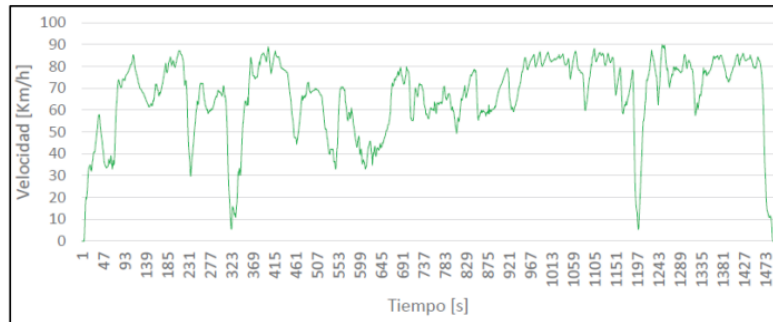
se observa en la Figura 12, y una fusión de ambas (en dirección Este-Oeste) como se representa en la Figura 13. Estos ciclos fueron ejecutados en pruebas reales de manejo, enfrentando rutas con mayor congestión vehicular y con un recorrido total de 1325.84 km a lo largo de 59 horas de conducción.(Quinchimbla, 2017).

**Figura 11.** Ciclo de conducción en la ciudad de Quito



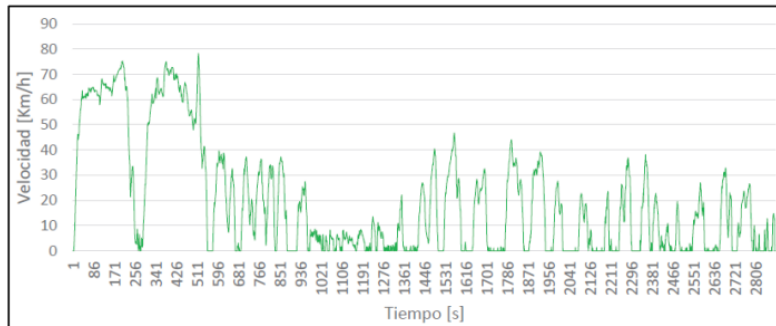
**Fuente:**(Quinchimbla Pisuña, 2017)

**Figura 12.** Ciclo de conducción en la ciudad de Quito



**Fuente:**(Quinchimbla Pisuña, 2017)

**Figura 13.** Ciclo de conducción en la ciudad Quito



**Fuente:**(Quinchimbla Pisuña, 2017)

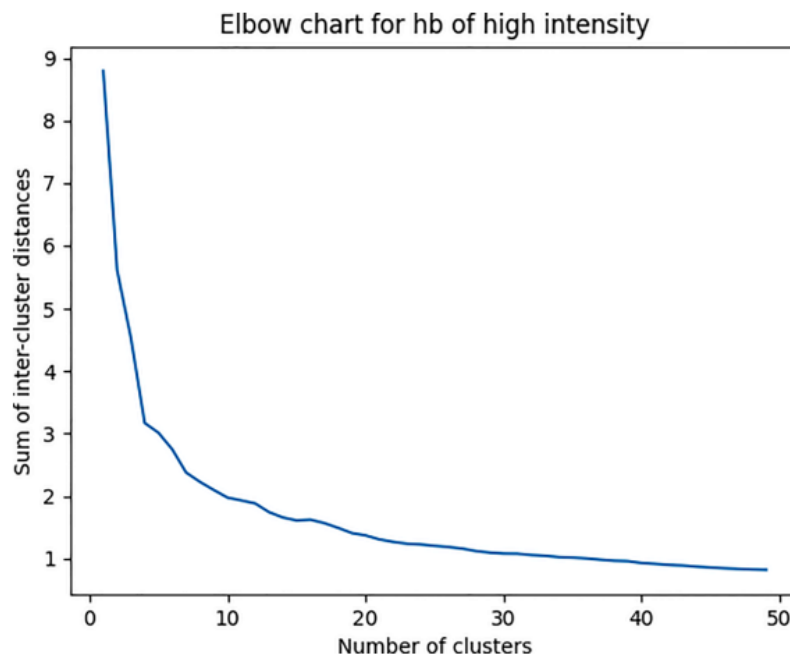
## 1.2 Modos de Conducción

Los modos de conducción se han estudiado en el pasado con el fin de reconocer el estilo de conducción, puede ser un estilo de conducción agresivo, normal, defensivo, leve o suave, utilizando técnicas de clasificación o agrupamiento basadas en máquinas vectoriales o mediante soporte de redes neuronales.

Los modos de conducción son configuraciones específicas que ajustan diferentes características del vehículo para adaptarse a diversas condiciones de manejo o preferencias del conductor. Estos modos pueden variar según el fabricante y el modelo del automóvil.

La Figura 14 se muestra un diagrama de codos de patrones para un modo de conducción agresiva con frenadas bruscas.

**Figura 14.** Modo de conducción que utiliza frenadas bruscas



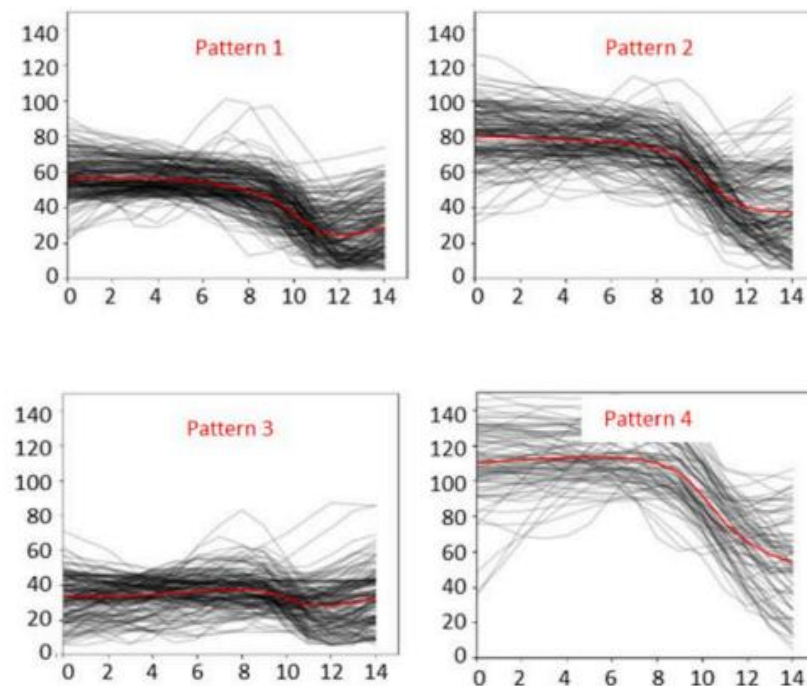
**Fuente:**(Tselentis & Papadimitriou, 2023)

### 1.2.1. Patrones de velocidad

El estilo de conducción presenta un relevante impacto en las emisiones y gasto de combustible de un vehículo, y se ve afectado por factores como el modelo de vehículo, el motor y el tipo de combustible. Aunque los patrones de conducción normalmente se definen como el rasgo de velocidad de un vehículo, el concepto puede cubrir otros aspectos del comportamiento de conducción, como los cambios de marcha. Vale la pena señalar que el modo de conducción no implica la planificación de viaje, la selección de modalidad de gira o la selección de trayecto. Estos aspectos son fundamentales para comprender las emisiones y el consumo de combustible y se deben incluir en cualquier análisis integral de impacto en el medio ambiente (Ericsson, 2001).

En esta sección se presenta resultados de los patrones de velocidad antes y después de eventos de conducción de alta intensidad. En la Figura 15 representa los resultados de 4 patrones de velocidad diferentes identificados durante eventos de frenado brusco.

**Figura 15.** Patrones de velocidades



**Fuente:**(Tselentis & Papadimitriou, 2023)

**Tabla 1.** Presenta los 4 patrones de velocidad

<b>Patrón ID</b>	<b>Forma del patrón</b>	<b>Velocidad inicial del patrón</b>
<b>1</b>	Forma no convexa	Medio
<b>2</b>	Forma de U	Alto
<b>3</b>	Forma Plana	Bajo
<b>4</b>	Forma de U	Alto

**Fuente:** (Tselentis & Papadimitriou, 2023)

En la Tabla 1 presenta los 4 patrones de velocidad, el trazo de la curva del patrón durante eventos de conducción intensos con eventos de frenado bruscos.

### **1.3. Potencia específica del motor VSP**

Desde su introducción en 1999, la potencia específica del vehículo (VSP) se ha convertido en un método crucial para identificar la actividad del vehículo y se ha utilizado ampliamente en la modelación de emisiones del tráfico en carretera (Wang et al., 2023).

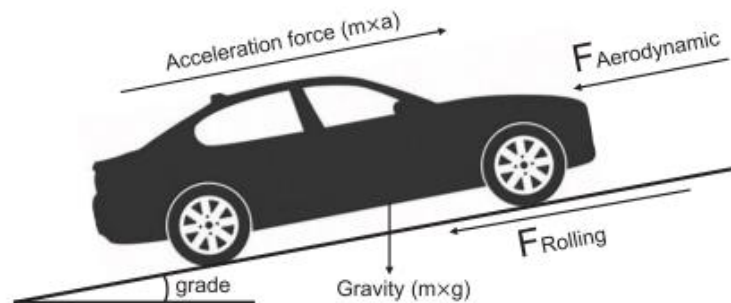
La VSP convencional se calcula a partir de las Variables Observables Externamente (EOV) a nivel del vehículo. y representa la potencia que un vehículo en marcha necesita superar. Sin embargo, en los vehículos híbridos - eléctricos (HEV) con dos fuentes de energía, la actividad del vehículo no siempre está directamente relacionada con las emisiones del motor. Este estudio de (Wang et al., 2023). Presenta el nivel del motor VSP que estima la potencia del motor a partir de variables observables internamente (IOV) obtenidas de la unidad de control electrónico (Wang et al., 2023).

La potencia específica del motor se determina como la relación que tiene la potencia producida y el consumo de combustible de un motor, expresándose mediante la siguiente ecuación. 1.1

$$VSP = V(1.1a + 9.81 \cdot \text{pendiente} + g \cdot C_r) + \frac{1}{2} \frac{\rho_a C_D A}{m} v^3 \quad (\text{ecuación 1.1})$$

Donde  $v$  representa la velocidad del auto,  $a$  la aceleración,  $\epsilon_i$  es el coeficiente de masa rotacional, *pendiente* es el porcentaje de la pendiente de la carretera,  $g$  es la gravedad,  $C_D$  es el coeficiente de resistencia,  $A$  es el área frontal del vehículo,  $\rho_a$  es la densidad del aire y  $m$  es la masa del vehículo (Campoverde, 2023).

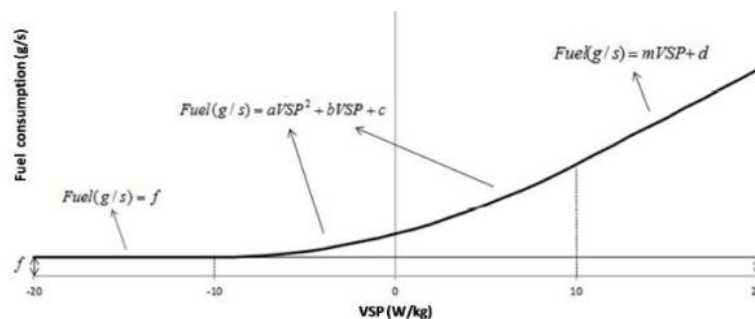
**Figura 16.** Parámetros para el cálculo de las VSP



**Fuente:**(Wang et al., 2023)

Una vez identificados los VSP generados, es posible clasificarlos en categorías específicas. Luego, se procede a filtrar los datos y, mediante la medición de consumo de combustible gracias a un PEMS, se determinan las seis incógnitas que corresponden a cada segmento de consumo del vehículo, como se observa en la Figura 17 (Olalla & Parra, 2023).

**Figura 17.** Correlación mostrada entre VSP y consumo de combustible



**Fuente:**(Campoverde, 2023)

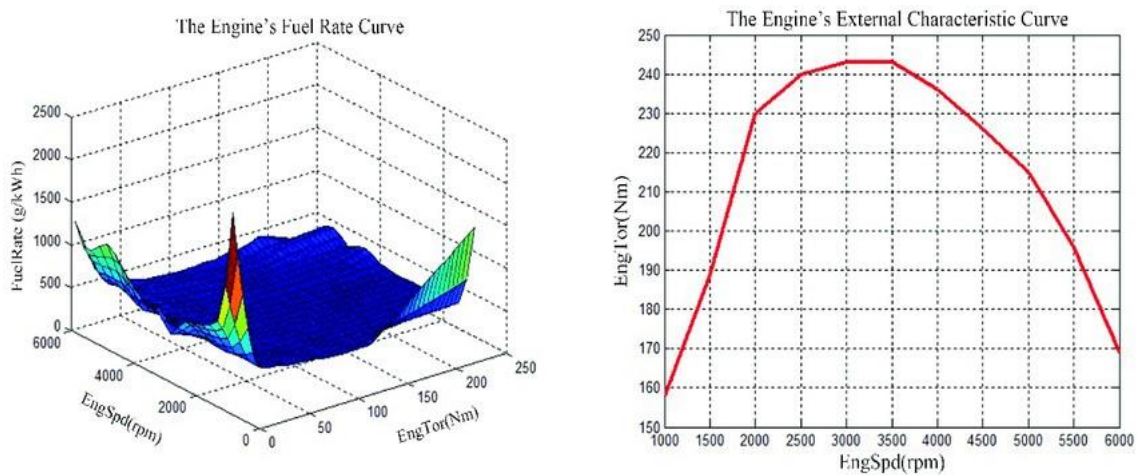
#### 1.4. Eficiencia de combustible

La eficiencia de combustible se determina como la capacidad de un vehículo para recorrer una distancia específica utilizando una cantidad determinada de combustible.

La eficiencia de combustible se refiere a la capacidad de un vehículo para aprovechar la energía del combustible que consume y convertirla en movimiento o trabajo útil, en lugar de desperdiciarla en forma de calor o emisiones innecesarias.

En otras palabras, la eficiencia de combustible mide cuánto rendimiento se obtiene por cada unidad de combustible consumido. Cuanto mayor sea la eficiencia de combustible de un vehículo, menor será su consumo de combustible y, por tanto, menor será su influencia en el medio ambiente y para los costos operativos para el propietario. En la Figura 18. se visualiza la curva de tasa de consumo de combustible del motor y curva característica externa.

**Figura 18.** Consumo de combustible del motor



**Fuente:**(Jingxian Hao., 2016)

La eficiencia del combustible se mide comúnmente utilizando varias unidades métricas, a continuación, se presentan las unidades de medida más frecuentes. En la Tabla 2 se indica cuáles son estas unidades de medida.



**Tabla 2.** Unidades de medida del consumo de combustible

<b>Unidades de medida</b>	
<b>Kilómetros por litro</b>	Km/l
<b>Millas por galón</b>	mpg
<b>Litros por 100 kilómetros</b>	l/100km
<b>Galones por 100 millas</b>	Gal/100mil
<b>Metros cúbicos por 100 kilómetros</b>	$m^3/100km$
<b>Kilovatios-Hora por 100 kilómetros</b>	kWh/100km

**Fuente:** Autores

La eficiencia de combustible se muestra comúnmente en términos de "millas por galón" (MPG) en los Estados Unidos o "kilómetros por litro" (KPL) en muchos otros países. Por ejemplo, si un vehículo rinde 30 MPG, significa que puede recorrer 30 millas con un galón de combustible.

#### **1.4.1 Aspectos técnicos para un mayor ahorro de combustible.**

Para mejorar el rendimiento de nuestro vehículo y minorar el consumo de combustible tenemos varios consejos para una conducción más eficiente desde mínimas cosas como pueden ser el uso de las ventanas hasta la presión de los neumáticos.

##### **1.4.1.1 Vigilar la presión de los neumáticos**

Este es un aspecto importante de un vehículo sin embargo las personas no toman mucho en cuenta este factor que puede alterar nuestro consumo de combustible.

