



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

TEMA:

**COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE COMBUSTIBLE ENTRE
DIFERENTES MODELOS DE TAXI BASADO EN EL ENFOQUE DE
POTENCIA ESPECÍFICA DEL VEHÍCULO. CASO DE ESTUDIO
IBARRA**

AUTORES: CHAMPUTIZ RODRIGUEZ ANTHONY FRANCISCO

CUYAGO LOYOLA LUIS DAVID

DIRECTOR: Ing. FREDY ALEXANDER ROSERO OBANDO, PhD.

Ibarra, 2024

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR


Ibarra, 21 de noviembre de 2024

Ing. Fredy Alexander Rosero Obando, PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f) 

Ing. Fredy Alexander Rosero Obando, PhD.

C.C.: 100264174-2



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401466180		
APELLIDOS Y NOMBRES:	CHAMPUTIZ RODRIGUEZ ANTHONY FRANCISCO		
DIRECCIÓN:	Ibarra, Licenciado Nelson Davila "El Olivo"		
EMAIL:	afchamputizr@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0963134485
DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	172554028-8		
APELLIDOS Y NOMBRES:	CUYAGO LOYOLA LUIS DAVID		
DIRECCIÓN:	Urcuquí, barrio "El Rosario"		
EMAIL:	ldcuyagol@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0969522856

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE COMBUSTIBLE ENTRE DIFERENTES MODELOS DE TAXI BASADO EN EL ENFOQUE DE POTENCIA ESPECÍFICA DEL VEHÍCULO. CASO DE ESTUDIO IBARRA
AUTOR (ES):	CHAMPUTIZ RODRIGUEZ ANTHONY FRANCISCO CUYAGO LOYOLA LUIS DAVID
FECHA: DD/MM/AAAA	21 DE NOVIEMBRE DE 2024
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO AUTOMOTRIZ
DIRECTOR:	Msc. FREDY ROSERO PhD

CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.


Ibarra, a los 21 días del mes de noviembre de 2024

EL AUTOR:

Firma: 

Nombre: Champutiz Rodríguez Anthony Francisco

Cédula de Identidad: 040146618-0

Firma: 

Nombre: Cuyago Loyola Luis David

Cédula de Identidad: 171554028-8

DEDICATORIA

A mis padres, por ser la inspiración constante y el apoyo incondicional en cada paso de mi vida, por sus sacrificios, consejos y amor que han guiado mi camino. A mis hermanos, por creer en mí y motivarme a ser mejor cada día. A mis amigos y colegas, quienes han compartido conmigo momentos de aprendizaje y esfuerzo durante esta travesía académica. Y a todos aquellos que, de alguna manera, contribuyeron a que este sueño se hiciera realidad, les dedico este trabajo con profunda gratitud y aprecio.

Anthony Champutiz

Dedico este trabajo de titulación con profundo amor y respeto a mis padres Luis Cuyago y María Loyola que con sus sacrificios, enseñanzas y entrega me brindaron la oportunidad de formarme como profesional. A mis abuelitos Luis Cuyago y Rosa Chalacan por ser mi fortaleza en toda mi carrera y creer en mis capacidades. A mi hermana Michelle Cuyago por acompañarme día a día en este largo trayecto y no dejarme caer en las adversidades hasta llegar a cumplir mis ideales.

Luis Cuyago

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte por brindarme la oportunidad de formarme como profesional y facilitar los recursos necesarios para desarrollar esta tesis. A mis padres, por su amor, apoyo incondicional y constante motivación. A mi tutor, por su guía y paciencia durante todo el proceso. A mi compañero de tesis, por su dedicación y colaboración, haciendo de este trabajo un esfuerzo compartido mi más sincero agradecimiento.

Anthony Champutiz

Agradezco de manera especial a toda mi FAMILIA por el cariño y la confianza total entregada a mi persona al estar siempre a mi lado, pendientes de cada paso y situación que se ha presentado en el camino estudiantil. Mi agradecimiento particular a mi tutor el ING. FREDY ROSERO por brindarme su sabiduría con nobleza y entusiasmo para culminar con éxito este anhelado trabajo de titulación. Finalmente, pero no menos importante a mi compañero de tesis por su participación y colaboración en la realización de este trabajo de titulación.

Luis Cuyago

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	13
ABSTRACT.....	14
INTRODUCCIÓN	15
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	15
1.1. Problema de investigación.....	15
1.2. Justificación	15
1.3. Objetivos.....	15
1.3.1. Objetivo general.....	15
1.3.2. Objetivos específicos.....	16
1.4. Alcance	16
CAPÍTULO I.....	17
2. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. Movilidad en el cantón ibarra	17
2.1.1. Descripción de ibarra.....	17
2.1.2. Transporte público.....	17
2.1.3. Generalidad de la operación de taxis.....	18
2.2. Principio de funcionamiento motores de encendido provocado	18
2.2.1. Descripción del motor de combustión interna.....	18
2.2.2. Componentes de los motores de combustión interna.....	19
2.2.3. Funcionamiento del motor de combustión interna de encendido provocado.....	20
2.2.4. Características de los motores mep	21
2.3. Fundamentos de las emisiones vehiculares.....	23
2.3.1. Formación de emisiones mep	23
2.3.2. Tipos de emisiones vehiculares	25
2.3.3. Descripción de las principales emisiones de escape.....	25
2.3.4. Estándares de emisión	27
2.3.5. Tecnología para mejorar la eficiencia de los motores.....	28
2.4. Equipos para monitoreo vehicular	29
2.4.1. Equipos para monitoreo on-board	29

2.4.2.	Equipos de monitoreo de emisiones y consumo de combustible.....	31
2.4.3.	Equipos para análisis de par y potencia.....	32
2.5.	Software para procesamiento estadístico	34
2.5.1.	Principio de funcionamiento.....	34
2.5.2.	Software comúnmente usados	35
2.6.	Metodologías y modelos de emisiones	36
2.6.1.	Enfoques para el modelamiento del consumo de combustible y emisiones	36
2.6.2.	Modelo de emisiones más común.....	36
2.6.3.	Enfoque de potencia específica del vehículo (vsp).....	38
CAPÍTULO III.....		41
3. METODOLOGÍA.....		41
3.1.	Caracterización flota de taxis	41
3.1.1.	Especificaciones de las marcas y modelos	42
3.1.2.	Modelos representativos.....	43
3.2.	Selección vehículos de estudio	44
3.2.1.	Chevrolet sail.....	44
3.2.2.	Kia rio.....	45
3.2.3.	Hyundai accent.....	46
3.3.	Definición de variables	47
3.3.1.	Variables cinemáticas	48
3.3.2.	Estados de conducción	50
3.3.3.	Potencia específica del vehículo (vsp).....	52
3.3.4.	Consumo de combustible y factor de emisiones.....	54
3.4.	Selección de equipos y herramientas digitales.....	56
3.4.1.	Alternativa uno: can up, flujómetro y plataforma de monitoreo	56
3.4.2.	Alternativa dos: interfaz elm327 con torque pro	59
3.5.	Pruebas piloto.....	61
3.5.1.	Prueba configuración uno.....	61
3.5.2.	Prueba configuración dos	62
3.6.	Campaña experimental.....	64
3.6.1.	Ejecución de la campaña experimental	64
3.6.2.	Levantamiento de datos con interfaz elm327	66

3.7.	Procesamiento de datos.....	67
3.7.1.	Producción de la base de datos.....	68
3.7.2.	Flujogramas del procesamiento de datos.....	69
3.8.	Modelamiento mediante enfoque vsp.....	73
3.8.1.	Flujograma del modelamiento mediante enfoque vsp: consumo de combustible y emisiones de CO_2 73	
3.8.2.	Flujograma del cálculo estadístico.....	75
CAPÍTULO IV.....		78
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		78
4.1.	Análisis de estadística de la cinemática.....	78
4.1.1.	Comparación de la velocidad promedio.....	78
4.1.2.	Comparación de la aceleración positiva promedio.....	79
4.1.3.	Comparación de desaceleración promedio.....	80
4.2.	Análisis de los estados de conducción.....	81
4.2.1.	Comparación del tiempo total según los estados de conducción.....	81
4.2.2.	Comparación de los porcentajes según los estados de conducción.....	83
4.3.	Análisis vsp.....	84
4.3.1.	Frecuencia y distribución.....	84
4.3.2.	Análisis de consumo de combustible según vsp.....	85
4.3.3.	Análisis de la tasa promedio de CO_2 según vsp.....	86
4.4.	Estimación de consumo de combustible y emisiones CO_2	87
4.4.1.	Consumo de combustible.....	88
4.4.2.	Factor de CO_2	90
CAPITULO V.....		92
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		92
5.1.	Conclusiones.....	92
5.2.	Recomendaciones.....	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes internos de un motor de combustión interna	19
Figura 2. Ciclo del motor de encendido provocado.....	21
Figura 3. Curvas características	22
Figura 4. Emisiones vehículos MEP.....	24
Figura 5. Límite de emisiones.....	28
Figura 6. GPS logger	30
Figura 7. Remote sensing.....	32
Figura 8. Dinamómetro de motor.....	33
Figura 9. Dinamómetro de chasis.	33
Figura 10. Diagrama de fuerzas que intervienen en la dinámica longitudinal de un vehículo	39
Figura 11. Flujograma de la metodología del estudio de investigación.....	41
Figura 12 Condición estados de conducción.	50
Figura 13. Modos VSP y BIN VSP-velocidad.....	53
Figura 14. Dispositivo telemático CAN UP 27.....	57
Figura 15. Flujómetro de combustible DFM 50 S7	58
Figura 16. Plataforma de monitoreo ORF.....	59
Figura 17. Dispositivo OBD ELM327 Bluetooth.....	60
Figura 18. Ventana principal Torque Pro.	61
Figura 19. Instalación de dispositivos.....	62
Figura 20. Ubicación del equipo de monitoreo.....	63
Figura 21. Ventanas de configuración Torque Pro.	64
Figura 22. Recorrido de ruta establecido.	65
Figura 23. Ventana principal R Studio.	68
Figura 24. Almacenamiento de datos, archivo Excel.....	68
Figura 25. Proceso de importación y suavización de datos.	69