#### **1.4.1.2 Evitar acelerones y frenazos**

Las aceleraciones súbitas representan una carga adicional para el motor, lo que repercute en un mayor consumo de combustible, ya sea en un vehículo totalmente eléctrico, híbrido o de combustión interna. La práctica más recomendable es adoptar un estilo de conducción suave y anticiparse a posibles paradas, ya sea en semáforos o en situaciones de tráfico lento. Este enfoque puede generar un ahorro de hasta el 20 % sobre el consumo de combustible, dependiendo del modelo del auto (Motorpasion, 2021).

#### **1.4.1.3 Usar correctamente el aire acondicionado**

El aire acondicionado no es un sistema esencial para la operación del vehículo, es uno de los consumidores de energía más significativos, ya que depende del funcionamiento del motor. Durante el verano, es probable que lo utilicemos con frecuencia. Es esencial evitar configurar la temperatura demasiado baja, ya que cuanto más se requiera enfriar el habitáculo, mayor será el consumo de energía y combustible. Lo recomendable, siempre que sea posible, es establecer la temperatura del aire acondicionado solo 5°C por debajo de la temperatura exterior. Además, mantener una diferencia de más de 10°C podría ocasionar un choque térmico, que podría resultar en problemas como infecciones respiratorias.(Motorpasion, 2021).

#### **1.4.1.4 Uso de las ventanas**

En carreteras o autopistas, no es aconsejable tener las ventanillas abiertas ni el techo solar desplegado. Cuando se dejan abiertas las ventanillas y/o el techo solar, el aire penetra en el vehículo, lo que requiere un mayor esfuerzo y, por consiguiente, más combustible para superar la resistencia del aire y alcanzar la velocidad deseada (Motorpasion, 2021).

#### **1.4.1.5 Mantener la velocidad uniforme**

En ausencia de control de crucero, es fundamental mantener una velocidad constante en carretera. Para lograrlo, es recomendable encontrar un flujo de tráfico constante y evitar frenar, acelerar o cambiar de marcha innecesariamente. Anticipar nuestras acciones es clave;

por ejemplo, al aproximarnos a un peaje, podemos levantar el pie del acelerador con suficiente antelación antes de utilizar el freno, siempre que la situación lo permita, permitiendo que el freno motor sea el primero en entrar en acción. En caso de necesitar frenar, es aconsejable hacerlo de forma gradual y reducir de marcha lo más tarde posible, prestando especial atención en las pendientes (Motorpasion, 2021).

#### **1.4.2. Conducción ecológica**

La conducción eficiente, también conocida como conducción ecológica, implica operar el vehículo en los rangos óptimos de revoluciones. El modo en que el conductor influye en la demanda del motor y su comportamiento juegan un papel crucial en la eficiencia del combustible. Esta práctica, orientada a reducir el consumo de combustible y las emisiones ambientales, además contribuye positivamente a la seguridad durante la conducción (CEPAL, 2010).

La conducción ecológica no sólo protege al medio ambiente con la reducción de la contaminación del aire y los gases de efecto invernadero, sino que también ahorra importantes cantidades de combustible. Además, estas prácticas a menudo cumplen con regulaciones y estándares ambientales que promueven un transporte más sostenible (Roa et al., n.d.).

La conducción ecológica comprende un conjunto de técnicas de conducción diseñadas para reducir el consumo de combustible de los vehículos a motor y limitar las emisiones de gases contaminantes. El término conducción ecológica es sinónimo de conducción eficiente, que se centra en mejorar la eficiencia del combustible y reducir el impacto medioambiental asociado a la conducción.

#### **1.4.3. Principales factores de una conducción ecológica**

La conducción ecológica, conocida como eco-conducción, se refiere a prácticas de manejo de vehículos que buscan minimizar el impacto ambiental y optimizar el rendimiento del combustible. A continuación, presento algunos de los principales factores de una conducción ecológica.

#### **1.4.3.1. La velocidad constante y moderada**

Mantener una velocidad constante y moderada contribuye a maximizar la eficiencia del vehículo al consumir combustible. La evitación de aceleraciones y frenadas abruptas disminuye la carga sobre el motor, mejorando así la eficiencia en el uso del combustible.

#### **1.4.3.2. Mantenimiento del vehículo**

Un automóvil en condiciones mecánicas óptimas reduce su consumo de combustible y emisiones contaminantes. Es crucial llevar a cabo un mantenimiento periódico, que incluya cambios de aceite, ajuste de neumáticos y revisión de filtros, para practicar una conducción ecológica.

#### **1.4.3.3. Apagar el motor en paradas**

Cuando se espera en un lugar por un tiempo prolongado, como en semáforos largos o en estacionamientos, Apagar el motor puede ahorrar combustible y reducir las emisiones innecesarias.

#### **1.4.3.4. Planificación de rutas**

La planificación previa de rutas y la evitación de congestiones pueden reducir el tiempo de conducción por la ruta seleccionada, por ende, el consumo de combustible. También se puede optar por rutas más eficientes y menos transitadas.

#### **1.4.3.5. Uso de tecnologías eco-amigables**

Algunos vehículos están equipados con tecnologías eco-amigables, como sistemas de propulsión híbrida o eléctrica. Optar por vehículos con tecnologías más limpias puede ser una elección importante para una conducción ecológica.

## **CAPÍTULO 2**

### **ESTUDIO EXPLORATORIO DE DATOS**

En este capítulo se realizó un estudio exploratorio de los datos del proyecto, el cual se basa en una metodología experimental, al realizarse ensayos de ruta en las cuales el vehículo de prueba (categoría M1) es sometido a diferentes condiciones de manejo (velocidad, aceleración, carga, etc.) en una ruta específica.

#### **2.1. Adquisición de datos**

La investigación se desarrolló basándose en una metodología experimental; a partir de ensayos de prueba, el vehículo es sometido a una conducción bajo determinadas condiciones de velocidad y carga en una ruta específica, mientras se graban los datos del ensayo utilizando un data logger y una interfaz (Freematics ONE+) que es un recopilador, registrador y transmisor de datos telemáticos de vehículos (información de sensores y actuadores del motor). En la Figura 19 se observa la conexión de la interfaz al puerto OBD II del vehículo.

La interfaz permite la grabación los datos de los parámetros del motor en vivo a través del puerto OBD II del vehículo, tales como: régimen de giro del motor (RPM), temperatura del aire de entrada (IAT), posición del acelerador (TPS), velocidad (VSS), presión absoluta del

colector (MAP), y demás datos que nos servirán para realizar cálculos y estimaciones del consumo de combustible. En la Figura 19 se indica el interfaz OBD que se utilizó durante las pruebas realizadas en las rutas de la ciudad de Quito.

**Figura 19.** Interfaz OBD II conectada



**Fuente:**(Issa et al., 2023)

### 2.1.1 Equipos

Los equipos que se utilizaron para registrar los datos de los parámetros del motor en los ensayos de prueba para el desarrollo de la presente investigación se detallan en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Equipos utilizados

<b>Equipos</b>	<b>Denominación</b>
<b>Scanner Freematics ONE+</b>	Interfaz de comunicación OBD II
<b>Aplicación MATLAB</b>	Post procesador de datos OBD II

**Fuente:** Autores

#### 2.1.1.1 Freematics ONE+

Es una potente plataforma de prototipado de telemetría de vehículos programable Arduino en forma de escáner OBD (On-Board Diagnostics) se conecta al adaptador OBD del vehículo y opera como un equipo electrónico inteligente no dependiente que se comunica con la ECU del vehículo y permite obtener parámetros del motor como se observa en la Figura 20. Los

datos registrados pueden ser procesados en tiempo real con su CPU, pueden ser almacenados en una tarjeta microSD y transmitirse mediante BLE, WiFi o red. El dispositivo integra sensores de movimiento y puede ampliarse con receptores GNSS-GPS o sensores externos para guardar datos de latitud, longitud y altura del trayecto por el cual circula el vehículo y posteriormente en el procesamiento de datos poder graficar la ruta recorrida.

**Figura 20.** Scanner Freematics ONE+



**Fuente:** (Issa et al., 2023)

### 2.1.1.2 Post procesamiento de la información

Se realiza a través de un entorno de programación y cálculo numérico empleado en ingeniería y ciencia con el propósito de analizar datos, diseñar algoritmos y construir modelos. Ofrece recursos para procesar señales, gráficos, sistemas de automatización, comunicaciones telemáticas, finanzas de computación, robótica, entre otros campos.

### 2.1.2 Vehículo de prueba

Para realizar los ensayos de pruebas en carretera se utilizó un automóvil tipo sedán marca Hyundai modelo New Elantra año 2012, con un motor de 1800 cc a gasolina atmosférico y una transmisión de 6 velocidades, en la Tabla 4 se presentan sus características técnicas.

**Tabla 4.** Características Técnicas del vehículo de prueba

Descripción	Valor
Tipo motor	4 cilindros D-VVT
Cilindrada	1800 cc

<b>Potencia</b>	150 HP/ 6500 RPM
<b>Torque</b>	18.2 kg.m / 4700 RPM
<b>Combustible</b>	Gasolina

**Fuente:** Autores

**Figura 21.** Vehículo de prueba



**Fuente:** Autores

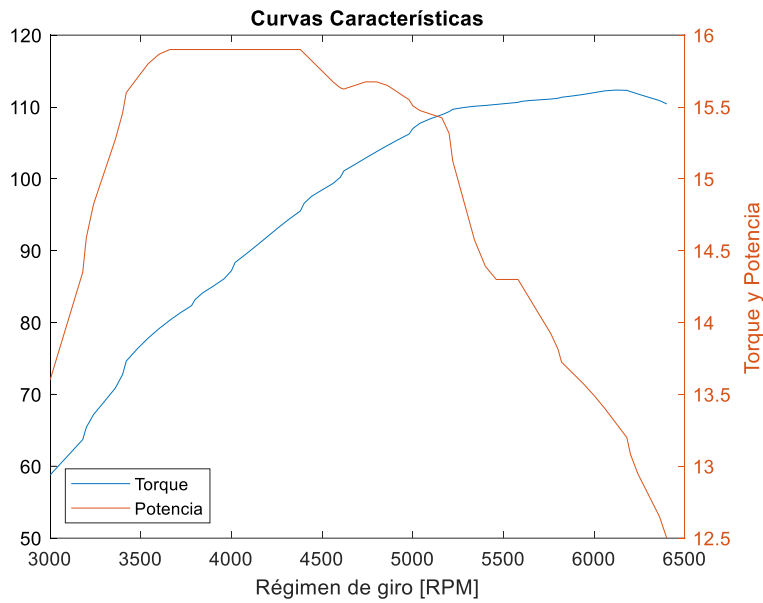
### 2.1.3 Curvas características

En común, las curvas características ilustran parámetros relevantes del motor (rendimiento, emisiones o indicadores de funcionamiento) en relación con sus condiciones de operación. Los parámetros más destacados en un motor, como el par motor, la potencia y el consumo específico de combustible, suelen representarse en estas curvas. No obstante, dependiendo del dinamómetro, es posible encontrar curvas características que muestren parámetros específicos de mayor interés para el estudio (Payri González & Desantes Fernández, 2011).

En la Figura 22 se observan las curvas características del motor del vehículo de prueba, mismas que fueron obtenidas al rodar el vehículo a plena carga sobre los rodillos de un banco dinamométrico, el cual entrega mediante una gráfica los valores de torque y potencia del motor.

**Figura 22.** Curvas características del motor



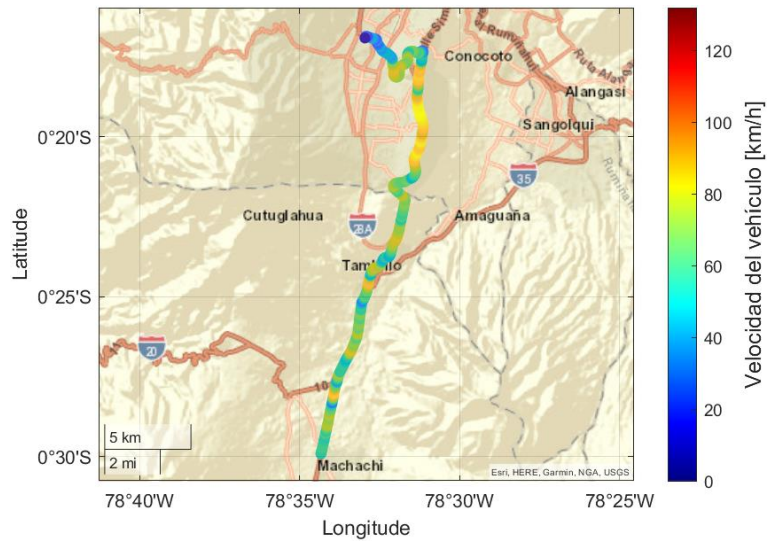


**Fuente:** Autores

#### 2.1.4 Ruta de prueba

La ruta establecida para la experimentación interviene en los cantones Mejía y Quito, el trayecto es planificado iniciando en la Universidad Politécnica Salesiana campus sur, circulando por toda la Av. Moran Valverde hasta la Av. Simón Bolívar y esta hasta la Panamericana Sur E-35 hasta llegar a Machachi, con una distancia de prueba recorrida de 30 km aproximadamente, cumpliendo así el recorrido por zonas urbanas, interurbanas y de autopista, tratando de ajustar el ensayo a un ciclo de emisiones reales RDE (Real Driving Emissions). En la Figura 23 se puede observar la ruta recorrida por el vehículo de prueba, apreciándose también una escala de velocidad: colores de tono azul velocidades inferiores a 60 km/h, colores verde-amarillo-naranja velocidades entre 60 - 100 km/h y colores de tono rojo velocidades superiores a 100 km/h.

**Figura 23.** Ruta de prueba recorrida



**Fuente:** Autores

### 2.1.5 Cálculo del consumo de combustible

Se puede estimar el consumo de combustible aplicando la ecuación de la ley de los gases ideales (ecuación 2.1), mediante los datos registrados por los sensores del motor y guardados en el data logger.

$$PV = mRT \quad (\text{ecuación 2.1})$$

Donde  $P$ , representa la presión absoluta del colector de admisión obtenida por el sensor MAP,  $V$  el volumen del cilindro  $m^3$ ,  $m$  la masa del aire,  $R$  la constante de los gases ideales,  $T$  la temperatura del aire de entrada obtenida por el sensor IAT.

Al despejar la masa del aire en la ecuación 2.2 se obtiene,

$$m_{\text{aire}} = \frac{PV}{RT} \quad (\text{ecuación 2.2})$$

Para calcular el flujo másico de aire que ingresa al motor aplicamos la ecuación 2.3,

$$flujo_{m\acute{a}sico} = m_{aire} \frac{RPM}{2(60)} \quad (\text{ecuaci3n 2.3})$$

Y, el flujo de combustible se calcula a partir del flujo de masa de aire, dividiendo para la mezcla estequiom3trica (por lo general 14.7:1) y la densidad del combustible, en este caso gasolina de 737 g/L, como se muestra en la ecuaci3n, (Molina Campoverde, 2023)

$$flujo_{combustible} = \frac{flujo_{m\acute{a}sico}}{AFR \cdot \rho_{combustible}} \quad (\text{ecuaci3n 2.4})$$

## 2.2 Post procesamiento de la informaci3n

Una vez realizados los ensayos experimentales y con la informaci3n recopilada se post procesan los datos con ayuda de Matlab, que, como se mencion3 es una plataforma que permite desarrollar programas y realizar c3lculos num3ricos; que sirve para realizar an3lisis de datos, desarrollo de algoritmos y creaci3n de modelos. Debido a que el data logger guarda el registro de datos en un archivo de texto, se necesita desarrollar un algoritmo post-procesador de los datos obtenidos por el Freematics ONE+, para poder visualizar los datos y disponer de los mismos para realizar c3lculos, an3lisis y gr3ficas.

Las variables utilizadas para el estudio se muestran en la Tabla 5, junto a su respectivo sensor de medici3n y la unidad en la cual se registraron los datos.