Figura 26. Selección de librerías.....	70
Figura 27. Suavizar velocidad y altitud.	70
Figura 28. Proceso de cálculo de variables.	71
Figura 29. Variables de tipo carácter a numéricas y cálculo de pendiente.....	72
Figura 30. Aceleración instantánea, flujo de combustible y tasa de CO ₂	72
Figura 31. VSP instantáneo y criterios de conducción.....	72
Figura 32. Flujograma del modelamiento mediante VSP.	73
Figura 33. Intervalos de VSP y velocidad.....	74
Figura 34. Intervalo VSP-Velocidad.	75
Figura 35. Flujograma del proceso del cálculo de estadísticas.	75
Figura 36. Factor vehículo y ruta.....	76
Figura 37. Calculo de variables.	76
Figura 38. Cálculo modo de marcha.	77
Figura 39. Gráfica de velocidad promedio	79
Figura 40. Aceleración positiva promedio.....	80
Figura 41. Desaceleración promedio	81
Figura 42. Tiempo total estados de conducción.....	82
Figura 43. Porcentaje según estados de conducción.	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de software.....	35
Tabla 2. Total, número de taxis de la ciudad.....	42
Tabla 3. Número de taxis por marcas.....	42
Tabla 4. Modelo de vehículos representativos.....	43
Tabla 5. Detalle vehículos seleccionados.....	44
Tabla 6. Detalles vehículo Chevrolet Sail.....	45
Tabla 7. Detalle vehículo Kia Rio.....	46
Tabla 8. Detalle vehículo Hyundai.....	47
Tabla 9. Registro de datos ELM327.....	67

RESUMEN

Este trabajo compara la eficiencia de combustible de diferentes modelos de taxi según la Potencia Específica del vehículo. El estudio se realizó en Ibarra. Cuenta con 59 cooperativas que ofrecen taxis convencionales y ejecutivos. Hay 1381 automóviles en servicio activo. Se seleccionó una muestra representativa de los tres automóviles más usados en la ciudad para una comparación detallada.

Para el desarrollo de este análisis, se implementó una campaña experimental que tuvo como objetivo la recolección de datos cinemáticos fundamentales para evaluar el comportamiento operativo de los vehículos. Estos datos incluyen variables como la velocidad y la aceleración, así como información relacionada con el desempeño del motor y el flujo instantáneo de combustible durante diferentes condiciones de manejo. Con la información obtenida, se calcularon variables cinemáticas además emisiones de CO₂ y promedios de consumo de combustible en diferentes tipos de rutas. Este proceso permitió caracterizar con precisión la eficiencia energética y el impacto ambiental de cada modelo analizado.

Los resultados obtenidos a partir de esta investigación permitieron no solo la evaluación estadística de los parámetros cinemáticos y los distintos estados de conducción, sino también la estimación precisa del consumo de combustible y del factor de emisión de CO₂ para cada modelo de taxi. El análisis comparativo de los vehículos en las diferentes rutas mostró diferencias significativas en su rendimiento, lo que permitió identificar el modelo con mejor desempeño en términos de eficiencia de combustible y menores emisiones contaminantes. Este estudio ofrece una valiosa fuente de información que puede contribuir al mejoramiento del parque automotor en la ciudad de Ibarra, sugiriendo estrategias para reducir el impacto ambiental asociado al transporte urbano. En última instancia, las conclusiones buscan servir como base para futuros proyectos relacionados a la eficiencia de combustible y emisiones vehiculares.

ABSTRACT

This work compares the fuel efficiency of different taxi models based on the Specific Power of the vehicle. The study was conducted in Ibarra, a city with 59 cooperatives offering conventional and executive taxi services, and 1,381 vehicles in active service. A representative sample of the three most commonly used car models in the city was selected for detailed comparison.

To carry out this analysis, an experimental campaign was implemented to collect fundamental cinematic data aimed at evaluating the operational behavior of the vehicles. These data include variables such as speed and acceleration, as well as information related to engine performance and instantaneous fuel flow under different driving conditions. Using the collected information, cinematic variables, CO₂ emissions, and average fuel consumption across various route types were calculated. This process enabled a precise characterization of the energy efficiency and environmental impact of each analyzed model.

The results obtained from this research facilitated not only the statistical evaluation of cinematic parameters and different driving states but also the precise estimation of fuel consumption and CO₂ emission factors for each taxi model. The comparative analysis of the vehicles on different routes revealed significant differences in performance, allowing the identification of the model with the best fuel efficiency and lowest pollutant emissions.

This study provides a valuable resource for improving the vehicular fleet in the city of Ibarra, suggesting strategies to reduce the environmental impact associated with urban transportation. Ultimately, the conclusions aim to serve as a foundation for future projects related to fuel efficiency and vehicular emissions.

INTRODUCCIÓN

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En la actualidad, el incremento de las emisiones de CO₂ provenientes de los vehículos constituye un problema ambiental significativo, asociado al consumo de combustibles fósiles. La ciudad de Ibarra cuenta con un total de 59 cooperativas de taxis, tanto convencionales como ejecutivos, cuyos vehículos, con una amplia diversidad de modelos, prestan servicio a la ciudadanía. No obstante, esta variación en los modelos vehiculares contribuye a una considerable emisión de gases contaminantes, lo que agrava el efecto invernadero y ocasiona un impacto negativo en el medio.

El presente trabajo de titulación surge ante la necesidad de abordar esta problemática ambiental, enfocándose en la elevada cantidad de gases contaminantes generados por los vehículos que operan en el sistema de transporte urbano de taxis en Ibarra. En este contexto, se propone un análisis comparativo de la eficiencia de combustible entre diferentes modelos de taxis, basándose en el enfoque de Potencia Específica del vehículo.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Este estudio tiene como propósito mejorar la calidad del aire en la ciudad de Ibarra, alineándose con el eje de transición ecológica establecido en el objetivo número doce del “Plan Creación de Oportunidades 2021-2025”.

Los resultados obtenidos permitirán establecer la eficiencia en el consumo de combustible y los niveles de emisiones de CO₂ de los taxis en la ciudad. Esto facilitará la adopción de medidas para reducir los impactos en la salud pública y mejorar la implementación de sistemas y normativas de control de emisiones, contribuyendo así a la sostenibilidad del transporte en Ibarra.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Comparar la eficiencia de combustible entre diferentes modelos de taxi basándose en el enfoque de Potencia Específica (VSP) del vehículo en la ciudad de Ibarra.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los modelos y marcas de los vehículos que tienen una mayor presencia en el parque automotor de taxis de la ciudad de Ibarra.
- Ejecutar una campaña experimental para obtener datos de consumo de combustible de los taxis operando en tráfico real.
- Comparar los factores de consumo de combustible y emisiones de CO₂ entre los modelos de taxis más usados en Ibarra basándose en el enfoque VSP.

1.4. ALCANCE

Este estudio contempla la realización de una campaña experimental para recolectar datos precisos sobre los parámetros cinemáticos y operacionales de los taxis en la ciudad de Ibarra. La campaña abarcará la medición de velocidad y aceleración de los vehículos, así como la recopilación de datos sobre el flujo instantáneo de combustible y los parámetros operacionales del motor, empleando equipos de medición especializados durante el funcionamiento real de los taxis en diferentes condiciones urbanas. Posteriormente, se aplicó la metodología de Potencia Específica del Vehículo (VSP) para calcular las tasas promedio de consumo de combustible y las emisiones de CO₂ asociadas a cada modelo de taxi.

CAPÍTULO I

2. MARCO TEÓRICO

2.1. MOVILIDAD EN EL CANTÓN IBARRA

La ciudad de Ibarra, ubicada en la región norte de Ecuador, ha experimentado cambios significativos en su infraestructura y sistemas de transporte en las últimas décadas. La movilidad urbana en Ibarra se ha visto históricamente influenciada por una red de transporte público compuesta principalmente por autobuses y taxis, complementada por el uso extendido de vehículos privados por parte de la población local

Según datos previos a septiembre de 2021 obtenidos del “Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Ibarra, la dependencia de los servicios de autobuses y taxis ha sido una característica central de la movilidad urbana en Ibarra. A pesar de ciertos esfuerzos para mejorar la infraestructura de transporte y promover alternativas sostenibles, la ciudad aún enfrenta desafíos en términos de congestión vehicular, tiempos de viaje y acceso equitativo a los servicios de transporte.

2.1.1. DESCRIPCIÓN DE IBARRA

Ibarra, un cantón situado en la provincia de Imbabura, al norte de Ecuador, se encuentra a 115 km al noreste de la capital, Quito. Su altitud es de 2225 metros sobre el nivel del mar, lo que contribuye a un clima templado con una temperatura promedio de 18 °C y una humedad relativa del 68%. La ciudad de Ibarra está ubicada en una planicie a 2204 m.s.n.m., con pendientes suaves y vientos moderados. La densidad demográfica en el centro de Ibarra varía entre 280 y 434 habitantes por hectárea, y la población total es de aproximadamente 181,175 habitantes

2.1.2. TRANSPORTE PÚBLICO

El transporte en Ibarra es una combinación de transporte público y privado, que permite a los residentes y visitantes moverse por la ciudad y sus alrededores. En la ciudad de Ibarra sólo existen dos cooperativas de autobuses: San Miguel de Ibarra y 28 de septiembre, las cuales han tomado un papel protagónico en la prestación de este servicio. Sin embargo, el sistema enfrenta desafíos relacionados con la cobertura, la frecuencia, la calidad de los vehículos y la integración con otros modos de transporte. Estos aspectos limitan su eficacia y capacidad para atender a una población

en crecimiento. Por otro lado, según la Comisión Nacional de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial, los taxis son la opción preferida de los usuarios por motivos de seguridad, reducción de tiempo de traslado, comodidad, etc. En la ciudad existen 59 cooperativas que brindan dos tipos de servicios de taxi: convencional y ejecutivo. Un total de 1.381 vehículos están dando servicio activo al público. La vida útil de cada taxi convencional es de 15 años, en cambio el taxi ejecutivo tiene una vida útil de 10 años, a partir de su año de fabricación [1].