**Tabla 5.** Variables registradas

<b>Variable</b>	<b>Sensor</b>	<b>Unidad</b>
<b>R3gimen de giro</b>	RPM	rpm

<b>Velocidad del vehículo</b>	VSS	m/s
<b>Posición del acelerador</b>	TPS	%
<b>Presión del colector de admisión</b>	MAP	Pa
<b>Temperatura del aire de admisión</b>	IAT	°C
<b>Temperatura del refrigerante</b>	ECT	°C
<b>Sensor de oxígeno</b>	O <sub>2</sub>	λ

**Fuente:** Autores

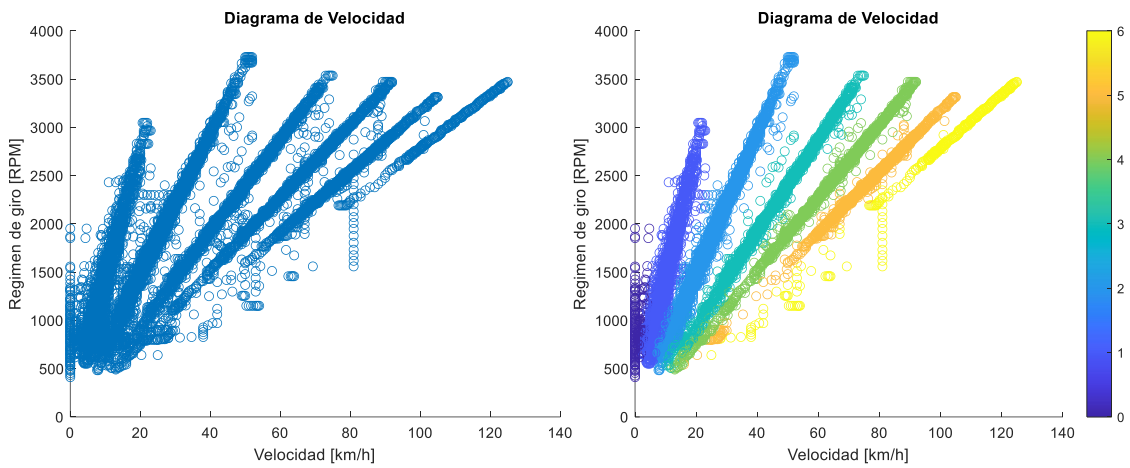
### 2.2.1 Escalones de velocidad

Aplicando la ecuación 2.5, que relaciona la velocidad del vehículo obtenida por el sensor VSS y el régimen de giro del motor RPM, se puede identificar cada escalón de velocidad y representar los diferentes pasos de velocidad para cada marcha del vehículo (primera a sexta) (Néstor Diego et al., 2021).

$$r = \frac{VSS}{RPM} \quad (\text{ecuación 2.5})$$

En la Figura 24 se observa el diagrama de velocidad real de la prueba experimental y el diagrama de velocidad clasificado por el algoritmo k-means, identificando los cambios de marcha realizados en la prueba de ruta. (Néstor Diego et al., 2021)

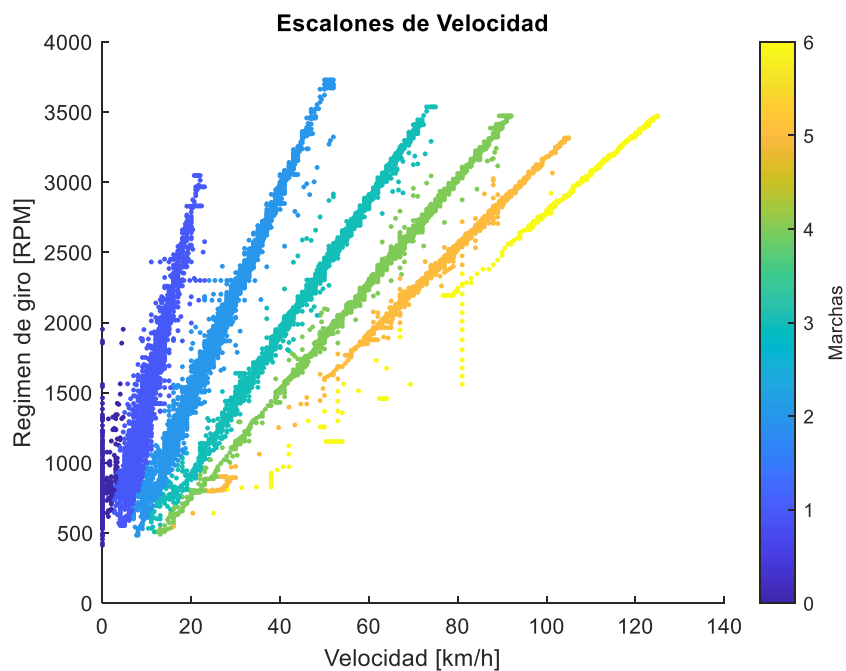
**Figura 24.** Diagrama de velocidad



**Fuente:** Autores

En MATLAB, mediante la aplicación del comando k-means, el cual es un algoritmo de aprendizaje automático, que lleva a cabo el agrupamiento de medidas para dividir la matriz de datos en grupos o categorías, las marchas del vehículo se muestran en un grupo de datos específicos como se observa en la Figura 25, donde cada color representa una velocidad en específico (6 marchas) e incluimos el cambio neutral. El algoritmo puede clasificar por color cada una de las velocidades del vehículo. (Rivera-Campoverde et al., 2021).

**Figura 25.** Escalones de velocidad

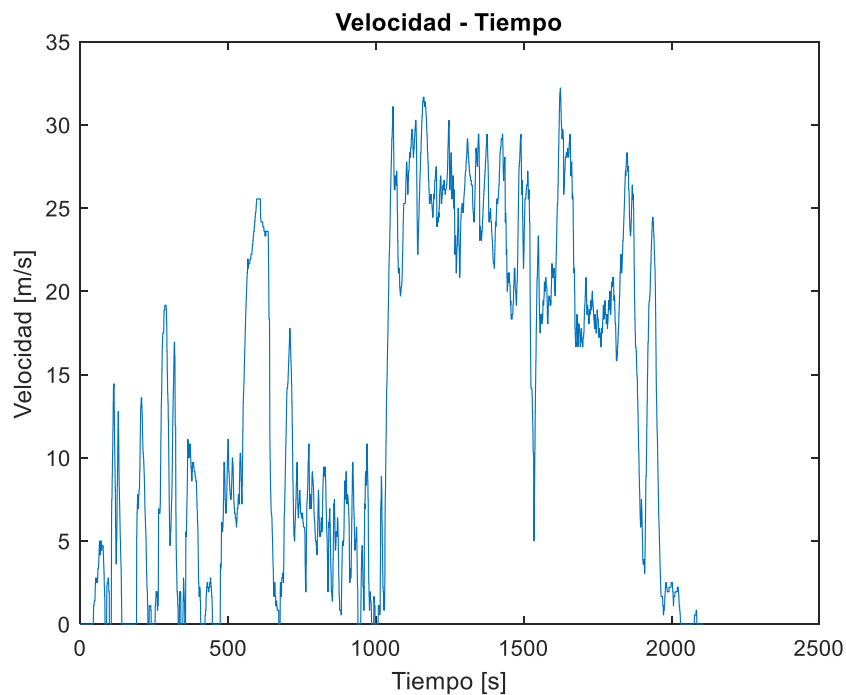


**Fuente:** Autores

### 2.2.2 Diagramas

Después de llevar a cabo los ensayos de prueba y realizar los cálculos para la ruta definida, es esencial estimar la distancia recorrida. Este proceso implica la creación de un diagrama de Velocidad - Tiempo. La Figura 26 representa la distribución de la velocidad (en m/s) en función del tiempo (en segundos), facilitando así la comparación y compatibilidad de las unidades.

**Figura 26.** Diagrama Velocidad - Tiempo



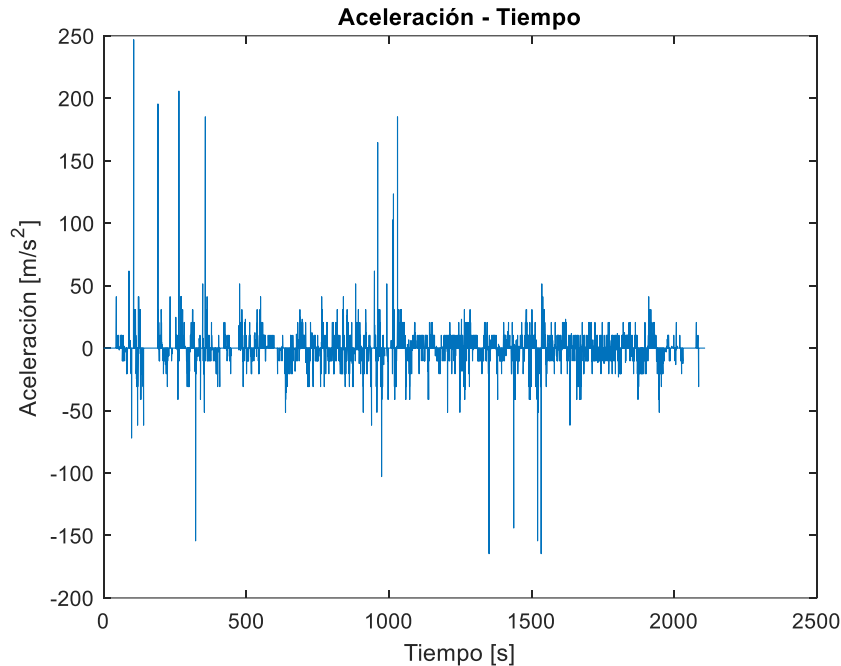
**Fuente:** Autores

Como se define según la Ecuación 2.6 la aceleración se representa según la variación entre la velocidad ( $v$ ) respecto al tiempo ( $t$ ), por lo que, para calcular esta magnitud se necesita derivar a la función de la velocidad. Para lo cual se aplica la derivada al diagrama Velocidad – Tiempo y se obtiene el diagrama de Aceleración – Tiempo.

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (\text{ecuación 2.6})$$

Mediante la aplicación del comando diff, se calculan las diferencias entre los elementos contiguos de X en la primera extensión de arreglo cuyo valor no es igual a la unidad. En la Figura 27 se observa el cálculo de la aceleración (en  $m/s^2$ ) con respecto al tiempo (en segundos) del recorrido.

**Figura 27.** Diagrama Aceleración - Tiempo



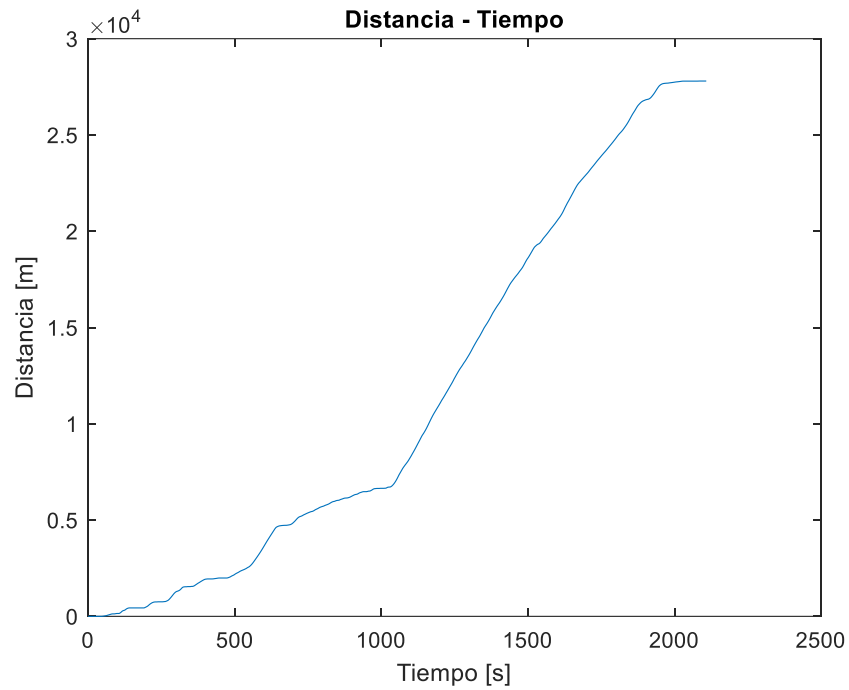
**Fuente:** Autores

Según el Teorema Fundamental del Cálculo, la integral es el proceso inverso de la derivada, y, por definición se conoce que ésta representa el área bajo la curva de cualquier función, aplicando este concepto al diagrama Velocidad – Tiempo se define la función con la cual se calcula la distancia acumulada mediante integración numérica.

$$x(t) = \int v(t) \cdot dt \quad (\text{ecuación 2.7})$$

Mediante la aplicación del comando cumtrapz, se calcula el valor aproximado de la integral acumulativa a través del método trapezoidal con espaciado de unidades igual a la longitud del muestreo. En la Figura 28 se observa el cálculo de la distancia acumulada (en metros) con respecto al tiempo (en segundos) del recorrido.

**Figura 28.** Cálculo de la distancia

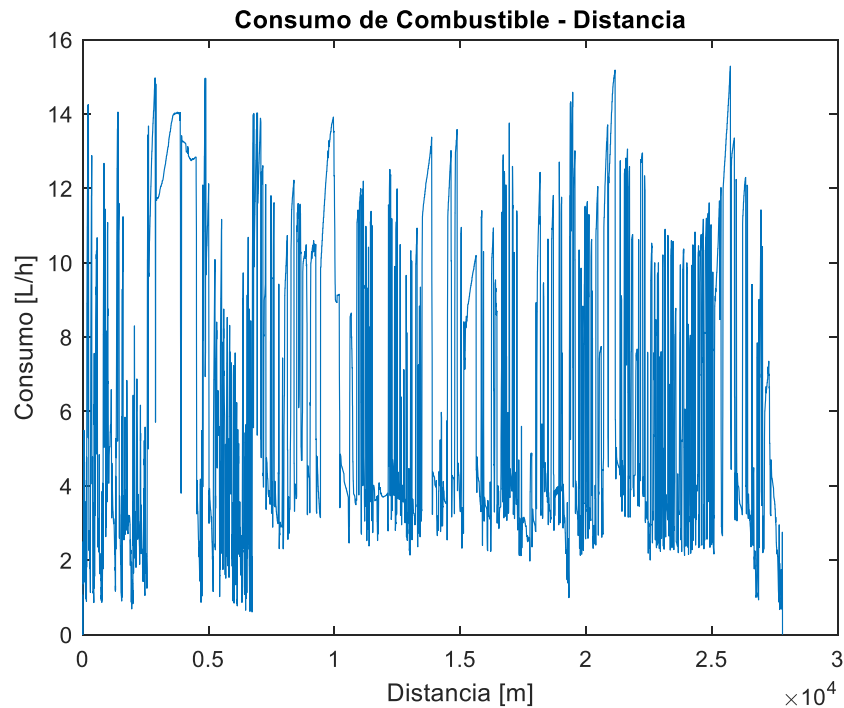


**Fuente:** Autores

Una vez que se obtuvieron los datos de la distancia acumulada, se calcula el consumo de combustible para relacionarlo con respecto al recorrido de la prueba, para lo cual se basa en la ecuación de los gases ideales y la estimación de flujo de masa de aire (ecuaciones 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4). En la Figura 29 se muestra el consumo de combustible en litros por hora con respecto a la distancia recorrida en metros de la prueba de ruta.