2.1.3. GENERALIDAD DE LA OPERACIÓN DE TAXIS

El servicio de taxi es un medio de transporte popular compuesto por vehículos generalmente pequeños o medianos, propiedad de personas naturales y no de empresas. Estos vehículos, que pueden ser abordados en la calle o en lugares específicos, tienen capacidad para transportar entre uno y cinco pasajeros. Los taxis son valorados por su conveniencia y flexibilidad, permitiendo a los usuarios solicitarlos en cualquier momento y lugar, en zonas donde esté permitido el servicio. Las tarifas varían según la ubicación, utilizando taxímetros o tarifas fijas, y los taxis pueden realizar viajes dentro de la ciudad o hacia destinos cercanos.

En la ciudad de Ibarra, existen tanto taxis convencionales como taxis ejecutivos. Los taxis ejecutivos operan puerta a puerta y deben detenerse en las paradas designadas, mientras que los taxis convencionales tienen la opción de estar en paradas o circular libremente. Además, hay una creciente presencia de cooperativas de taxis informales que ofrecen tarifas más bajas, lo que ha llevado a una proliferación de este tipo de servicio no regulado, que las autoridades no controlan.

2.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO MOTORES DE ENCENDIDO PROVOCADO

Los motores de encendido por chispa son los más comunes en vehículos en Latinoamérica. Estos motores MEP funcionan mediante la ignición controlada de una mezcla de combustible y aire en una cámara de combustión.

2.2.1. DESCRIPCIÓN DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

Un motor de combustión interna es un propulsor térmico que convierte la energía térmica liberada por la quema de un combustible en trabajo mecánico o par. Este proceso ocurre dentro del motor, donde el combustible se mezcla con el aire y luego se enciende mediante una chispa generada por

las bujías. La combustión resultante genera movimiento en los pistones, que a su vez hacen girar el cigüeñal y transmiten la potencia al sistema de transmisión del vehículo.

2.2.2. COMPONENTES DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

El motor es un conjunto de piezas las cuales se encuentran acopladas entre sí, este se divide en dos: partes fijas y partes móviles. Las partes fijas se conocen como las partes que no tienen movimiento, las principales son: Culata, Bloque, Cárter. Las partes móviles se conocen como partes que tienen movimiento las cuales ayudan a convertir la energía química a mecánica. Entre las principales partes móviles se tiene: Pistón, Biela, Cigüeñal, Volante del motor. A continuación, se describen los principales componentes del motor.

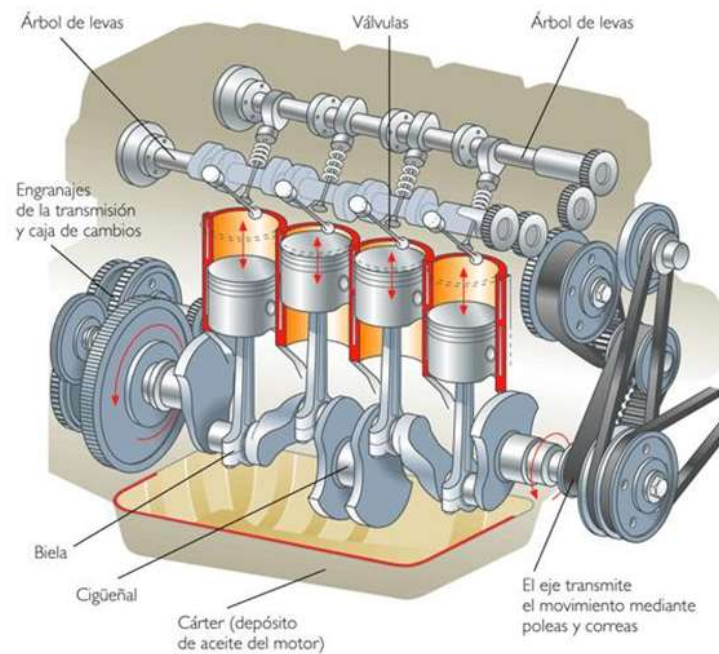


Figura 1. Componentes internos de un motor de combustión interna

Tomado de: Curso de máquinas mecánicas

- **Bloque motor.**

El bloque es la estructura que sostiene los componentes del motor, con canalizaciones para el aceite y cámaras para el refrigerante. Su principal característica es su rigidez para que sea capaz de resistir grandes esfuerzos sin sufrir deformaciones [2]. Es la parte fija más grande y pesada que contiene el motor.

- **Culata.**

Es una tapa que cierra el motor en la parte superior herméticamente para obtener una combustión y para mantener el poder calorífico del motor. En esta parte se encuentran localizadas válvulas y bujías.

- **Pistón.**

El pistón convierte la energía de la combustión en energía mecánica. Al encenderse la mezcla de aire y combustible, los gases presionan el pistón hacia abajo. El movimiento lineal del pistón se transforma en rotativo por el cigüeñal, impulsando las ruedas o realizando trabajo mecánico.

- **Cigüeñal.**

El cigüeñal convierte el movimiento alternativo de los pistones en movimiento rotativo en motores de combustión interna. Esta rotación se transmite por el sistema de bielas para impulsar la transmisión y las ruedas del vehículo.

- **Cárter.**

Es el último componente estructural del motor, es una tapa o recipiente metálico que cierra al bloque por la parte inferior. En el cárter se aloja el aceite con el que se lubrican las piezas internas del motor [3].

2.2.3. FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE ENCENDIDO PROVOCADO

El motor de combustión interna convierte energía química en mecánica mediante un ciclo de cuatro tiempos: admisión, compresión, combustión y escape. En la admisión, aire y combustible entran al cilindro. La mezcla se comprime a altas temperaturas y presiones. La combustión comienza por autoencendido, expandiendo gases que mueven el pistón y accionan el cigüeñal. Finalmente, los gases se expulsan del cilindro. Este proceso se repite, generando la potencia para mover un vehículo [4].

La eficiencia y las emisiones de los motores de combustión interna han sido objeto de investigación durante décadas. A pesar de los avances tecnológicos, como la inyección electrónica y los sistemas de post-tratamiento de gases de escape, estos motores siguen siendo una fuente importante de

contaminación atmosférica. Diversos estudios han demostrado la relación entre las emisiones de los vehículos motorizados y el cambio climático.

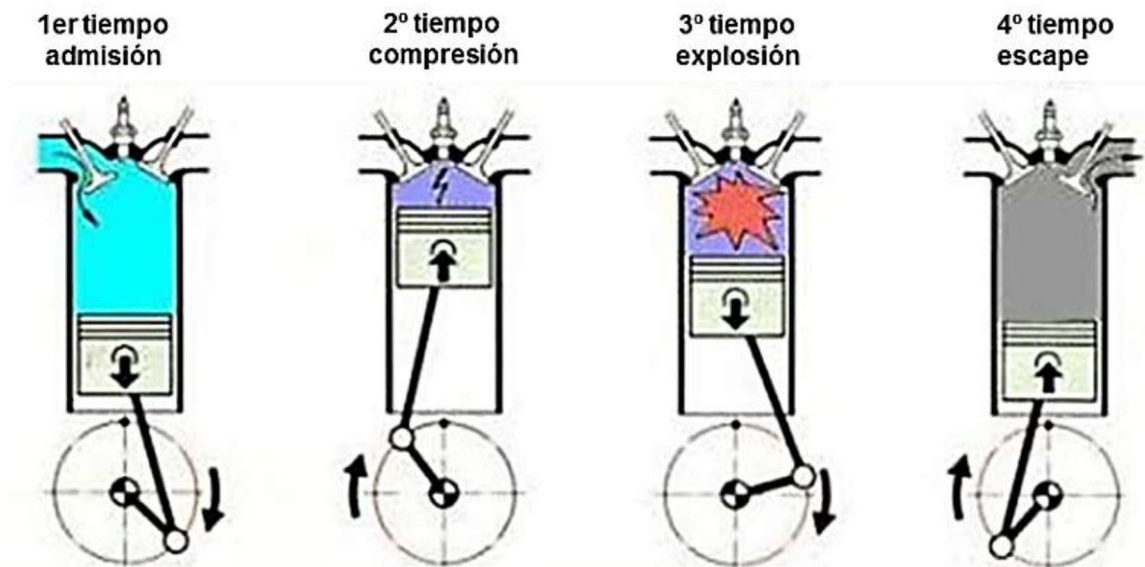


Figura 2. Ciclo del motor de encendido provocado.
Tomado de: (Moralez & Hernández, 2014, pág, 12)

2.2.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES MEP

Los motores MEP son motores de combustión interna a gasolina, con varias características detalladas a continuación:

- **Cilindrada.**

Es el volumen total de los cilindros de un motor de combustión interna, medido en cc o L. La cilindrada total de un motor térmico se obtiene sumando la cilindrada (V_u) unitaria de cada cilindro.

$$V_u = \frac{\pi * d^2}{4} * L \quad [2.1]$$

Donde:

L: carrera.

d: diámetro o calibre.

Una vez calculada la cilindrada unitaria, se calcula la cilindrada total multiplicando el valor por el número de cilindros del motor.

- **Curvas características.**

Las curvas características indican cómo varían las magnitudes físicas en función de las revoluciones del motor. Para representarlas se utilizan diagramas en los que se especifican las revoluciones en el eje de abscisas, y los diferentes parámetros, con sus unidades, en el eje de ordenadas[5].

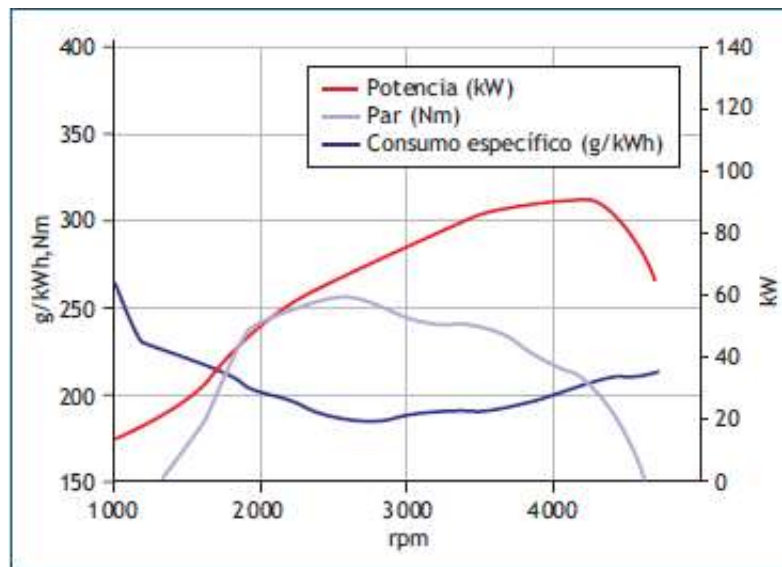


Figura 3. Curvas características
Tomado de: (Escudero et al., 2015, pág. 96)

- **Par motor.**

El par motor (M) es el producto de la fuerza aplicada sobre un cuerpo para hacerle girar, por la distancia al punto de giro[6]. El par motor se mide en Newton-metro (Nm) o libra-pie (lb-ft).

$$M = F * r \quad [2.2]$$

Donde:

M = par motor [Nm]

F = fuerza [Nm]

r = radio de giro [rad/seg]

- **Potencia.**

El concepto de potencia expresa cuantas veces está disponible el par motor en el tiempo, es decir, con qué velocidad se puede disponer del par. La potencia desarrollada por un motor depende de la relación de compresión y de la cilindrada, ya que a mayores valores de estas le corresponde mayor explosión y más fuerza aplicada al pistón, la unidad de potencia en el sistema internacional es el vatio (W), pero en el mundo automotriz es más común utilizar el kilovatio (kW) o el caballo de vapor (CV) [7].

$$P = M * n \quad [2.3]$$

Donde:

P = potencia del motor [hp]

M = par motor [Nm]

n = revoluciones por minuto de giro del motor (r.p.m.)

- **Consumo específico.**

El consumo específico de combustible es la cantidad de combustible consumida por unidad de potencia generada y tiempo de funcionamiento. Se mide en g/kWh. El consumo específico suele oscilar entre los valores siguientes: En motores de gasolina: de 220 g/kWh a 340 g/kWh. En motores diésel: de 150 g/kWh a 250 g/kWh [8].

2.3. FUNDAMENTOS DE LAS EMISIONES VEHICULARES

Las emisiones vehiculares son un problema ambiental global derivado de la combustión de combustibles fósiles. La combustión, aunque necesaria para la energía, libera contaminantes al aire. Estas emisiones deterioran la calidad del aire y contribuyen al cambio climático y problemas de salud. Las emisiones varían según el motor, el combustible, las condiciones de operación y el mantenimiento del vehículo. Entender los procesos de estas emisiones es clave para crear tecnologías y políticas que reduzcan su impacto ambiental.

2.3.1. FORMACIÓN DE EMISIONES MEP

Los motores de encendido provocado son una de las principales fuentes de contaminación atmosférica en las zonas urbanas. A través del proceso de combustión interna, estos motores convierten la energía química del combustible en energía mecánica para propulsar los vehículos [9]. Sin embargo, esta combustión no es perfecta y genera una serie de gases y partículas

contaminantes que son liberados al ambiente. La formación de estas emisiones está directamente relacionada con los procesos que ocurren dentro del motor, desde la mezcla del aire y el combustible hasta la expansión de los gases quemados.

En cuanto a las emisiones generadas por los vehículos propulsados por MEP, de manera general se dividen en tres tipos de contaminantes: emisiones de gases por el tubo de escape, emisiones evaporativas del combustible y emisiones de partículas al entrar en contacto con los frenos y las llantas [10].

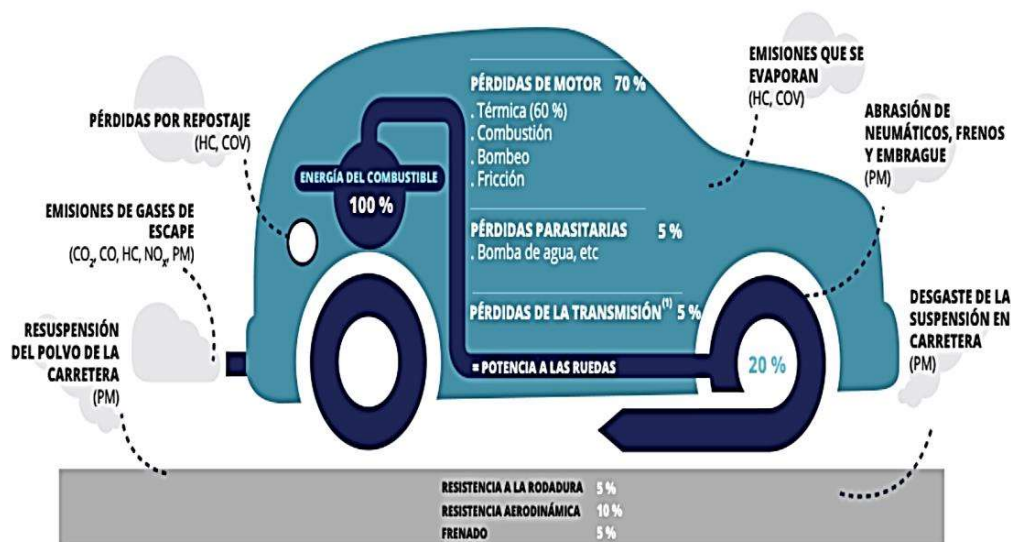


Figura 4. Emisiones vehículos MEP

Tomado de: Emisiones de vehículos y eficiencia

La Figura 4 muestra los contaminantes de un vehículo a gasolina. Las emisiones de escape incluyen CO₂, CO, HC, NO_x y PM. Las emisiones evaporativas incluyen HC y COV, mientras que las emisiones de partículas provienen de la abrasión de neumáticos, frenos, embrague, desgaste de la suspensión y polvo de la carretera [10].

La formación de gases en la combustión de combustibles, especialmente en motores de encendido provocado (MEP), es un proceso complejo que involucra numerosas reacciones químicas. Si bien no existe una única ecuación que describa completamente este fenómeno, algunas ecuaciones clave nos permiten comprender los principios fundamentales detrás de la generación de diferentes gases contaminantes.

2.3.2. TIPOS DE EMISIONES VEHICULARES

Las emisiones vehiculares son sustancias químicas liberadas al ambiente por la combustión de combustibles fósiles en motores. Las emisiones, gaseosas o particuladas, varían según el motor, el combustible, las condiciones de operación y el mantenimiento del vehículo.

- **Emisiones de escape.**

Las emisiones de escape de los vehículos se refieren a los subproductos resultantes de la combustión de combustibles en los motores de vehículos de combustión interna, que se liberan a la atmósfera a través del sistema de escape del vehículo. Estas emisiones incluyen una variedad de gases y partículas, y pueden tener impactos significativos en la calidad del aire y en la salud pública. Las emisiones de escape de los vehículos pueden contener varios contaminantes, incluidos, entre otros.

- **Emisiones de abrasión.**

El material particulado emitido se produce como resultado de la interacción entre la superficie de la carretera y los neumáticos del vehículo, y también con el uso de los frenos al disminuir la velocidad del vehículo. Estas actividades se centran en el material particulado que se emite directamente como el resultado del desgaste de esas superficies, y no en aquel resultante de la resuspensión de partículas.

La abrasión de las carreteras también puede contribuir a la generación de partículas finas y a la contaminación del aire.

- **Emisiones evaporativas.**

Estas emisiones son el resultado de los vapores que se escapan del sistema de combustible del vehículo[10]. Las emisiones evaporativas son importantes sólo para los COV. El vapor de gasolina contiene una variedad de HC diferentes, que pueden emitirse cada vez que hay combustible en el tanque, incluso cuando el vehículo está estacionado con el motor apagado

2.3.3. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES EMISIONES DE ESCAPE

Las emisiones de escape generadas por los vehículos son el resultado de la combustión de combustibles fósiles, como gasolina y diésel, en los motores de combustión interna [11]. Estas emisiones contienen una mezcla de gases y partículas que pueden tener efectos perjudiciales tanto

para la salud humana como para el medio ambiente. A continuación, se describen las principales emisiones de escape generadas por los vehículos.

- **Dióxido de carbono CO₂.**

El CO₂ es el principal gas de efecto invernadero emitido por los vehículos. Se genera a partir de la combustión completa de los hidrocarburos en los motores. Si bien el CO₂ no es tóxico a niveles comunes, su acumulación en la atmósfera contribuye significativamente al cambio climático. Las emisiones de CO₂ están directamente relacionadas con la cantidad de combustible consumido [12]. Cuanto mayor sea el consumo de combustible, mayores

- **Hidrocarburos (HC).**

Los hidrocarburos no quemados son compuestos orgánicos que resultan de la combustión incompleta de los combustibles en los motores de los vehículos. Estos hidrocarburos contribuyen a la formación de ozono a nivel del suelo, que es un componente principal del smog fotoquímico [13]. Además, algunos hidrocarburos, como el benceno, son carcinógenos. Los niveles de emisiones de hidrocarburos tienden a ser mayores en motores mal ajustados o en vehículos con sistemas de control de emisiones defectuosos.

- **Monóxido de carbono (CO).**

El CO es un gas incoloro e inodoro que se produce por la combustión incompleta del combustible. Es altamente tóxico para los seres humanos, ya que interfiere con la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, lo que puede provocar mareos, fatiga, e incluso la muerte en concentraciones elevadas. Las emisiones de monóxido de carbono son mayores cuando el motor opera en condiciones de mezcla rica (exceso de combustible) [14].