**Figura 29.** Consumo de combustible de la prueba



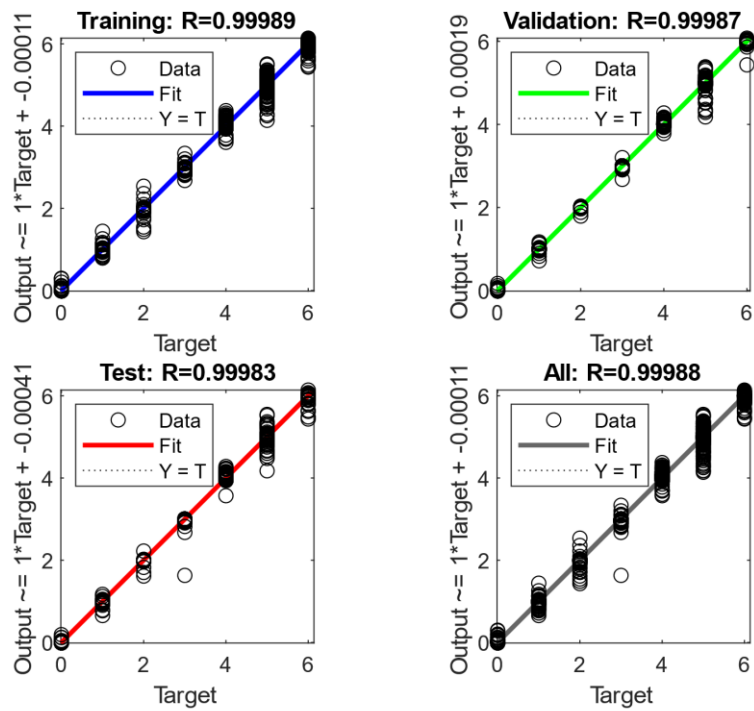
**Fuente:** Autores

### 2.2.3 Algoritmo propuesto

El estudio planteado tiene como finalidad desarrollar un algoritmo de red neuronal, que a partir de la relación de velocidad del vehículo VSS y el régimen de giro del motor RPM mediante la aplicación del aprendizaje automático, se pueda predecir el cambio en el cual se encuentra circulando el vehículo con un alto grado de certeza (más del 99,5% de precisión). (Rivera-Campoverde et al., 2021)

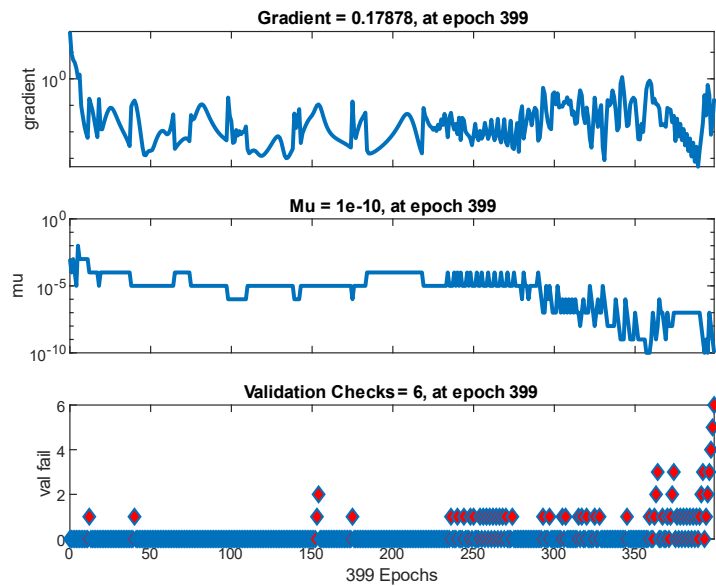
Utilizando la información de los escalones de velocidad del vehículo (Figura 30), se realiza la preparación de la red neuronal. En este proceso, se registran como datos de entrada la fracción entre la velocidad del vehículo (VSS) y el régimen de giro del motor (RPM), y se obtiene como salida la identificación de la marcha en la que el vehículo está operando.

**Figura 30.** Entrenamiento de la red



**Fuente:** Autores

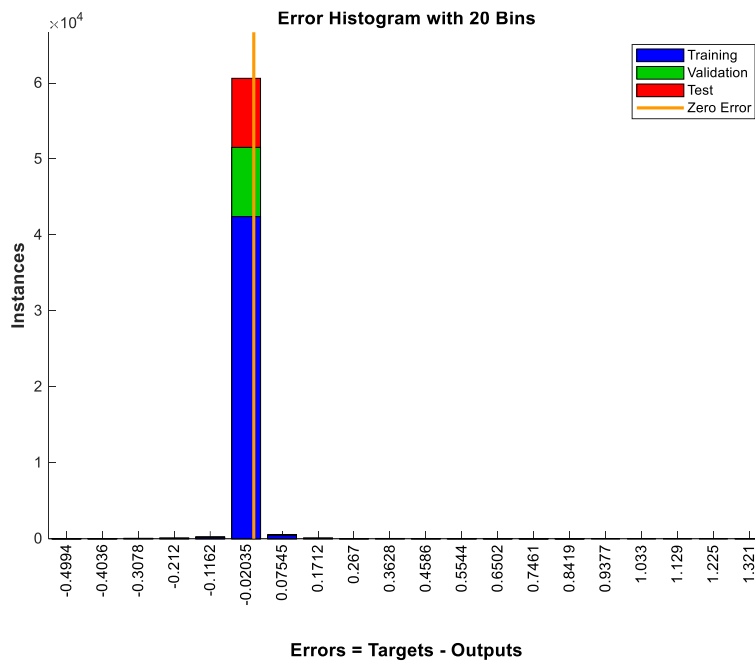
**Figura 31.** Estado de Entrenamiento



**Fuente:** Autores

En las Figuras 30 y 31 se puede apreciar el entrenamiento de la red neuronal y el estado de la misma respectivamente, se observa que el algoritmo es capaz de predecir el 99.9% de las veces de forma correcta, por lo cual presenta un alto porcentaje de certeza, sin embargo, presenta un alto porcentaje de precisión debido a que en este caso específico se particulariza solo para el vehículo de prueba y no sería capaz de generalizarse para otros modelos de vehículos. (Molina Campoverde, 2023).

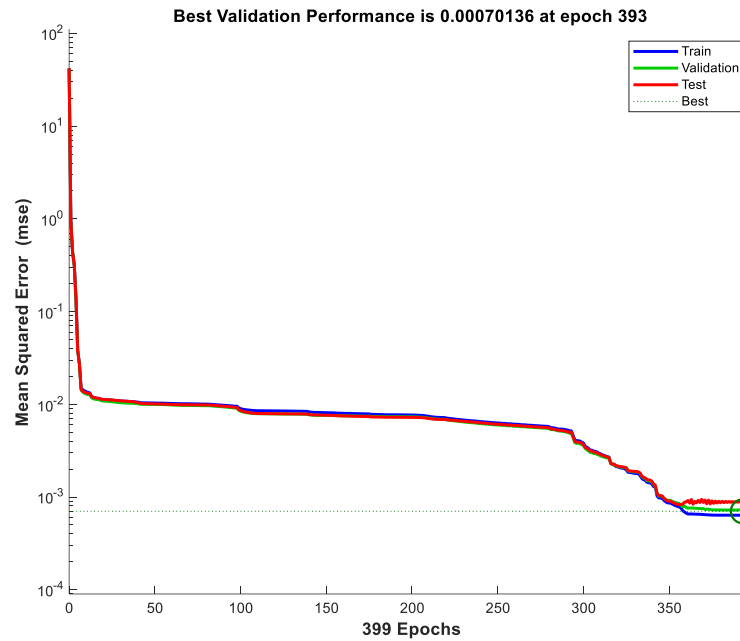
**Figura 32.** Histograma de error



**Fuente:** Autores

En la Figura 32, se evidencia que el histograma de errores indica una ausencia de variabilidad significativa en los datos. Asimismo, en la Figura 33, se aprecia que la validación se sitúa entre las fases de entrenamiento y prueba, sugiriendo que el modelo podría prever otros intervalos de funcionamiento.

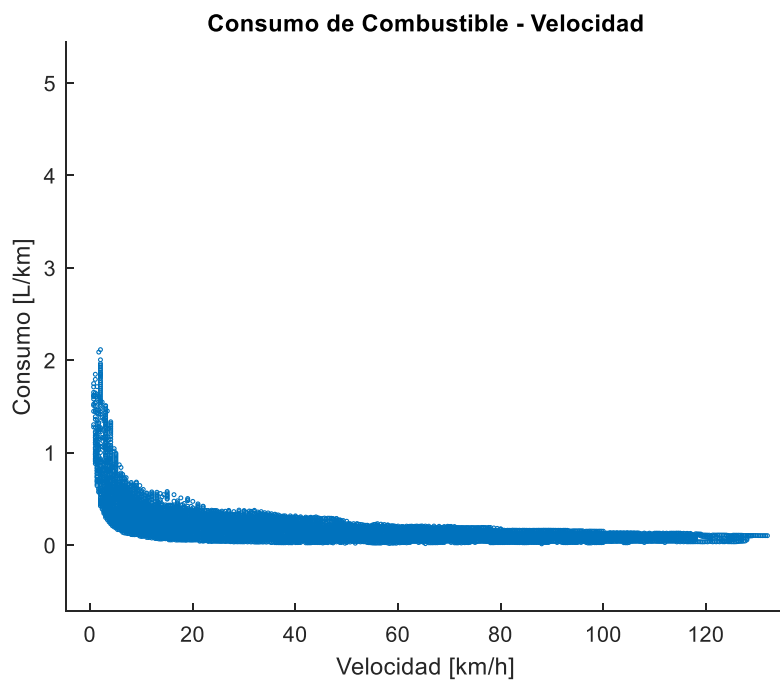
**Figura 33.** Validación de la red



**Fuente:** Autores

Finalmente, una vez desarrollado el algoritmo se pone a prueba el funcionamiento de la red, para lo cual primero se necesita graficar la curva de consumo de combustible y observar la tendencia que presenta la misma, como se observa en la Figura 34

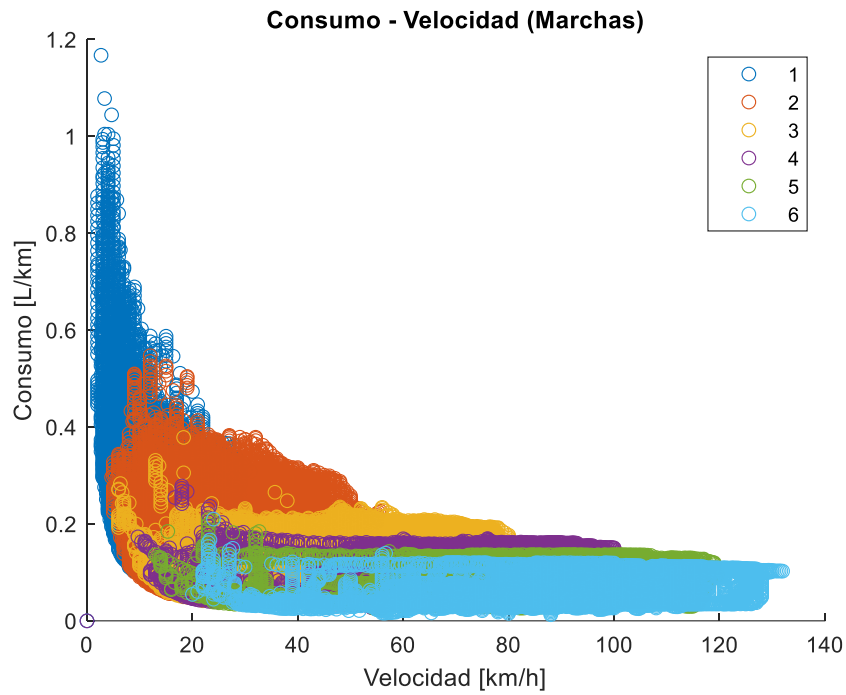
**Figura 34.** Curva de consumo de combustible



**Fuente:** Autores

Para discretizar el consumo de combustible por marchas se aplica el algoritmo desarrollado a la curva de consumo. En la Figura 35 se observa el consumo de combustible por cada marcha del vehículo, identificándose cada una con un color.

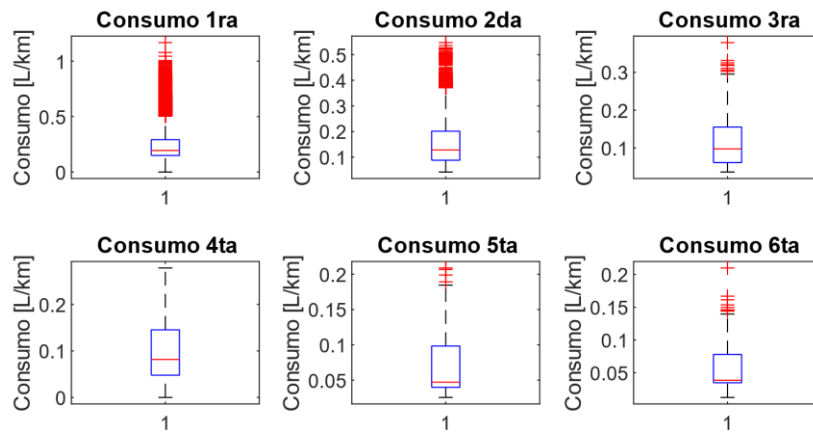
**Figura 35.** Curva de consumo por marchas



**Fuente:** Autores

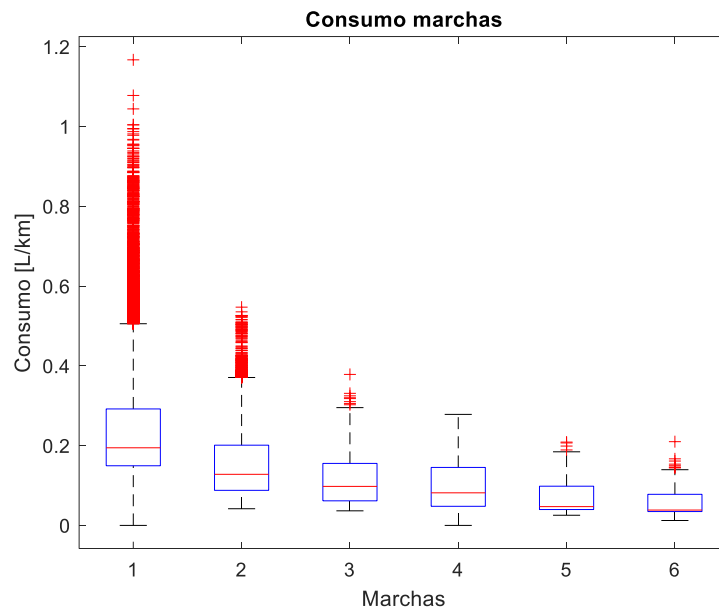
En la Figura 36 se observa de acuerdo a un diagrama de caja, la difusión de los datos de consumo de combustible de cada marcha, y la Figura 37 muestra una comparativa de la dispersión que presenta el consumo de combustible de cada marcha.

**Figura 36.** Consumo de combustible de cada marcha



**Fuente:** Autores

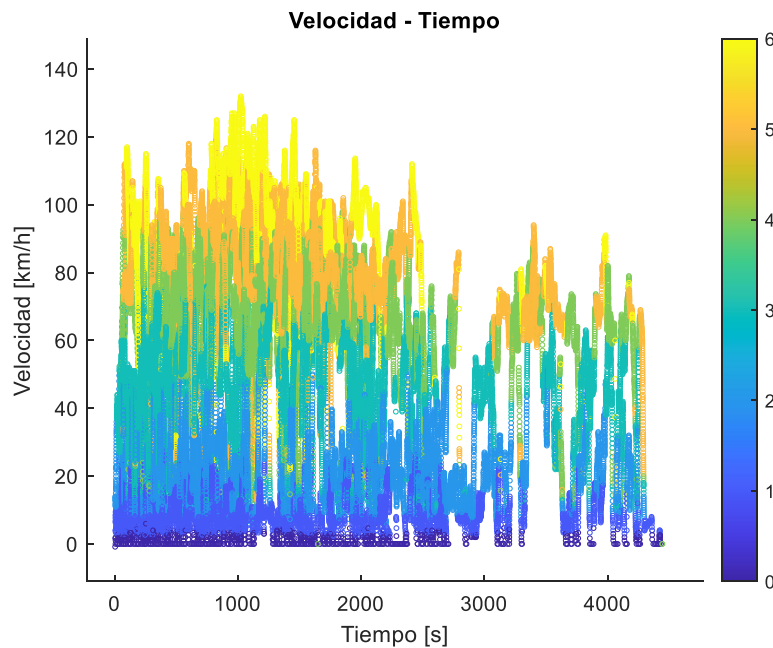
**Figura 37.** Comparativo consumo por marchas



**Fuente:** Autores

El objetivo del algoritmo es identificar cada una de las marchas en la que se encuentra circulando el vehículo, de acuerdo a la velocidad del mismo y al régimen de giro del motor, en la Figura 38 se observan los rangos de velocidad del vehículo de acuerdo a su marcha identificada con colores, y estos son los resultados que se buscan obtener.