- **Material particulado (PM).**

Es resultado de combustión incompleta y mezcla de PM primaria y secundaria. Las PM "primarias" son emitidas directamente a la atmósfera, mientras que las "secundarias" se forman a partir de gases precursores como SO, NO y NH₃ y algunos COV. Las PM son contaminantes clave que dañan la salud al afectar el sistema respiratorio y agravar enfermedades cardiovasculares y pulmonares[15].

- **Óxidos de nitrógeno (NOx).**

Los óxidos de nitrógeno (NOx) se forman en la combustión a alta temperatura en motores. Se forman al reaccionar el nitrógeno del aire con el oxígeno, siendo sus principales componentes el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂). Los NOx generan ozono troposférico y smog, perjudicando la calidad del aire y la salud respiratoria. Además, causan lluvia ácida y afectan negativamente los ecosistemas. Las emisiones de NOx son mayores en motores diésel que operan a alta temperatura y presión [15].

2.3.4. ESTÁNDARES DE EMISIÓN

Los estándares de emisión son regulaciones que limitan los contaminantes en los gases de escape de vehículos e industrias. Estos estándares son esenciales para reducir la contaminación del aire y sus efectos en la salud y el medio ambiente. Los estándares de emisión buscan reducir contaminantes como CO, NOx, HC, partículas y SO₂ [16].

Las normas de emisión de gases en Europa se rigen por la legislación de la Unión Europea, que establece límites y estándares estrictos para las emisiones de vehículos y fuentes industriales. Entre las normativas más destacadas se encuentran las normas de emisión Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5 y Euro 6, que han ido evolucionando con el tiempo para imponer límites más estrictos a los contaminantes emitidos por los vehículos de motor, como los óxidos de nitrógeno (NOx), los hidrocarburos (HC), el monóxido de carbono (CO) y las partículas [17]. Estas normas se aplican a una amplia gama de vehículos, incluidos automóviles de pasajeros, camiones y autobuses, con el objetivo de reducir el impacto de la contaminación atmosférica en la salud humana y el medio ambiente, así como de fomentar la adopción de tecnologías más limpias y sostenibles en el sector del transporte.

Las regulaciones sobre emisiones de gases en América Latina dependen de cada país y pueden verse afectadas por normas internacionales o regionales, además de normas nacionales particulares. Numerosos países han implementado normativas afines a las de la Unión Europea o a las de la EPA de EE. UU., mientras que otros han creado regulaciones ajustadas a sus exigencias y circunstancias locales. Entre los contaminantes regulados están los óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO) y partículas, con límites específicos para diferentes vehículos y fuentes industriales. La adopción de regulaciones de emisión más severas en América Latina pretende disminuir la contaminación del aire y fomentar la utilización de

tecnologías más limpias y sostenibles para salvaguardar la salud pública y el entorno en la región. En Ecuador, la norma INEN 2024 establece que “cualquier fuente móvil con motor de gasolina, al funcionar en marcha mínima o ralentí y a temperatura normal, no debe emitir monóxido de carbono (CO) y hidrocarburos (HC) en cantidades mayores a las indicadas en la gráfica 5 [18]. Sin embargo, aunque el dióxido de carbono (CO₂) es un gas de efecto invernadero de gran importancia y contribuye significativamente al cambio climático, tradicionalmente no ha sido el foco principal de los estándares de emisión vehiculares y al igual que el FC no cuentan con límite de emisiones.

Año modelo	% CO*		ppm HC*	
	0 - 1 500 **	1 500 - 3 000 **	0 - 1 500 **	1 500 - 3 000 **
2000 y posteriores	1,0	1,0	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y anteriores	5,5	6,5	1 000	1 200

* Volumen
 **Altitud = metros sobre el nivel del mar (msnm).

Figura 5. Límite de emisiones

2.3.5. TECNOLOGÍA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE LOS MOTORES

En realidad, sólo entre el 18 y el 25 % de la energía contenida en el combustible se utiliza para mover vehículos. Por lo tanto, sigue existiendo un importante potencial técnico para aumentar la eficiencia de los vehículos. A continuación, se describen algunas de las principales tecnologías implementadas durante los últimos 20 años que han mejorado el rendimiento del motor.

- **Inyección directa.**

La inyección directa es hoy el medio específico que ofrece mayor potencial para reducir el consumo de combustible, hasta un 20%. El objetivo más importante es nada menos que reducir el consumo de combustible y, por tanto, las emisiones. Las emisiones de hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono se reducen hasta en un 99% gracias al uso de convertidores catalíticos de tres vías. En cambio, el dióxido de carbono CO₂, que se produce durante la combustión y aunque no es tóxico, provoca un efecto invernadero que sólo puede reducirse reduciendo el consumo de combustible [19].

- **Sincronización y elevación de válvulas variables.**

La válvula de Control de Tiempo Variable (VVT) es el sistema responsable de ajustar la sincronización de válvulas en función de ciertas condiciones del motor. Los VVT ahora son una tecnología común en vehículos que brindan mejor rendimiento, emisiones más bajas, recirculación

de gases de escape mejorada y mejor economía de combustible. Existen muchos métodos diferentes para lograr este proceso, como dispositivos mecánicos, dispositivos electrohidráulicos e incluso sistemas sin levas. Independientemente del tipo [20].

- **Desactivación del cilindro.**

Esta tecnología desactiva algunos de los cilindros del motor cuando no son necesarios. En una conducción normal con cargas bajas, el coche utiliza sólo alrededor del 30 % de la potencia máxima del motor. En estas condiciones, sólo se necesitan pequeñas cantidades de combustible y el motor necesita trabajar para aspirar aire. Esto provoca una ineficiencia conocida como pérdida de bombeo.

- **Turbocompresor.**

Un turbocompresor es un dispositivo que utiliza la energía de los gases de escape para comprimir el aire que ingresa al motor, aumentando la potencia y la eficiencia. Consta de una turbina y un compresor conectados por un eje. Al comprimir el aire, se obtiene una relación de compresión más alta y una mayor potencia del motor. También reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y mejora la eficiencia del combustible.

- **Tecnologías de escape.**

Un convertidor catalítico es un dispositivo que utiliza un catalizador para convertir los principales contaminantes atmosféricos nocivos de las emisiones de escape de los automóviles en compuestos inofensivos. El catalizador activa determinadas reacciones de oxidación y/o reducción, que transforman CO, HC y NO en CO₂, agua y nitrógeno. Un convertidor suele estar hecho de uno o más ladrillos en forma de "panal", que tienen una sección transversal típica de pequeños cuadrados o, alternativamente, triángulos.

2.4. EQUIPOS PARA MONITOREO VEHICULAR

Para monitorear vehículos y obtener datos como velocidad, aceleración, parámetros de operación del motor y consumo de combustible, existen varios equipos y sistemas que pueden utilizar

2.4.1. EQUIPOS PARA MONITOREO ON-BOARD

- **Gps Logger.**

GPS Logger es una aplicación sencilla utilizada para registrar su ubicación y ruta [21]. Es un rastreador GPS simple y liviano que se centra en la precisión y la eficiencia energética. Es un dispositivo instalado en los vehículos para detectar y recopilar datos sobre los mismos. Ya sea que se trate de monitorear el mantenimiento del vehículo o el uso de accesorios, una plataforma de administración de vehículos con GPS debe proporcionar información para garantizar un rendimiento óptimo del vehículo.



Figura 6. GPS logger

- **Obd Logger.**

OBD Data Logger es un equipo indispensable para el análisis de diagnóstico y para obtener datos específicos reales del vehículo en estado de funcionamiento. Se necesita un hardware el cual es inalámbrico, entre el más común se encuentra el ELM327 que cuenta con conectividad Bluetooth.

Por el lado del Software hace falta una aplicación que pueda enviarle datos de métricas, y luego interpretar los resultados. Existen múltiples aplicaciones para Android y iOS que pueden interactuar con este tipo de dispositivos, y mostrar las métricas en vivo, como por ejemplo Torque Pro que se consigue en Google Play.



Figura 7. OBD logger ELM327 Bluetooth

2.4.2. EQUIPOS DE MONITOREO DE EMISIONES Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Las pruebas de emisiones de vehículos son un proceso complejo. Se utilizan mediciones de laboratorio estándar para comprobar si un vehículo cumple con los requisitos oficiales de emisiones. Sin embargo, los procedimientos oficiales utilizados actualmente en Europa no se corresponden con las condiciones reales de conducción. Este problema ha llevado al desarrollo de nuevos procedimientos de medición, así como de sistemas portátiles de medición de emisiones para obtener información más precisa sobre las emisiones reales de gases de efecto invernadero [22].

- **PEMS (Portable emissions measurement system).**

Un sistema portátil de medición de emisiones (PEMS) es un sistema de medición móvil que contiene una variedad de dispositivos que pueden transportarse en un vehículo para monitorear las emisiones de contaminantes seleccionados en tiempo real [23].

PEMS tiene una serie de analizadores que pueden proporcionar valores para el flujo de gases de escape, el consumo de combustible, CO, CO₂, NO, NO₂ y la cantidad de partículas en el escape del vehículo. El sistema también tiene acceso a datos de a bordo (diagnóstico a bordo) de vehículos comerciales, así como canales de recogida de datos configurables que permiten ajustar y ampliar la instrumentación según las necesidades de cada proyecto. El monitoreo se realiza en cualquier momento en función de la ubicación GPS del vehículo, así como de las condiciones ambientales como presión, temperatura y humedad relativa [24].

- **Remote sensing.**

El sistema de detección remota de emisiones del vehículo incluye principalmente la computadora de control principal, el dispositivo de detección remota de emisiones, la cámara para matrícula, la estación meteorológica, la fuente y detector de luz, el reflector y el podómetro. La fuente de luz del sistema remote sensing emite rayos de luz infrarroja y luz ultravioleta, que pasan a través de la columna de escape del vehículo, los rayos de luz serán parcialmente absorbidos por la columna de escape emitidos hacia el receptor calculando los cambios espectrales de la luz recibida, se pueden obtener las concentraciones de CO, HC, NO y CO₂ en la columna de escape del vehículo. Al mismo tiempo, la cámara de matrícula registrará la matrícula del vehículo, el velocímetro medirá la velocidad y aceleración del vehículo y el instrumento meteorológico registrará los parámetros ambientales.

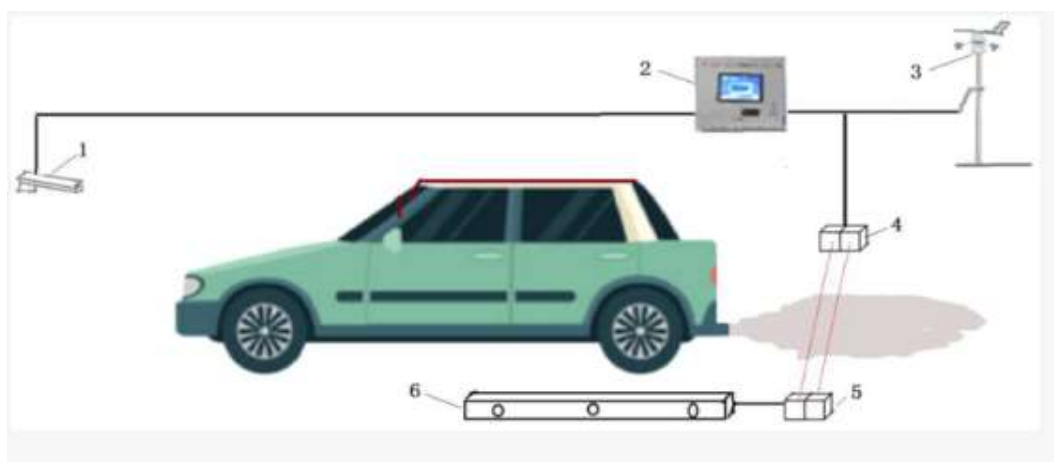


Figura 7. Remote sensing.
Tomado de: Xianfeng et al, 2022, pág, 4

2.4.3. EQUIPOS PARA ANÁLISIS DE PAR Y POTENCIA

Para analizar el par y la potencia de un vehículo, se requieren equipos especializados que midan de manera precisa estos parámetros en diversas condiciones de operación. Aquí se detallan algunos de los equipos más utilizados en la industria automotriz para el análisis de par y potencia:

- **Dinamómetro de motor.**

Un dinamómetro es un dispositivo que nos permite obtener tanto curvas de balance energético como características del motor, es decir: El par motor, la potencia y el consumo específico de combustible nos permiten saber cómo se distribuye la energía suministrada por el combustible al motor y en qué proporción. realmente se utiliza la energía [25].



Figura 8. Dinamómetro de motor.
Tomado de: Rosas & Barona, 2011, pág, 2

- **Dinamómetro de chasis.**

El dinamómetro de chasis es un dispositivo que mide la potencia y el par en las ruedas motrices del vehículo. Los resultados obtenidos se presentarán gráficamente mediante curvas. A diferencia de los dinamómetros utilizados para motores individuales, que miden la potencia directamente en el motor, el dinamómetro de chasis evalúa la potencia que realmente llega al suelo a través de las ruedas.

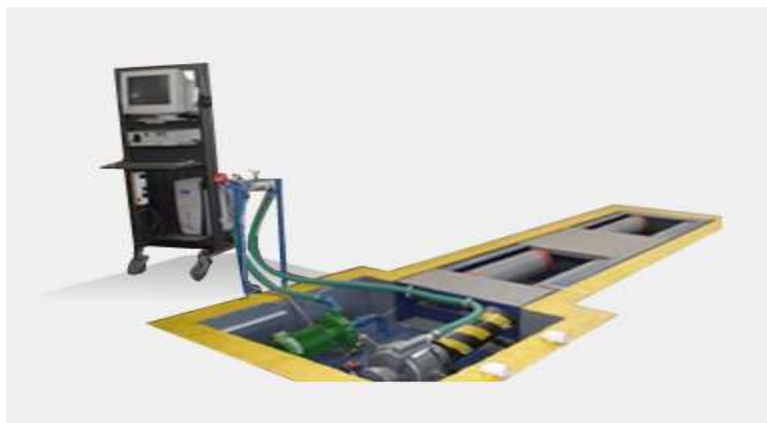


Figura 9. Dinamómetro de chasis.
Tomado de: SAENZ

2.5. SOFTWARE PARA PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO

Un software de procesamiento estadístico es una herramienta informática diseñada para realizar análisis estadísticos complejos y manejar datos de manera eficiente. Estos programas permiten a los usuarios realizar una amplia gama de tareas estadísticas, que van desde análisis descriptivos simples hasta modelado estadístico avanzado y predicciones complejas.

Algunos de los softwares de procesamiento estadístico más populares incluyen programas como SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), SAS (Statistical Analysis System), R, Stata, y Minitab, entre otros. Estos programas proporcionan una interfaz de usuario amigable que facilita la manipulación y el análisis de datos, y suelen incluir una amplia gama de herramientas estadísticas y funciones matemáticas para realizar diversos tipos de análisis, como pruebas de hipótesis, análisis de regresión, análisis de varianza y técnicas de minería de datos. Estos softwares son ampliamente utilizados en diversos campos, como la investigación científica, el análisis de datos empresariales, la investigación de mercado y la toma de decisiones basada en datos.

2.5.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

En general, los softwares para procesamiento estadístico son diseñados para ser amigables y fáciles de usar, incluso para usuarios con poca experiencia en estadística. A continuación, se presenta los pasos comúnmente utilizados para su funcionamiento:

- **Importación de datos:** Implica la transferencia de datos desde fuentes externas al software estadístico para su posterior análisis
- **Limpieza de datos:** Se refiere al proceso de identificar y corregir errores, valores atípicos y datos faltantes en el conjunto de datos, garantizando la integridad y la calidad de los datos antes de realizar cualquier análisis.
- **Selección de análisis:** Implica elegir las técnicas estadísticas adecuadas según la naturaleza de los datos y los objetivos del estudio.
- **Configuración de análisis:** Consiste en definir los parámetros y las especificaciones del análisis estadístico, como variables dependientes e independientes, modelos de regresión, pruebas de hipótesis y otras configuraciones específicas.

- **Ejecución de análisis:** Se refiere a la realización del análisis estadístico utilizando los parámetros y las configuraciones definidos previamente.
- **Interpretación de resultados:** Implica comprender y analizar los resultados del análisis estadístico, evaluando las conclusiones y las implicaciones del estudio en relación con la pregunta de investigación o el problema planteado.

Estos pasos pueden variar ligeramente dependiendo del software (SPSS, R, Python, Stata, etc.), pero en términos generales, siguen una estructura común y son diseñados para ser intuitivos.

2.5.2. SOFTWARE COMÚNMENTE USADOS

En el ámbito de la industria automotriz, el uso de software especializado desempeña un papel crucial en el diseño, desarrollo y evaluación de sistemas de vehículos. Estas herramientas informáticas permiten a los ingenieros simular y analizar diversos aspectos del rendimiento y la funcionalidad de los automóviles, abarcando desde la dinámica del vehículo hasta los sistemas de propulsión y control electrónico. A continuación, en la Tabla 1 se detalla algunos de los más conocidos y utilizados.

Tabla 1. Comparación de software

Software	Ventajas	Desventajas	Libre/Privado
Excel	Fácil de manipular, comandos sencillos	Maneja grandes volúmenes de datos	Privado
Matlab	Análisis numérico gráfico	Licencia costosa, límites en programación	Privado
Stata	Análisis estadístico avanzado	Limitaciones en análisis de datos no numéricos	Privado
R	Manejo voluminoso de datos	Requiere conocimientos previos	Privado

Google Earth Pro	Análisis de territorio	Memoria ram y espacio de disco considerable	Libre
TSI LogView	Mejora la resolución	Requiere conocimientos técnicos	Libre
Python	Versatilidad y portabilidad	Lento procesamiento de datos	Libre

2.6. METODOLOGÍAS Y MODELOS DE EMISIONES

El modelamiento de emisiones se refiere a la predicción y cuantificación de la cantidad de contaminantes y gases de efecto invernadero que son liberados al medio ambiente por diversas fuentes. Los diferentes enfoques se utilizan según el propósito del modelamiento, la disponibilidad de datos y la escala de estudio. A menudo, se combinan varios enfoques para obtener estimaciones más precisas de las emisiones y su impacto en el medio ambiente.

2.6.1. ENFOQUES PARA EL MODELAMIENTO DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y EMISIONES

Modelar el consumo de combustible de los vehículos es esencial para comprender y mejorar la eficiencia del combustible, lo que tiene un impacto directo en la economía de combustible y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Normalmente se utiliza un modelo basado en el ciclo de conducción, se estiman analíticamente y objetivamente el coeficiente de resistencia aerodinámica " C_d " y la resistencia a la rodadura " f_r ", así como el coeficiente corrector de fuerza en carretera para calcular el consumo de combustible. Las pruebas del dinamómetro de chasis se basan en el ciclo de conducción FTP75 y HWFE [26].

2.6.2. MODELO DE EMISIONES MÁS COMÚN

Los investigadores y las agencias de regulación utilizan modelos de emisiones que relacionan la potencia específica del vehículo con las emisiones específicas. Estos modelos se desarrollan a partir de datos de emisiones recopilados en pruebas de laboratorio y pruebas de carretera.

- **MOVES (motor vehicle emission simulator).**

Es el Simulador de Emisiones de Vehículos de Motor desarrollado por la EPA, el propósito de esta herramienta es proporcionar estimaciones de emisiones de fuentes móviles bajo una variedad de condiciones definidas por el usuario. MOVES puede calcular inventarios de emisiones (emisiones totales en el tiempo) o factores de emisión (emisiones en distancia y población)[27].

- **PHEM (Passenger car and heavy duty vehicle emission model).**

PHEM registra las emisiones instantáneas para calcular el consumo de combustible, tomando la potencia instantánea y la velocidad del motor como variables clave según el estilo de conducción del usuario. El modelo incluye mediciones del dinamómetro y del equipo de monitoreo móvil como resultados de las pruebas de emisiones de entrada, lo que resulta en múltiples factores de emisión. El principio metodológico del modelo PHEM es calcular el consumo energético del motor [28].