**Figura 38.** Identificación de las marchas



**Fuente:** Autores

## **CAPÍTULO 3**

### **OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE**

#### **3.1 Parámetros de consideración en el modelo**

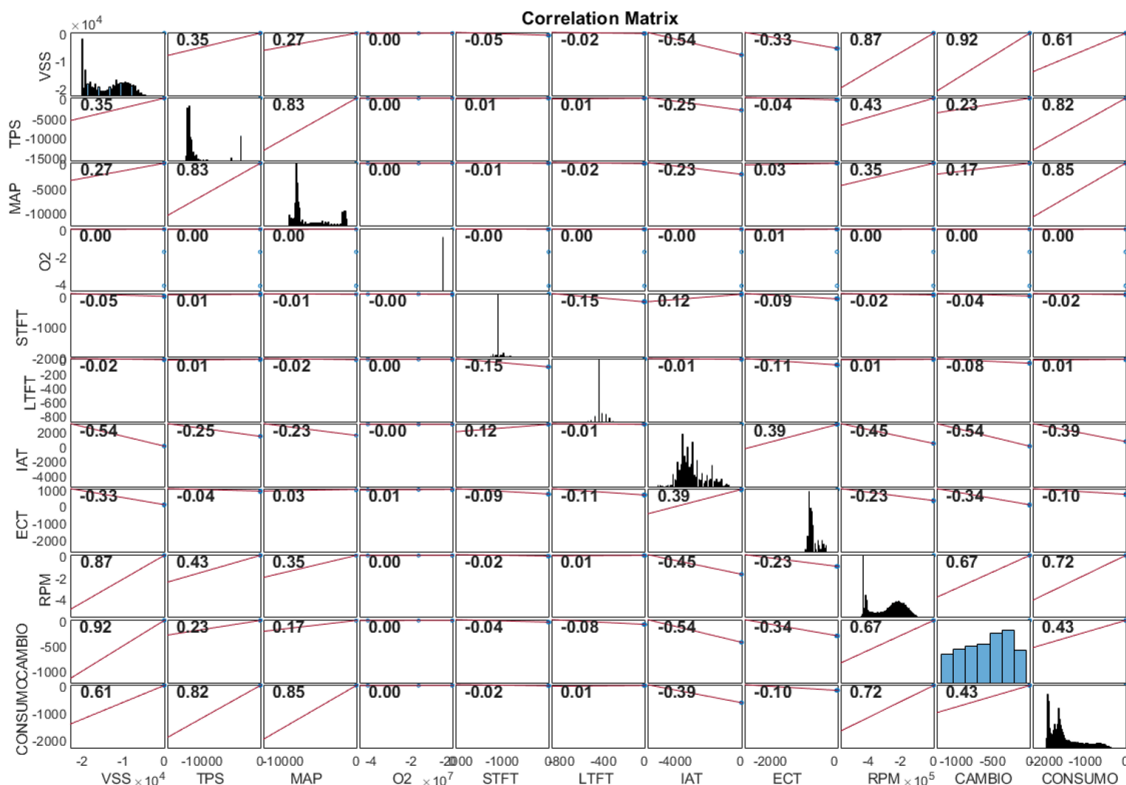
Para desarrollar el algoritmo de optimización, primero se necesita determinar las variables más relevantes en el consumo de combustible del motor, e identificar el vínculo existente entre las mismas, para lo cual se realiza una matriz de correlación que muestra la intensidad de relación entre las variables.

Como se indicó en el capítulo anterior, al realizar el post procesamiento de los datos obtenidos mediante el registrador de datos, se tienen a disposición los registros de varios sensores del motor. Entre los más cruciales se encuentran el régimen de giro del motor (RPM), la velocidad del vehículo (VSS), la presión absoluta del colector de admisión (MAP), la posición del acelerador (TPS), la temperatura del aire de admisión (IAT), la temperatura del refrigerante del motor (ECT), el ajuste de combustible a corto plazo (STFT), el ajuste de combustible a largo plazo (LTFT) y el sensor de oxígeno (O2). Dado el extenso número de variables, se busca simplificarlas sin comprometer la precisión del estudio (Olalla & Parra, 2023).

### 3.1.1 Análisis de variables

Con el propósito de desarrollar un modelo de baja complejidad, pero con alta relevancia, se procede a analizar la relación que existen entre los sensores mencionados y su influencia en el consumo de combustible del motor. En la Figura 39 se muestra la matriz de correlación de los parámetros del motor y se observa la influencia de los distintos sensores sobre el consumo de combustible.

**Figura 39.** Matriz de correlación – todos los parámetros

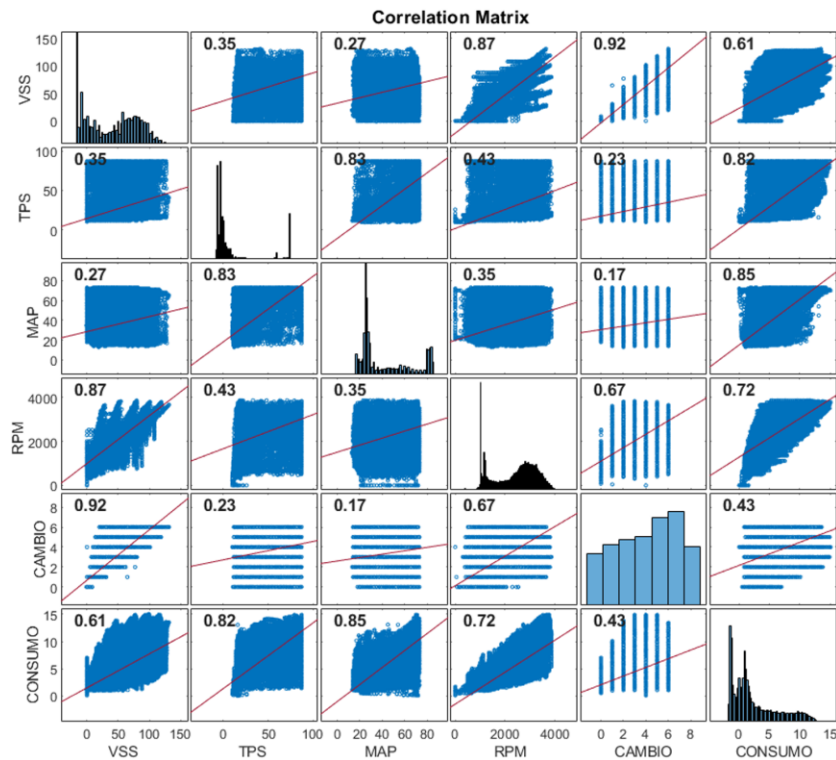


**Fuente:** Autores

Es evidente que los sensores MAP, TPS, RPM, VSS y CAMBIO de marcha muestran un impacto considerable, ya que tienen una alta proporción en relación con el consumo de combustible. Por otro lado, sensores como ECT, IAT y O2, junto con los ajustes de combustible a corto y largo plazo (STFT y LTFT), fueron descartados debido a su falta de impacto significativo en el consumo y a su baja o nula relación. La Figura 40 exhibe la matriz de correlación de las variables más relevantes en el consumo de combustible, sobre las cuales se enfoca el estudio debido a su impacto presente.



**Figura 40.** Matriz de correlación – parámetros relevantes



**Fuente:** Autores

En la Tabla 6 se muestran las variables relevantes en el consumo de combustible del motor, su respectivo sensor de medición y el porcentaje de correlación. Cabe mencionar que los datos analizados son una recopilación de los ensayos realizados en las pruebas de ruta, por lo que el impacto que muestran los parámetros del motor en esta correlación es únicamente para el vehículo de prueba estudiado y no podrían generalizarse para otros modelos.

**Tabla 6.** Variables relevantes del consumo de combustible

<b>Variable</b>	<b>Sensor</b>	<b>Correlación</b>
<b>Cambio</b>	-	43%
<b>Velocidad</b>	VSS	61%
<b>Régimen de giro</b>	RPM	72%
<b>Posición del acelerador</b>	TPS	82%
<b>Presión colector admisión</b>	MAP	85%

**Fuente:** Autores

Una vez realizada la matriz de correlación y como método de confiabilidad en el proceso, se calcula el p-value, mismo que representa la relación de fiabilidad del estudio y la importancia de los resultados (Arias & Molina, 2017). La Tabla 7 muestra el índice de correlación de cada una de las variables calculado para la matriz de correlación de las variables relevantes en el consumo de combustible.

**Tabla 7.** Índice de correlación de las variables

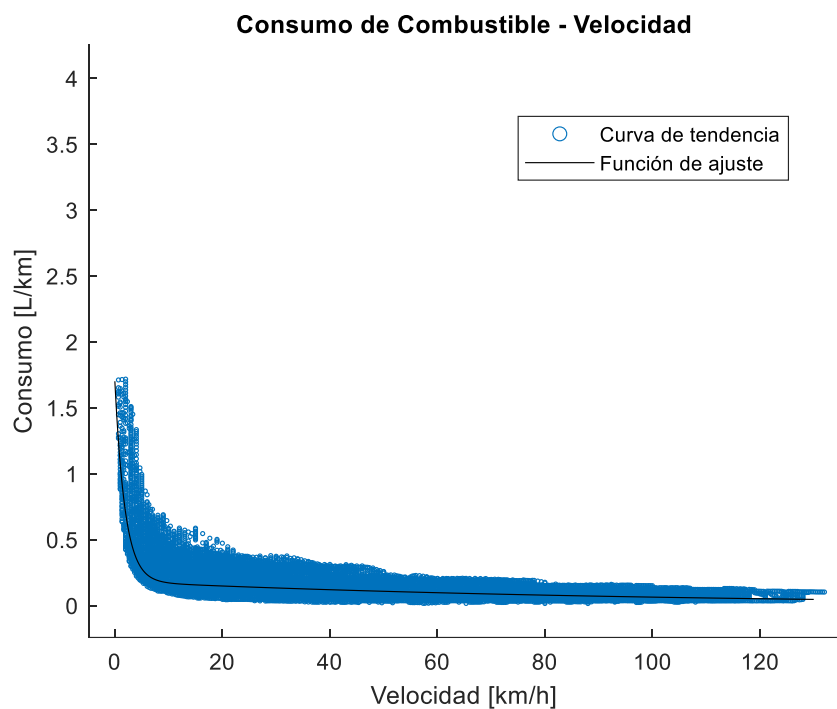
	<b>VSS</b>	<b>TPS</b>	<b>MAP</b>	<b>RPM</b>	<b>CAMBIO</b>	<b>CONSUMO</b>
<b>VSS</b>	1	0.35387	0.27385	0.86691	0.91683	0.61052
<b>TPS</b>	0.35387	1	0.82725	0.4302	0.23182	0.82188
<b>MAP</b>	0.27385	0.82725	1	0.35412	0.17263	0.85042
<b>RPM</b>	0.86691	0.4302	0.35412	1	0.67276	0.72055
<b>CAMBIO</b>	0.91683	0.23182	0.17263	0.67276	1	0.43027
<b>CONSUMO</b>	0.61052	0.82188	0.85042	0.72055	0.43027	1

**Fuente:** Autores

### 3.2 Desarrollo del modelo

El propósito del modelo es desarrollar un algoritmo de optimización, para ello, en primera instancia se necesitan determinar funciones que se ajusten a las tendencias de las curvas de consumo de combustible, de preferencia funciones exponenciales de un grado no muy elevado para facilitar los cálculos de optimización. Para lo cual con los datos de la gráfica Consumo de Combustible – Velocidad se trata de determinar una función que se ajuste a la tendencia de la curva de consumo de combustible, como se observa en la Figura 41.

**Figura 41.** Tendencia de la función de consumo de combustible

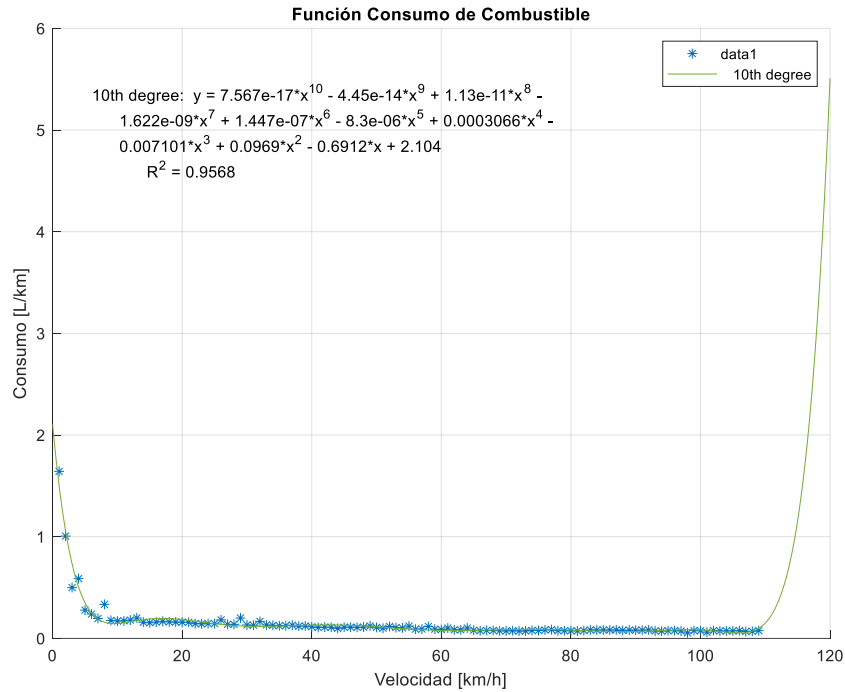


**Fuente:** Autores

Debido a la gran cantidad de datos presentes en la gráfica, se realiza un promedio de los datos de consumo de combustible con respecto a cada velocidad para obtener puntos específicos por los cuales debería pasar la función y ajustarse mejor a la curva de tendencia, sin embargo al realizar el promedio de los datos estos fluctúan debido a la dispersión que presentan. En la Figura 42 se muestran los datos promediados de consumo con respecto a la velocidad, es notable una mínima variación de los datos, sin embargo la función calculada presenta un alto ajuste con respecto a los datos promediados, tal así que representa un  $R^2 = 0.9568$  de ajuste en la función. En este caso particular para presentar un alto ajuste de la

función con respecto a la gráfica se necesitó aplicar una función exponencial de décimo grado.

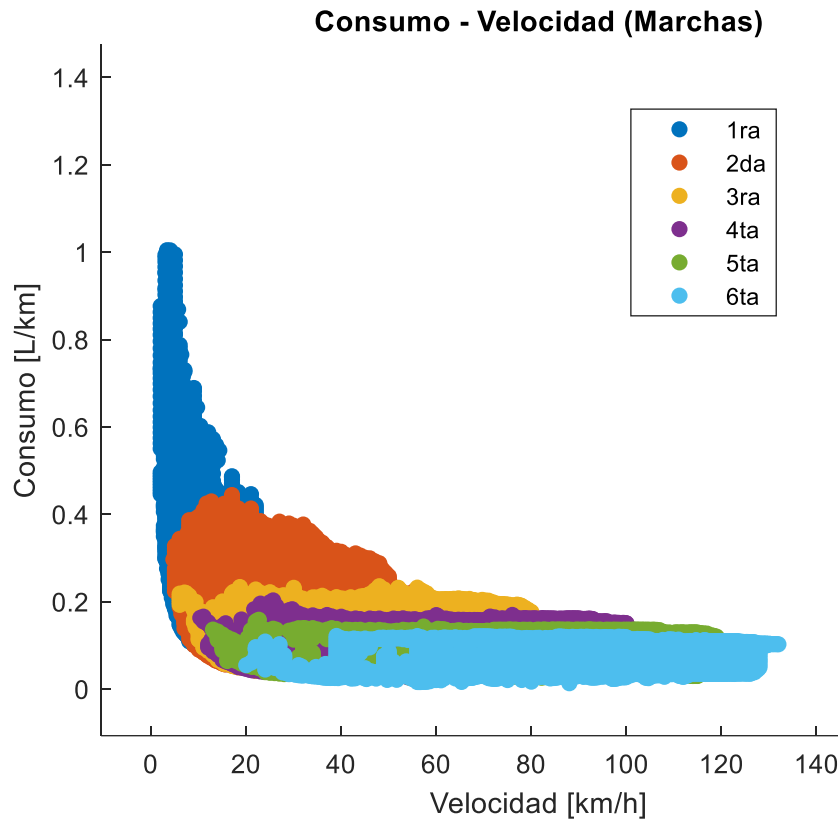
**Figura 42.** Función consumo de combustible



**Fuente:** Autores

Una vez determinada la función para la curva de consumo de combustible general, se procede a determinar las funciones de consumo para cada marcha, para lo cual se basa en la Figura 43 que muestra el consumo de combustible por marchas, teniendo en cuenta que las funciones deben tender a las gráficas.