- **IVE (Modelo internacional de emisiones vehiculares).**

El modelo IVE fue creado específicamente con la intención de calcular y estimar las emisiones producidas por vehículos motorizados. Su objetivo principal es servir como una herramienta útil y efectiva en países que están en proceso de desarrollo y que buscan mejorar su gestión ambiental y controlar la contaminación vehicular. El modelo IVE ha sido específicamente diseñado con el propósito de utilizar tanto factores de emisión, ya sean estos nuevos o aquellos que ya existen, así como datos locales que son sencillos de recolectar, con el fin de llevar a cabo una cuantificación precisa de estas tres entradas que son consideradas esenciales para el análisis. Después de que se haya juntado toda esta información relevante, se puede crear de manera sencilla un inventario de emisiones, el cual también tiene la capacidad de ser ajustado para poder analizar diferentes escenarios alternativos que se presenten. El procedimiento utilizado para calcular las emisiones en el modelo IVE implica una serie de pasos en los cuales se toma como punto de partida una base que contiene los factores de emisión. A esta base se le aplican los diferentes factores de corrección relevantes, así como también se considera la distancia recorrida por cada tipo de vehículo, teniendo en cuenta las diversas tecnologías involucradas en el proceso. Por lo tanto, el cálculo final de las emisiones se obtiene mediante la multiplicación de todos estos elementos [29]

2.6.3. ENFOQUE DE POTENCIA ESPECÍFICA DEL VEHÍCULO (VSP)

Se trata de un enfoque metodológico que se emplea en el ámbito de la modelización de las emisiones generadas por vehículos. Este método es especialmente útil para realizar predicciones sobre la cantidad de gases contaminantes y aquellos gases que contribuyen al efecto invernadero que estos vehículos pueden emitir. El Vehículo de Servicios Públicos (VSP) se fundamenta en la conexión que existe entre la potencia específica de un determinado vehículo y la cantidad de emisiones contaminantes que se generan mientras este vehículo está en operación. En los modelos utilizados para el cálculo de emisiones, se ha incorporado de forma efectiva el enfoque que se basa en la potencia específica de los vehículos. Esto ha permitido llevar a cabo una evaluación exhaustiva de diversos factores que son significativos, tales como las características físicas y técnicas específicas de los vehículos, los diferentes modos de conducción adoptados por los conductores, las condiciones de tráfico que predominan en las vías y la geografía particular de la ciudad. Todos estos elementos juegan un papel crucial en la determinación de la cantidad de emisiones generadas. Además de lo anteriormente mencionado, es importante señalar que el enfoque de Modelización de Emisiones sobre la base de VSP implica llevar a cabo un análisis minucioso de la dinámica a lo largo del tiempo, así como considerar de manera específica la presentación y las características particulares del vehículo, aspectos que se describirán con mayor detalle en las secciones que siguen[30].

- **Dinámica longitudinal del vehículo**

La dinámica longitudinal del vehículo se refiere al estudio de las fuerzas y movimientos que actúan a lo largo del eje longitudinal de un vehículo (es decir, en la dirección de avance o retroceso). Esto involucra el análisis de la aceleración, frenado y la resistencia que el vehículo encuentra mientras se mueve hacia adelante o hacia atrás.

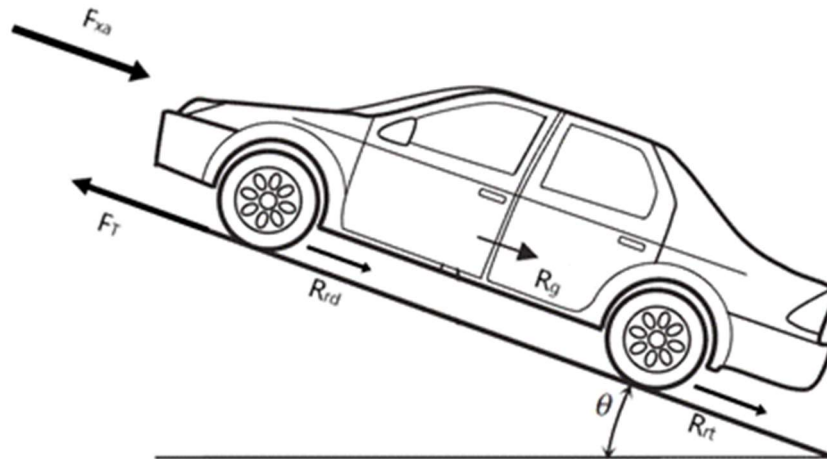


Figura 10. Diagrama de fuerzas que intervienen en la dinámica longitudinal de un vehículo

Tomado de: Novadinergia, 2021

Las fuerzas que ejercen la gravedad y las fuerzas normales tienen una estrecha relación con la carga que un vehículo distribuye sobre sus ruedas. Esta distribución de la carga puede verse alterada por varios factores, tales como la distancia entre los ejes del vehículo, la ubicación del centro de gravedad, el ángulo de inclinación de la superficie en la que se desplaza, la resistencia aerodinámica que enfrenta durante su movimiento, así como por la aceleración a la que está sometido el vehículo en un momento dado. Tienen un impacto significativo en las fuerzas que afectan el movimiento de las ruedas, lo cual se produce en conjunto con el coeficiente de fricción y la relación de deslizamiento que se establece entre las ruedas y la superficie sobre la que están rodando. La resistencia a la rodadura actúa como un obstáculo contra este tipo de movimiento, ya que se traduce en una pérdida de energía que se produce como consecuencia del rebote y la deformación de los neumáticos al estar en contacto con la superficie de la carretera [30].

La resistencia aerodinámica también frena el avance del vehículo. Depende de la velocidad del vehículo y la resistencia a la rodadura. La densidad del aire afecta significativamente esta fuerza. Generalmente, el valor ρ del aire en pruebas aerodinámicas es 1.225 kg/m^3 a 15°C y 101.32 kPa . Los componentes restantes son el coeficiente aerodinámico, el área frontal y la velocidad del viento [30].

- **Potencia específica del vehículo.**

La Potencia Específica del Vehículo (VSP, por sus siglas en inglés: Vehicle Specific Power) es un parámetro que describe la demanda de potencia del motor por unidad de masa del vehículo en

función de su aceleración, velocidad, pendiente y resistencias. Su unidad métrica en el SI es W/kg, pero la más utilizada para los vehículos de carretera es kW/ton.

La fórmula general de VSP es:

$$VSP = \frac{v}{m} (F_{traccion} + F_{aero} + F_{rodadura} + F_{gravedad}) \quad [2.5]$$

Sin embargo, una versión simplificada de la VSP, más utilizada en estudios prácticos, es la siguiente

$$VSP = v(a + g + \sin(\theta)) + \frac{C_{rr}}{m} + \frac{\frac{1}{2} * \rho * C_d * A * v^2}{m} \quad [2.6]$$

Donde:

v : es la potencia del vehículo (m/s)

a : es la aceleración longitudinal (m/s²)

g : es la aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

θ : es el ángulo de la pendiente de la carretera (rad)

C_{rr} : es el coeficiente de resistencia a la rodadura

ρ : es la densidad del aire (kg/m³)

C_d : es el coeficiente de arrastre aerodinámico.

A : es el área frontal del vehículo (m²)

m : es la masa del vehículo (kg)

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

En el siguiente capítulo, se describe detalladamente la secuencia de procesos necesarios para desarrollar y completar la propuesta experimental de este estudio, la cual se ilustra en el flujograma que se presenta a continuación.

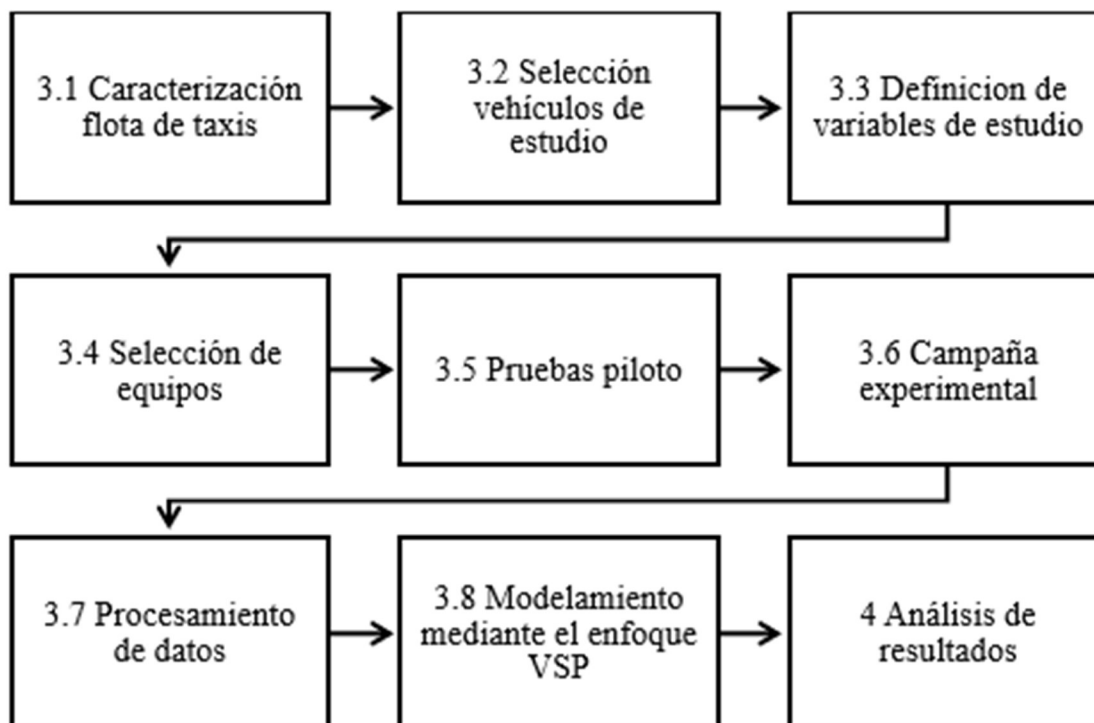


Figura 11. Flujograma de la metodología del estudio de investigación

3.1. CARACTERIZACIÓN FLOTA DE TAXIS

La flota de taxis de la ciudad de Ibarra fue caracterizada mediante información proporcionada por la empresa Movidelnor EP. Estos datos permitieron obtener un mejor entendimiento sobre la cantidad de taxis operativos, sus características generales, así como sus marcas y modelos. En la Tabla 2, se detallan los vehículos de acuerdo con un censo realizado en 2023, que arrojó un total de 1,381 taxis distribuidos en 59 cooperativas, incluyendo tanto taxis convencionales como ejecutivos. Esta información resultó esencial para comprender el estado actual de la flota de taxis.