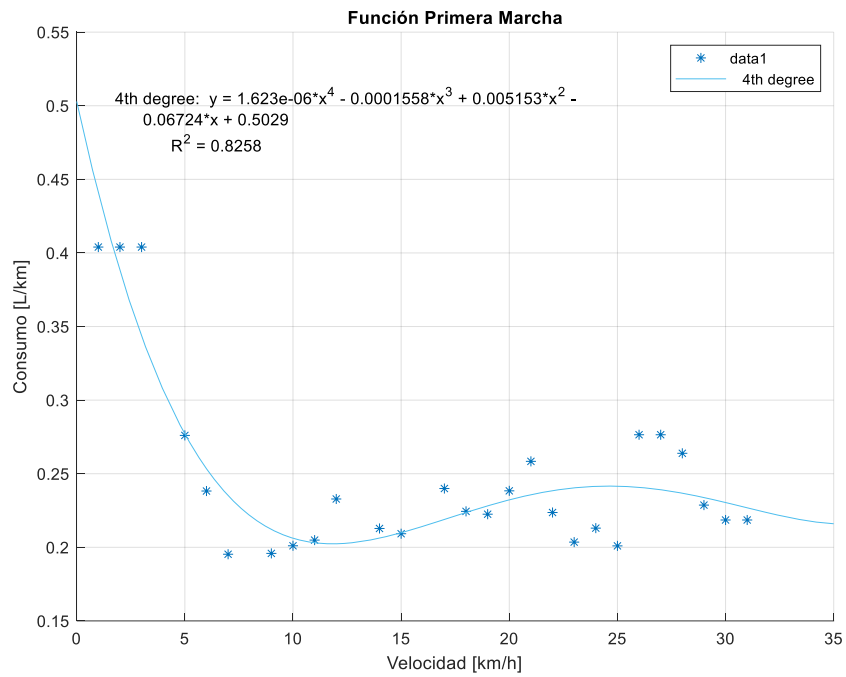
**Figura 43.** Curva consumo por marchas



**Fuente:** Autores

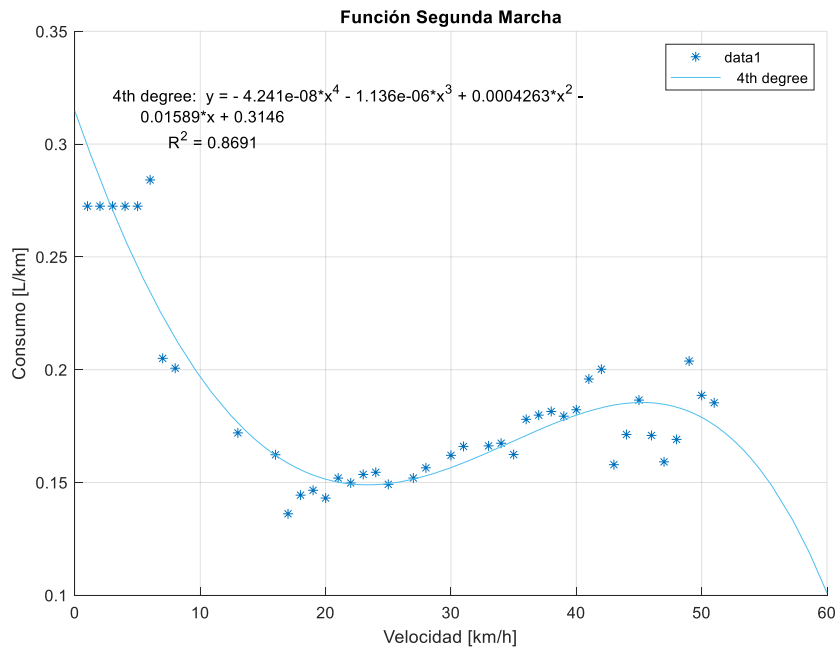
Las Figuras 44 - 49 muestran los datos promediados de consumo de combustible con respecto a la velocidad de cada marcha (primera - sexta) y la función de ajuste respectiva, en todos los casos se nota una pequeña variación de los datos con respecto a la función, sin embargo presentan un ajuste considerable de la función con respecto a los datos promedios. En todos los casos para representar las funciones de las gráficas se necesitó aplicar funciones exponenciales de cuarto grado, las cuales son aceptables teniendo en cuenta su ajuste.

**Figura 44.** Función de primera marcha



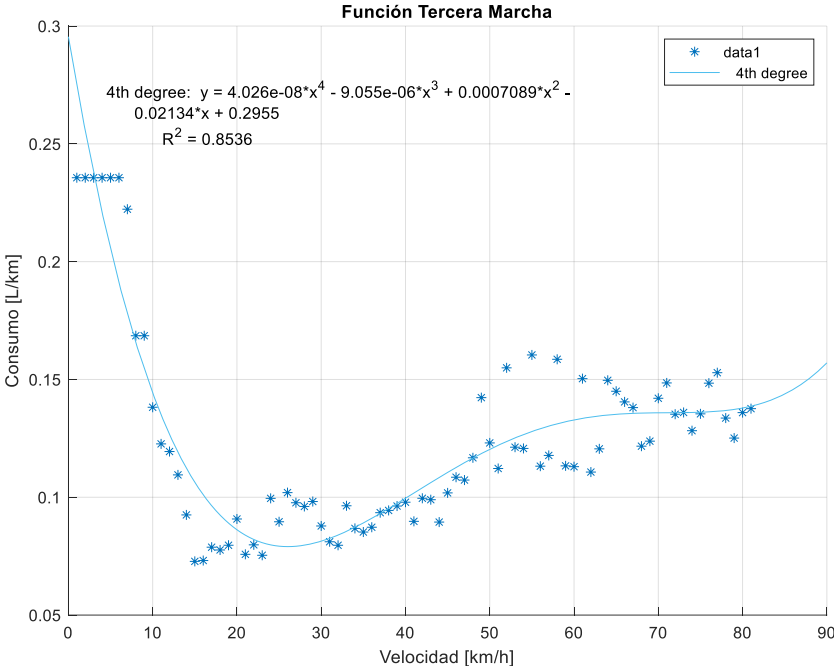
**Fuente:** Autores

**Figura 45.** Función de segunda marcha



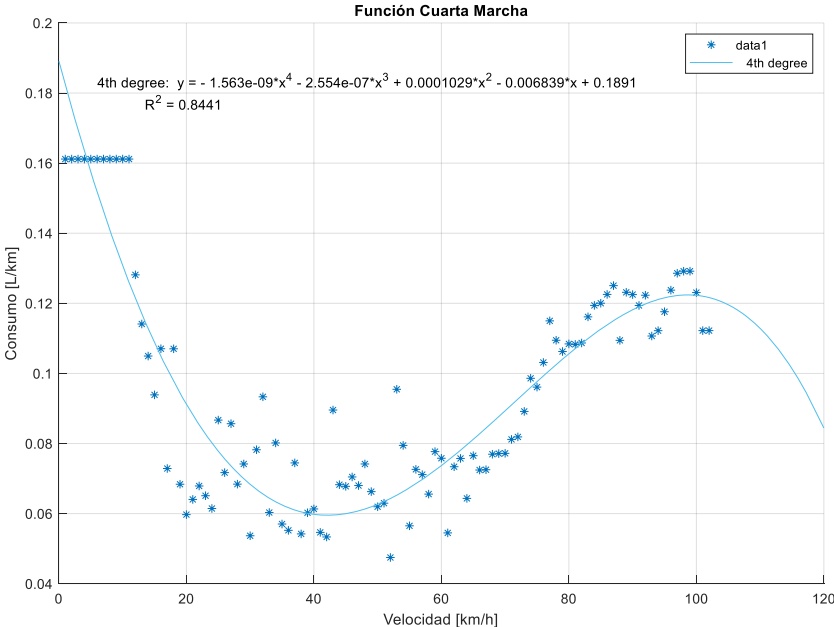
**Fuente:** Autores

**Figura 46. Función de tercera marcha**



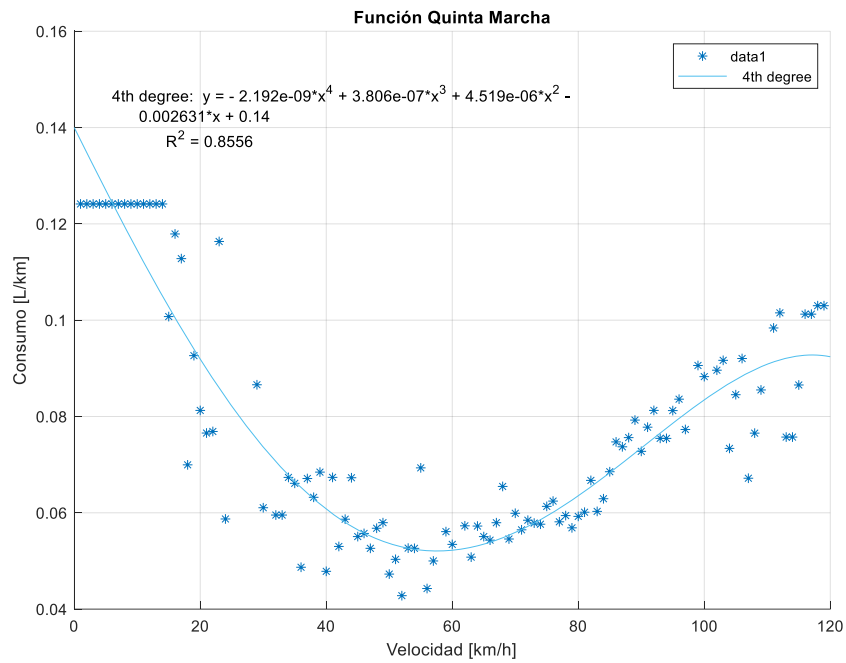
**Fuente: Autores**

**Figura 47. Función de cuarta marcha**



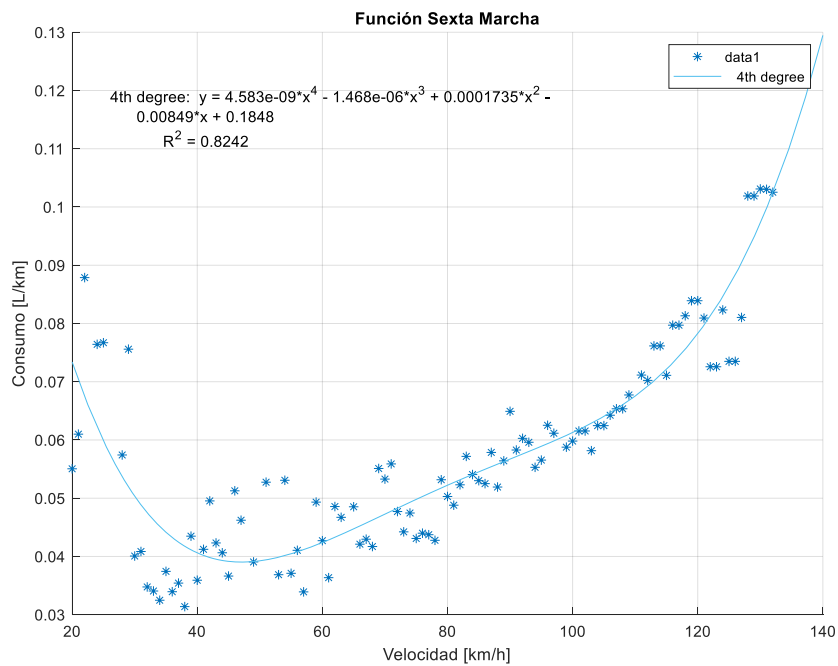
**Fuente: Autores**

**Figura 48.** Función de quinta marcha



**Fuente:** Autores

**Figura 49.** Función de sexta marcha



**Fuente:** Autores

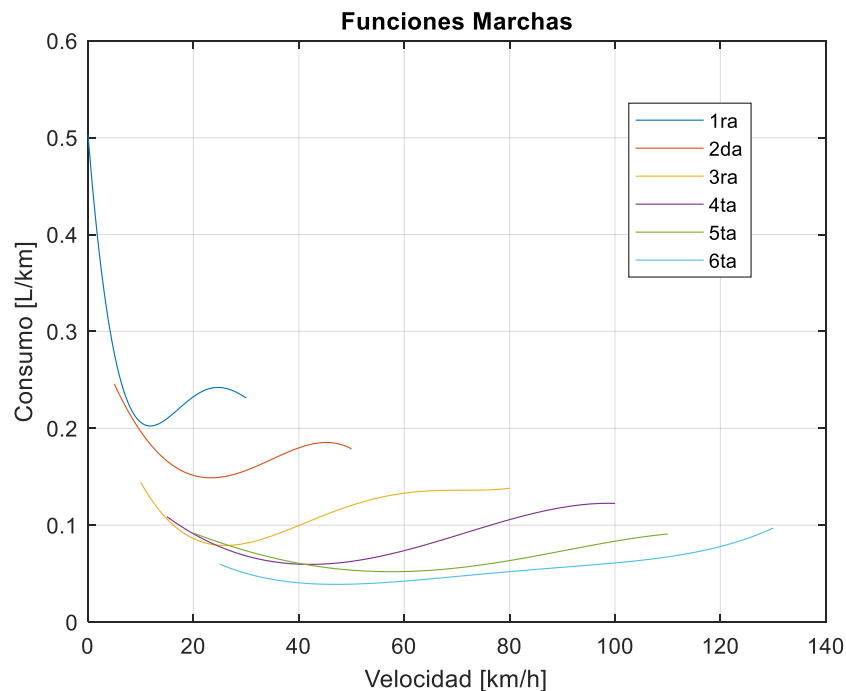
Como se pudo observar las funciones presentan un buen ajuste con respecto a las curvas de consumo de combustible de cada marcha, con una media de  $R^2 = 0.8454$  de ajuste de las



6 marchas, la cual representa un ajuste considerable de aproximadamente el 85% y se tiene la certeza que los datos calculados con la función van a estar relacionados con los reales.

Definidas las funciones de consumo de combustible para cada marcha, se procede a juntar dichas funciones en una sola gráfica para observar la tendencia que presentan las mismas (como se observa en la Figura 50), y realizar una comparativa con la curva de consumo de combustible por marchas (Figura 43) para observar si estas presentan la misma tendencia, lo cual es evidente, se aprecia un buen ajuste de las funciones.

**Figura 50.** Funciones de marchas



**Fuente:** Autores

La Figura 50 muestra las funciones de consumo de combustible para cada marcha del vehículo, mismas que representan la relación entre la velocidad y el consumo de combustible por cada cambio de marcha. En la gráfica se observa claramente cómo varía el consumo de combustible según el cambio de marcha, y se aprecia que la mejor manera de mantener el rendimiento de combustible del motor es seleccionar los cambios de marcha en los rangos mínimos de las funciones. El motor consume menos combustible en 3ra que en 1ra y menos combustible en 6ta que en 4ta, las relaciones de velocidad más bajas son las que más consumen combustible porque están asociadas a una menor eficiencia en el consumo debido al diseño proporcionado para generar más torque (Nasir et al., 2014).

### 3.3 Pruebas del modelo

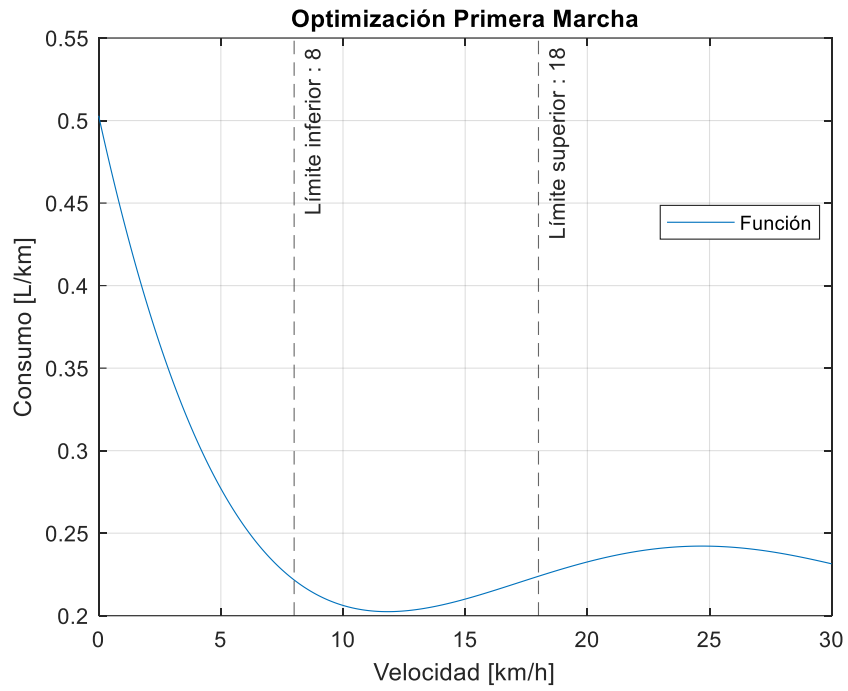
Como se planteó, el objetivo del modelo es desarrollar un algoritmo de optimización en base a la función de consumo de combustible de cada marcha, para lo cual buscamos obtener un rango de velocidad en el mínimo valor de la función para conducir en esa zona y así reducir el consumo de combustible en cada marcha.

Una vez definidas las funciones de consumo para cada marcha, para realizar la optimización del consumo de combustible se debe hallar el mínimo valor de la función y así plantear un rango que se encuentre alrededor de ese valor. En MATLAB con ayuda del comando “fminsearch” se encuentra el mínimo valor de una función multivariable sin restricciones utilizando el método sin derivadas, una vez encontrado el mínimo de la función se plantea un rango de velocidad en el cual se conducirá el vehículo para optimizar el consumo de combustible.

El también llamado “green speed” (velocidad verde, eficiente o ecológica), es el rango de velocidad que asegura la mayor optimización del consumo de combustible, al mantener el vehículo este rango de velocidad se obtiene la mejor eficiencia de combustible e incluso la contaminación al nivel mínimo. Si el vehículo se conduce por encima o por debajo de este rango de velocidad, se consumirá más combustible. (Af Wåhlberg, n.d.)

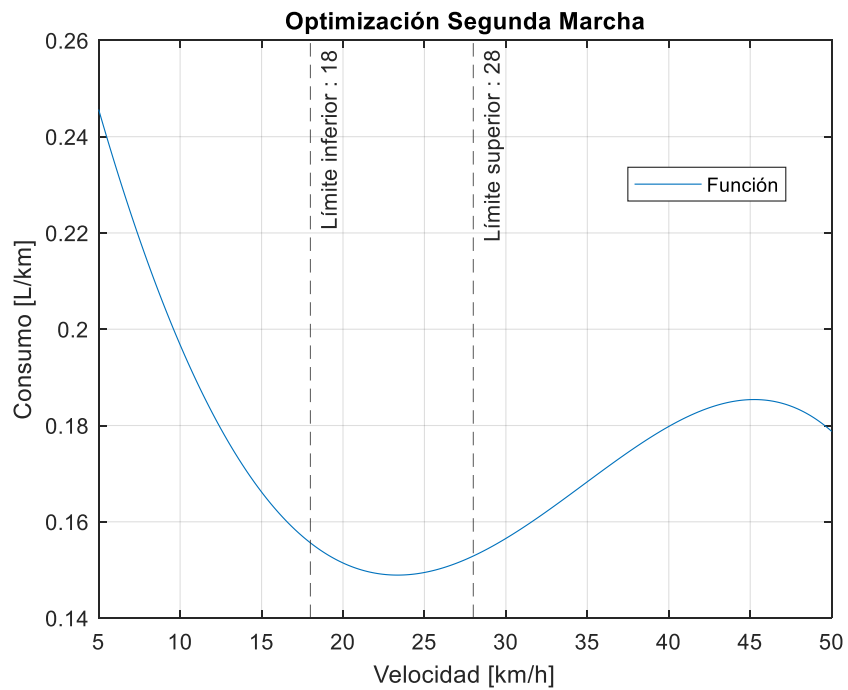
Las Figuras 51 - 56 muestran las funciones de consumo de combustible de cada marcha (primera - sexta), y el rango de velocidad ideal (green speed) en el cual se debe conducir el vehículo para la optimización del consumo de combustible en cada marcha. Se puede apreciar claramente que el rango de velocidad ideal se encuentra en el valor mínimo de la función, garantizando así el óptimo consumo en cada marcha.

**Figura 51.** Rango de optimización de primera marcha



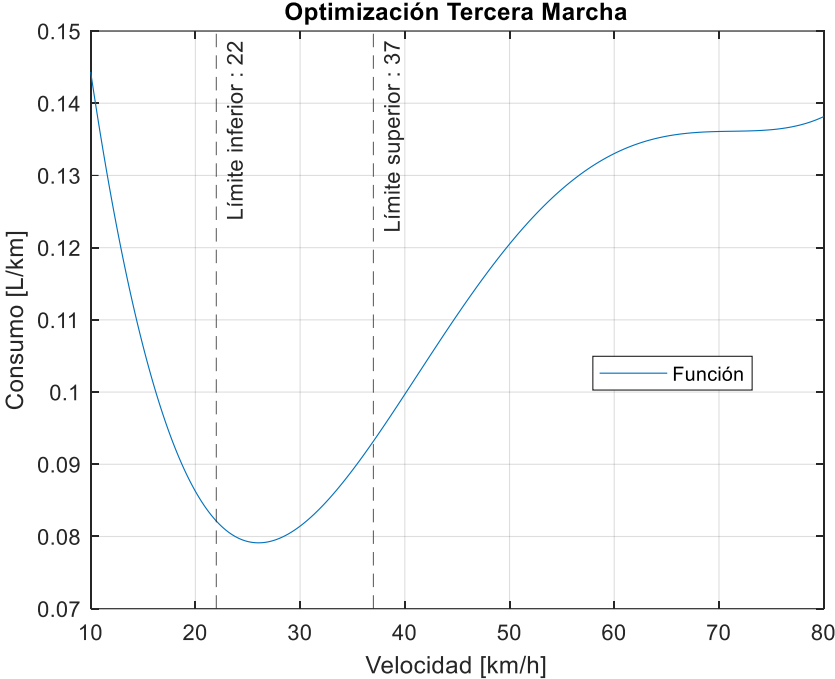
**Fuente:** Autores

**Figura 52.** Rango de optimización de segunda marcha



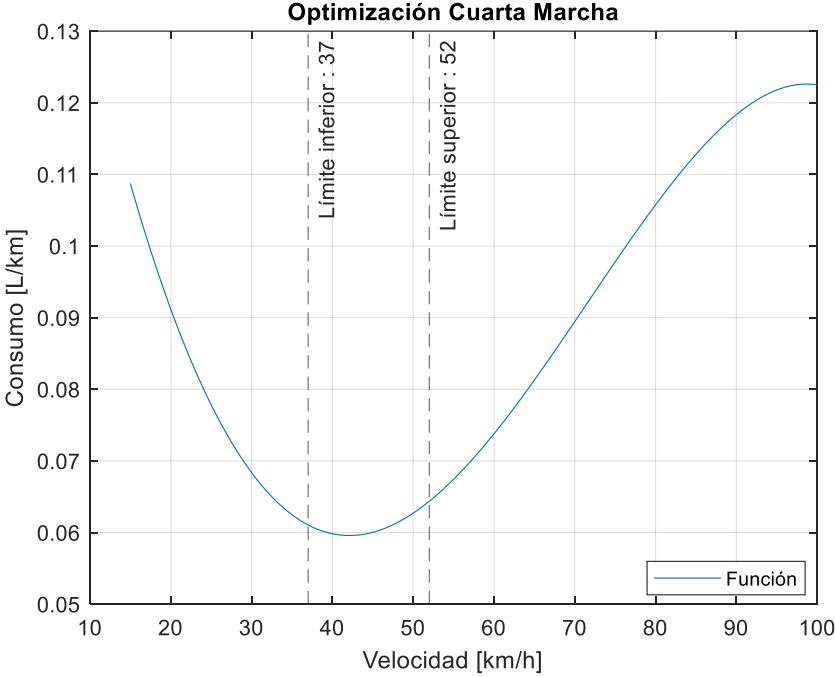
**Fuente:** Autores

**Figura 53.** Rango de optimización de tercera marcha



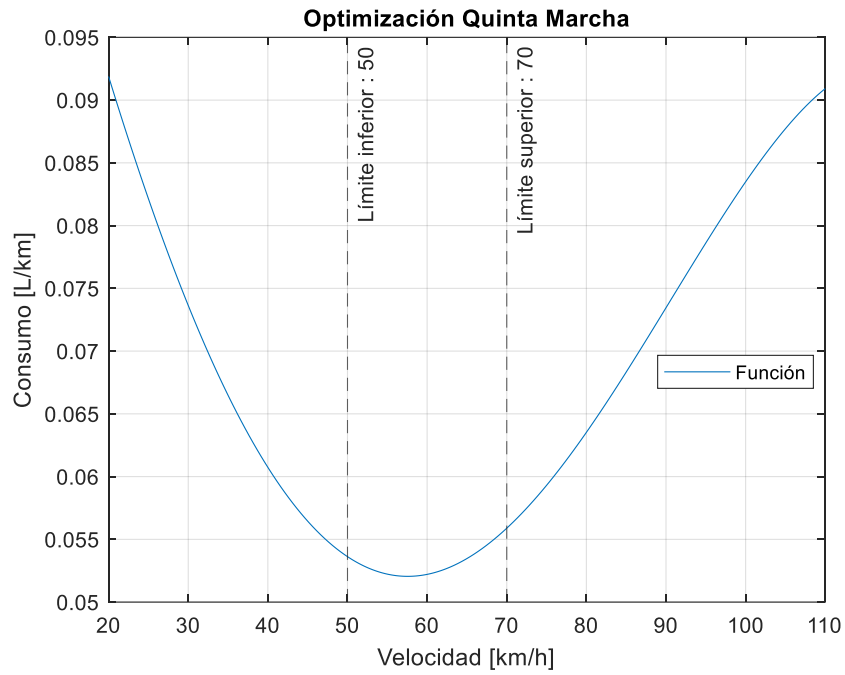
**Fuente:** Autores

**Figura 54.** Rango de optimización de cuarta marcha



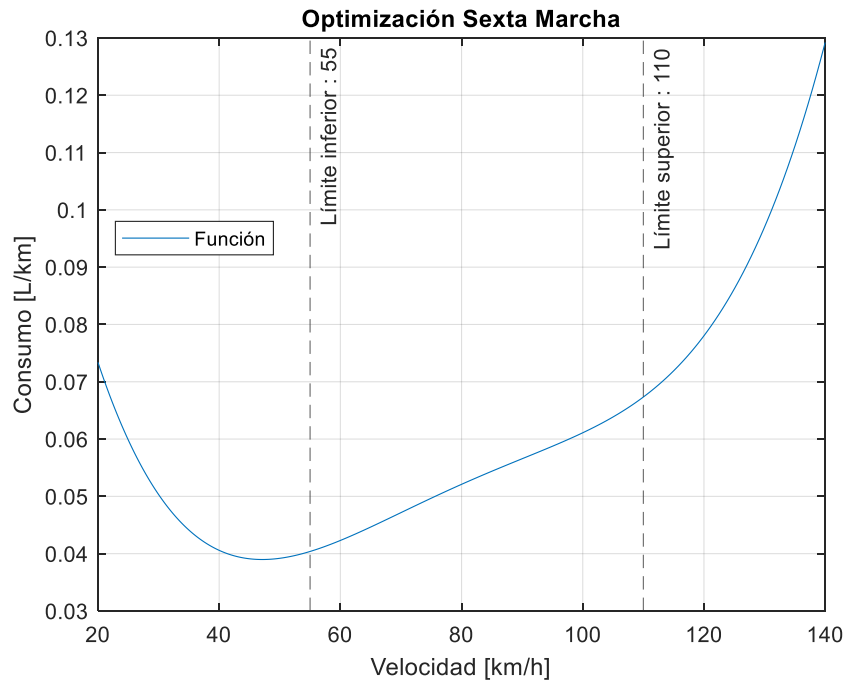
**Fuente:** Autores

**Figura 55.** Rango de optimización de quinta marcha



**Fuente:** Autores

**Figura 56.** Rango de optimización de sexta marcha



**Fuente:** Autores

## CAPÍTULO 4

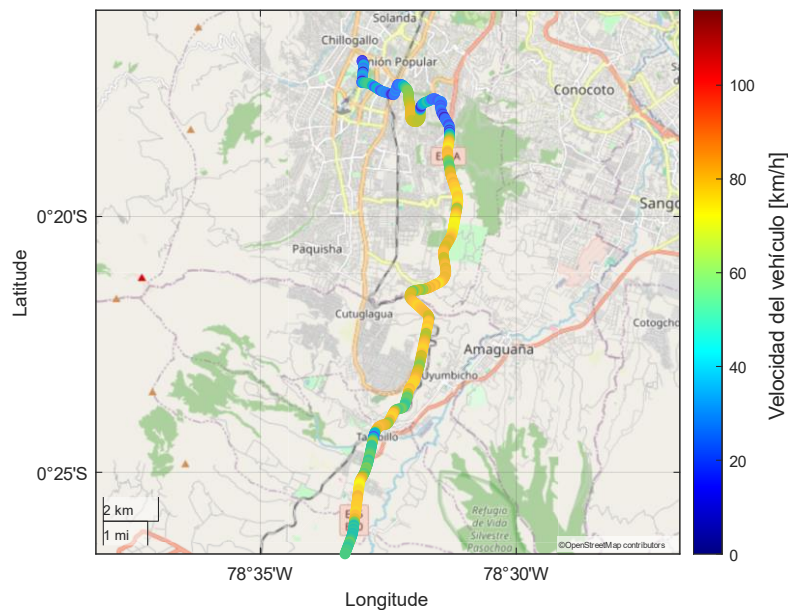
### COMPARATIVA DE LOS CICLOS DE CONDUCCIÓN

#### 4.1 Comparativa de resultados

En el capítulo anterior se determinó el rango de velocidad ideal para la conducción del vehículo en cada marcha en la cual se optimiza el consumo de combustible, y se pone a prueba el estilo de conducción ecológica en comparativa del estilo de conducción normal.

En el capítulo 2 se realizó la planificación de la ruta de estudio, misma que se ajusta a un ciclo de conducción; para realizar la comparativa entre el estilo de conducción normal versus el estilo de conducción ecológica, se realizaron los ensayos de prueba por la misma ruta planificada conduciendo por los 2 tipos de estilos mencionados.

**Figura 57.** Ruta planificada



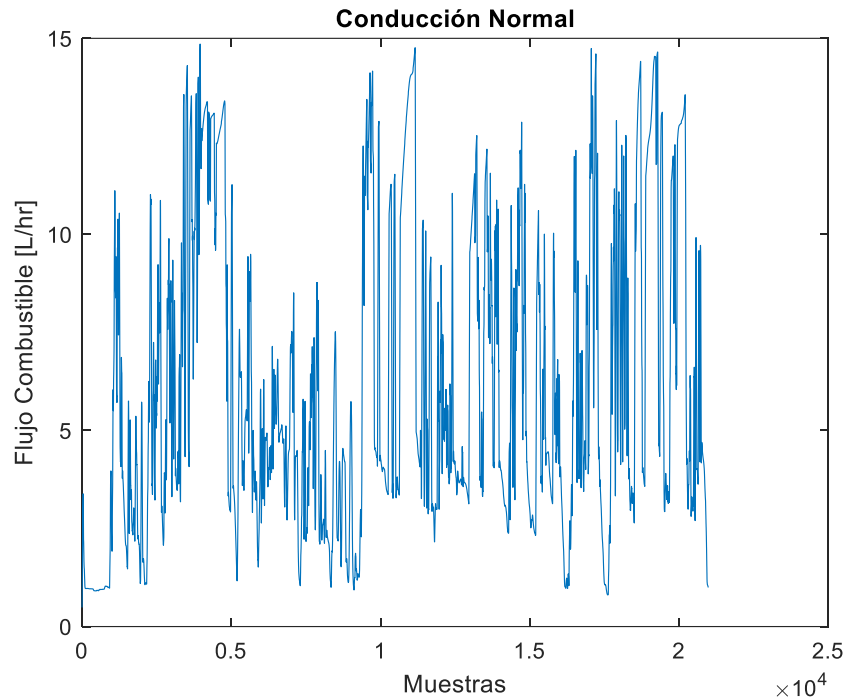
**Fuente:** Autores

Después de llevar a cabo las pruebas de ruta para los dos estilos de conducción, se procede a procesar los datos capturados por el registrador de datos con el fin de calcular el consumo

de combustible y examinar el comportamiento del flujo de combustible y del consumo en sí mismo en ambos estilos.

La Figura 58 muestra el comportamiento del flujo de combustible del estilo de conducción normal, y la variación existente entre el flujo de combustible con respecto a las muestras recolectadas, se observa que presentan picos de flujo de combustible de hasta 15 [L/hr].

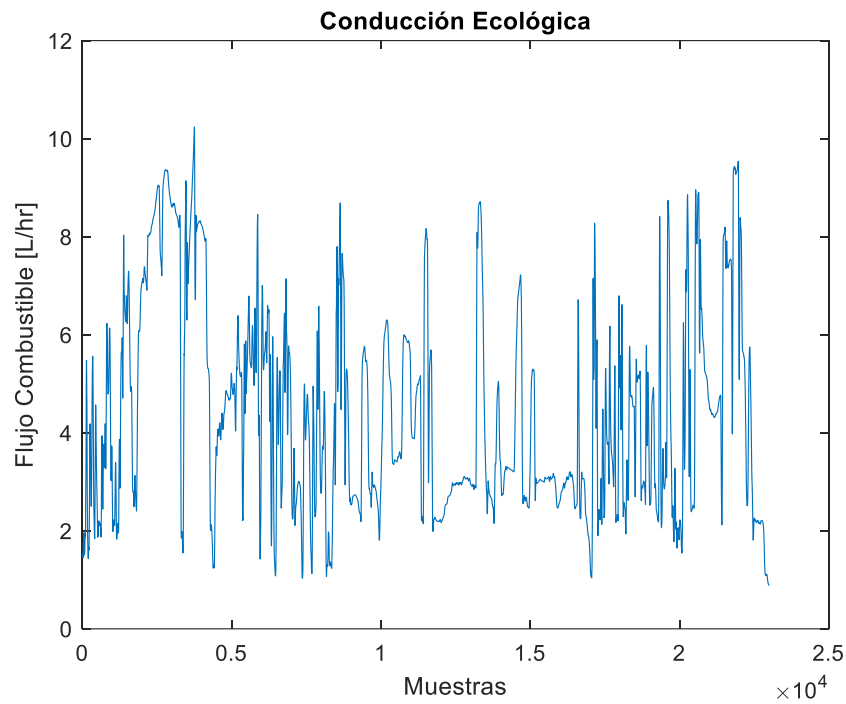
**Figura 58.** Flujo de combustible - conducción normal



**Fuente:** Autores

La Figura 59 muestra el comportamiento del flujo de combustible del estilo de conducción ecológica, se observa que en ciertos instantes de tiempo la variación que existe entre el flujo con respecto a las muestras recolectadas no es significativa, por otro lado, en esta gráfica se observa que existen picos de flujo de combustible de hasta 10 [L/hr].

**Figura 59.** Flujo de combustible – conducción ecológica



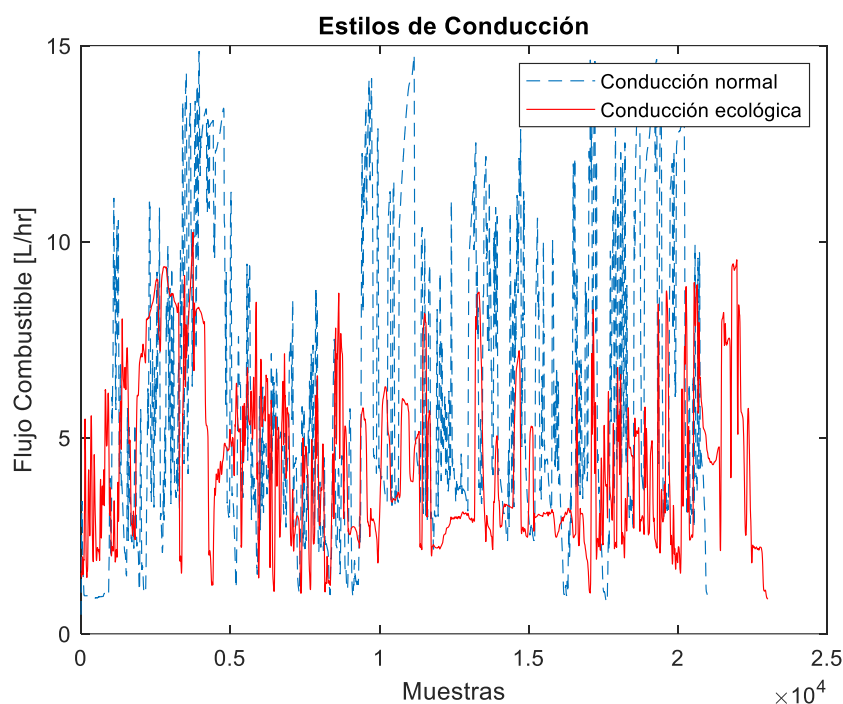
**Fuente:** Autores

#### **4.2 Análisis de resultados**

La Figura 60 muestra una comparativa del flujo de combustible de los 2 estilos de conducción, se observa una diferencia en el comportamiento de los flujos, por una parte el estilo de conducción ecológica muestra un flujo de combustible más estable a diferencia del estilo de conducción normal que presenta una variación en el comportamiento de su flujo; también es evidente que existe una variación entre los picos de flujo de combustible de los 2 estilos de conducción, y se aprecia una diferencia de aproximadamente [5 L/hr].



**Figura 60.** Comparativa estilos de conducción



**Fuente:** Autores

Al calcular el consumo total de combustible con las ecuaciones descritas en el capítulo 2 de la ruta planificada, en los 2 estilos de conducción, se obtuvo como resultados los valores mostrados en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Comparativa de resultados

<b>Estilo de conducción</b>	<b>Consumo total</b>
<b>Conducción normal</b>	2.4631 L
<b>Conducción ecológica</b>	1.9697 L

**Fuente:** Autores

Se evidencia una diferencia de 0.4934 L de ahorro de combustible, al comparar el estilo de conducción ecológica con respecto al estilo de conducción normal. Al calcular el error relativo del consumo de combustible con la ecuación 4.1, se obtiene un error del 20.03 %.

$$Error_{consumo} = \frac{|consumo_{normal} - consumo_{ecológico}|}{consumo_{normal}} \quad (\text{ecuación 4.8})$$

Al realizar el análisis de los resultados y con el error absoluto del consumo de combustible calculado, podemos deducir que al aplicar una conducción ecológica podemos optimizar un 20.03 % el consumo de combustible versus una conducción normal.

La conducción ecológica se focaliza en la implementación de hábitos que disminuyan el gasto de combustible y reduzcan al mínimo las emisiones. En el caso de estudio presentado, se destacó la importancia de mantener una velocidad óptima en cada marcha para optimizar el consumo; en contraste, una conducción convencional, que a menudo involucra comportamientos más agresivos, puede presentar un impacto negativo en la eficiencia del consumo de combustible del vehículo y en la contaminación ambiental. Adoptar prácticas de conducción ecológica no solo resulta beneficioso para la economía del conductor, sino que también contribuye a la sostenibilidad y reduce la huella ambiental.

## CONCLUSIONES

- Conducir de manera convencional disminuye la eficiencia del combustible, mientras que la conducción ecológica no solo contribuye a maximizar el rendimiento del combustible, sino también a reducir la contaminación y las emisiones. Se destaca que la elección adecuada de marcha y mantener un rango de velocidad óptimo son clave para asegurar la eficiencia del motor.
- En el trabajo se desarrolló un algoritmo optimizador de combustible, en base a las funciones de consumo definidas por los datos de velocidad y régimen de giro que son las variables que determinan la curva de consumo de combustible.
- La eficaz red neuronal diseñada para prever el cambio de marcha a partir de la velocidad del vehículo VSS y el régimen de giro del motor RPM logra una certeza del 99.9% en sus predicciones.
- En el análisis mencionado, las variables que ejercen la mayor influencia en el consumo de combustible son la presión absoluta del colector de admisión, la posición del acelerador, el régimen de giro, la velocidad del vehículo y el cambio de marcha; todas estas variables presentan una correlación significativa con el consumo de combustible.
- Se ha programado el rango de velocidad ideal para que coincida con el valor mínimo de la función de consumo de combustible, asegurando así la máxima eficiencia en cada marcha.
- La optimización del consumo de combustible al contrastar el estilo de conducción convencional con el estilo de conducción ecológica demuestra un ahorro del 20.03% en la cantidad de combustible.

## RECOMENDACIONES

- El desarrollo de una APP móvil o dispositivo electrónico que muestre el “green speed” de cada marcha sería lo ideal para indicar al conductor el rango de velocidad por marchas en el cual se optimiza el consumo de combustible y se adopte esta conducción.
- Se recomienda incluir en el estudio otros parámetros a tomar en cuenta, como la carga del motor, para desarrollar funciones y rangos de velocidad que se adapten mejor a las pendientes de carretera donde la demanda de carga es significativa.
- Se sugiere mejorar el estudio incorporando instrumentos de medición del flujo de combustible, como un caudalímetro, para contrastar el consumo de combustible medido real con respecto a el consumo de combustible calculado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Af Wählberg, A. E. (n.d.). *Fuel efficient driving training-state of the art and quantification of effects E141 Proceedings of Soric '02*. [www.etde.org/etdeweb](http://www.etde.org/etdeweb)
- Arias, M. M., & Molina, M. (2017). Lectura crítica en pequeñas dosis ¿Qué significa realmente el valor de p? *Rev Pediatr Aten Primaria*, 19, 377–381.
- Barlow, T. J. , L. S. , M. I. S. and B. P. G. (2009). *Reference Book of Driving Cycles for Use in the Measurement of Road Vehicle Emissions: Vol. Volumen 4*.
- Benalcazar, L. C. , A. E. , O. M. (2013). *Construcción de los ciclos de conducción de Bogotá para la estimación de factores de emisión vehiculares y consumos de combustible*.
- Bosch. (2015). Bosch manual de la tecnica del automovil tercera edicion. In D. Verlag Genth (Ed.), *manual de la tecnica del automovil tercera edicion* (Tercera Edicion, pp. 1–250). Editorial Reverte S.A.
- Campoverde, M. (2023). *Página 2 de 66 Autor(es)*.
- CEPAL. (2010). *Eficiencia energética en el transporte* .
- Giakoumis, E. G. (2016). Driving and engine cycles. In *Driving and Engine Cycles*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-49034-2>
- González, R., Rodríguez López, Y., García Taín, Y., & Fernández, L. (2010). Consumo de combustible de los motores de combustión interna. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias ISSN*, 19(1).
- González-Oropeza, R. (n.d.). *Los ciclos de manejo, una herramienta útil si es dinámica para evaluar el consumo de combustible y las emisiones contaminantes del auto transporte*.
- Hurtado, A., Proyecto, G., Grado, D. E., Juan, I., & Tibaquirá, E. (2014). *DESARROLLO DE CICLOS DE CONDUCCION PARA EL ÁREA METROPOLITANA CENTRO OCCIDENTE-AMCO*.

- Issa, A., Zawawi, Z., & Ashqar, H. I. (2023). Impact of road grade on fuel consumption: Potential savings in Nablus, Palestine. *Case Studies on Transport Policy*, 12, 100973. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2023.100973>
- Jingxian Hao. (2016). *Optimization of Key Parameters of Energy Management Strategy for Hybrid Electric Vehicle Using DIRECT Algorithm*.
- Liu, X., & Jin, H. (2023). High-precision transient fuel consumption model based on support vector regression. *Fuel*, 338. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.127368>
- Llanos, P., & Sinchi, Q. (2018). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA AUTORES*.
- Molina Campoverde, P. A. (2023). Estimation of Fuel Consumption through PID Signals Using the Real Emissions Cycle in the City of Quito, Ecuador. *Sustainability (Switzerland)*, 15(16). <https://doi.org/10.3390/su151612474>
- Molina Campoverde, P. A., Rivera Campoverde, N. D., Novillo Quirola, G. P., & Bermeo Naula, A. K. (2021). Characterization of Braking and Clutching Events of a Vehicle Through OBD II Signals. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1273 AISC, 134–143. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-59194-6\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-59194-6_12)
- Motorpasion. (2021). *Consejos para ahorrar gasolina con una conducción más eficiente*.
- Nasir, M. K., Md Noor, R., Kalam, M. A., & Masum, B. M. (2014). Reduction of fuel consumption and exhaust pollutant using intelligent transport systems. *Scientific World Journal*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/836375>
- Néstor Diego, R. C., Molina Campoverde, P. A., Quirola Novillo, G. P., & Naula Bermeo, A. K. (2021). Development of an Algorithm Capable of Classifying the Starting, Gear Change and Engine Brake Variables of a Vehicle by Analyzing OBD II Signals. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1273 AISC, 121–133. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-59194-6\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-59194-6_11)
- Olalla, & Parra. (2023). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO*.

- Osses, M. , R. (2003). *Determinación Experimental de Ciclos de Conducción de Vehículos Livianos para la ciudad de Santiago de Chile.*
- Quinchimbla Pisuña, F. E. S. J. M. (2017). *Desarrollo de ciclos de conducción en ciudad,carretera y combinado para evaluar el rendimiento real de combustible de un vehículo con motor de ciclo Otto en el Distrito Metropolitano de Quito.*
- Rivera-Campoverde, N. D., Muñoz-Sanz, J. L., & Arenas-Ramirez, B. D. V. (2021). Estimation of pollutant emissions in real driving conditions based on data from OBD and machine learning. *Sensors, 21*(19). <https://doi.org/10.3390/s21196344>
- Roa, A. K., Universidad, J., Francisco, D., De Caldas, J., De, F., Ambiente, M., & Naturales, Y. R. (n.d.). *PROPUESTA DE CONDUCCIÓN ECOLÓGICA PARA LA EMPRESA DE TRANSPORTE INTEGRADO DE BOGOTÁ S.A.S. SEDE SEVILLANA DE LA LOCALIDAD DE TUNJUELITO.*
- Rojas, M. O. (2003). Determinación experimental de ciclos de conducción de vehículos livianos para la ciudad de Santiago. *XI Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte, 20.*
- Stokić, M., Momčilović, V., & Dimitrijević, B. (2023). A bilinear interpolation model for estimating commercial vehicles' fuel consumption and exhaust emissions. *Sustainable Futures, 5.* <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2023.100105>
- Tselentis, D. I., & Papadimitriou, E. (2023). Time-series clustering for pattern recognition of speed and heart rate while driving: A magnifying lens on the seconds around harsh events. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 98,* 254–268. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2023.09.010>
- Wang, W., Bie, J., Yusuf, A., Liu, Y., Wang, X., Wang, C., Zheng Chen, G., Li, J., Ji, D., Xiao, H., Sun, Y., & He, J. (2023). A new vehicle specific power method based on internally observable variables: Application to CO2 emission assessment for a hybrid electric vehicle. *Energy Conversion and Management, 286.* <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117050>