Tabla 2. *Total, número de taxis de la ciudad*

Tipo de taxis	Total
Convencionales	994
Ejecutivos	387
Total	1381

Fuente: Movidelnor EP

3.1.1. ESPECIFICACIONES DE LAS MARCAS Y MODELOS

En la ciudad de Ibarra, se identificó una amplia variedad de marcas de vehículos empleados en el servicio de taxi. No obstante, según los datos presentados en la tabla 3, se determinó que tres marcas predominan en el mercado de taxis: Chevrolet, Kia y Hyundai. Estas tres marcas representan aproximadamente el 84% del total de vehículos dedicados a dicho servicio en la ciudad.

Tabla 3. *Número de taxis por marcas*

Marca	Total	Porcentaje
Chevrolet	535	39%
Kia	394	29%
Hyundai	218	16%
Nissan	161	12%
Citroën	23	2%
Great Wall	21	2%
Renault	19	1%

Toyota	4	0,2%
Mazda	3	0,2%
Chery	2	0,1%
Škoda	1	0,07%

3.1.2. MODELOS REPRESENTATIVOS

En Ibarra, la diversidad de modelos de taxi es notable, sin embargo, la tabla 4, revela una tendencia clara hacia ciertos modelos específicos. Chevrolet, Kia y Hyundai lideran el mercado, destacándose por la frecuencia con la que los modelos como el Sail LS, Rio y Accent, respectivamente, circulan como taxis. Estos vehículos parecen haberse adaptado de manera óptima a las necesidades del servicio público en la ciudad.

Tabla 4. *Modelo de vehículos representativos.*

Marca	Modelo
Chevrolet	Sail LS AC 1.5 4P 4X2 TM
Kia	Rio 1.4L LX 4P
Hyundai	Accent 1.4 4P 4X2 TM
Nissan	Sentra 1.6 M/T
Citroën	C-elysee N1 AC 1.6 4P 4X2 TM Diesel
Great Wall	Voleex C30 confort AC 1.5 4P 4X2 TM
Renault	Logan 1.6 M/T
Toyota	T Yaris sedan STD AA
Mazda	Allegro sedan 1.6

Chery	Arrizo 3 AC 1.5 4P 4X2 TM
Škoda	Fabia A05 combi ambiente GT 1.6 5P 4X2 TM

3.2. SELECCIÓN VEHÍCULOS DE ESTUDIO

Como se mencionó anteriormente, las tres marcas más relevantes de la flota vehicular de taxis de la ciudad de Ibarra fueron Chevrolet, Kia y Hyundai. Por esta razón, para el presente estudio se seleccionaron los siguientes modelos de vehículos Sail LS, Rio y Accent, los cuales se detalla en la Tabla 5.

Tabla 5. *Detalle vehículos seleccionados.*

N°	Marca	Modelo	Año
1	Chevrolet	Sail LS AC 1.5 4P 4X2 TM	2021
2	Kia	Rio 1.4L LX 4P	2019
3	Hyundai	Accent 1.4 4P 4X2 TM	2019

3.2.1. CHEVROLET SAIL

El Chevrolet Sail 1.5L se empezó a comercializar desde el año 2018 en el Ecuador, este vehículo es de procedencia China, se ha consolidado como uno de los modelos más populares entre los taxis de la ciudad de Ibarra. Este sedán se caracteriza por estar equipado con un motor de 1.5 litros y 109 caballos de fuerza, como se detalla en la Tabla 6, ofrece un equilibrio entre rendimiento y eficiencia en el consumo de combustible, característica valorada por los taxistas debido a la naturaleza de su trabajo, se ha convertido en una opción preferida por muchos taxistas ibarreños, quienes valoran su durabilidad y bajo costo de mantenimiento.

Tabla 6. *Detalles vehículo Chevrolet Sail.*

INFORMACIÓN DEL VEHÍCULO	
Marca	Chevrolet
Modelo	Sail
Año	2021
Configuración Motor	LS AC 1.5L VVT
Puertas	4
Unidad de potencia	Motor de combustión interna
MOTOR	
Potencia	109HP / 6000rpm
Par	141Nm / 4000rpm
Numero de cilindros	4
VOLUMEN Y PESO	
Peso	1070 kg
Capacidad deposito	39L
Tracción	Delantera
Tipo de dirección	Hidráulica
Peso de remolque	-
RENDIMIENTO	
Consumo de combustible	5.3L/100Km
Combustible	Gasolina
Emisiones	-

3.2.2. KIA RIO

El Kia Rio 1.4L ha sido comercializado en Ecuador desde el año 2012 y se destacó por estar equipado con un motor de 1.4L, capaz de generar una potencia de 99 HP y un torque máximo de 133 Nm, como se detalla en la Tabla 7. Este vehículo, debido a sus características de rendimiento y dimensiones, demostró ser una opción ideal para el trabajo de taxi, particularmente en la ciudad de Ibarra, donde ha sido preferido por los taxistas desde hace varios años. Su eficiencia y

confiabilidad para adaptarse a las exigencias urbanas lo convirtieron en una elección popular entre los conductores que buscan un equilibrio entre rendimiento y economía.

Tabla 7. *Detalle vehículo Kia Rio*

INFORMACIÓN DEL VEHÍCULO	
Marca	Kia
Modelo	Rio
Año	2021
Configuración Motor	1.4L LX
Puertas	4
Unidad de potencia	Motor de combustión interna
MOTOR	
Potencia	99HP / 6000rpm
Par	133Nm/4000rpm
Numero de cilindros	4
VOLUMEN Y PESO	
Peso	1103 kg
Capacidad deposito	45L
Tracción	Delantera
Tipo de dirección	Eléctrica
Peso de remolque	-
RENDIMIENTO	
Consumo de combustible	5.5L/100Km
Combustible	Gasolina
Emisiones	127gr/km

3.2.3. HYUNDAI ACCENT

El Hyundai Accent 2019, con su configuración de motor TM 1.4, se ha posicionado como una opción popular entre los taxis de Ibarra. Introducido en el mercado ecuatoriano la cuarta generación en el año 2011, este sedán de cuatro puertas ha cautivado a los conductores por su eficiencia en el consumo de combustible. Su motor de 4 cilindros, capaz de generar 97 caballos de

fuerza y 125 Nm de torque como se detalla en la Tabla 8, proporciona un desempeño adecuado para la ciudad, lo que lo convierte en una opción atractiva para los taxistas ibarreños.

Tabla 8. Detalle vehículo Hyundai

INFORMACIÓN DEL VEHÍCULO	
Marca	Hyundai
Modelo	Accent
Año	2019
Configuración Motor	TM 1.4
Puertas	4
Unidad de potencia	Motor de combustión interna
MOTOR	
Potencia	97HP / 6000rpm
Par	125Nm/4700rpm
Numero de cilindros	4
VOLUMEN Y PESO	
Peso	1133 kg
Capacidad deposito	45L
Tracción	Delantera
Tipo de dirección	Eléctrica
Peso de remolque	-
RENDIMIENTO	
Consumo de combustible	6.1L/100Km
Combustible	Gasolina
Emisiones	146gr/km

3.3. DEFINICIÓN DE VARIABLES

Para la selección de variables, se utilizaron fórmulas y parámetros específicos que resultaron fundamentales para los cálculos realizados en este estudio. Estas variables estuvieron directamente relacionadas con la cinemática del vehículo, los modos de operación, el VSP, así como con el análisis del consumo de combustible y el factor de emisiones.

3.3.1. VARIABLES CINEMÁTICAS

- **Distancia**

La variable distancia se utilizó para registrar tanto la distancia total como la parcial recorrida por los taxis durante el período de seguimiento. Esta medición resultó esencial para determinar con precisión la posición del taxi en distintos momentos del trayecto. La unidad de medida empleada para esta variable fue el metro (m), lo que facilitó un análisis detallado y consistente de los datos recopilados a lo largo del estudio.

- **Tiempo**

Esta variable fue clave para estimar con precisión los intervalos de tiempo en los que se registraron los datos. El tiempo (t), expresado en segundos (s), se utilizó para evaluar la duración total de los trayectos de los taxis durante las pruebas realizadas. Este análisis temporal permitió correlacionar los tiempos de viaje con otros factores como el consumo de combustible y las emisiones.

- **Velocidad**

La velocidad instantánea (v), expresada en km/h, se empleó para analizar el comportamiento del vehículo en intervalos de un segundo. Debido a que los conductores mostraron diferentes estilos de conducción, las velocidades registradas variaron según cada operador. Por esta razón, se recopilaron datos precisos en cada ruta estudiada para estimar dichas variaciones. Para calcular la velocidad instantánea de los taxis en la Ciudad de Ibarra, se utilizó la siguiente ecuación 3.1.

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta_d}{\Delta_t} \quad [3.1]$$

Donde:

v = Velocidad instantánea del taxi [km/h].

Δ_d = Posición instantánea del vector posición.

Δ_t = Variación del tiempo; ($\Delta_t = 1$ s).

La velocidad promedio de los taxis en cada ruta se calculó para identificar la velocidad máxima en cada tramo específico. Este cálculo se realizó utilizando la ecuación 3.2, la cual se fundamentó en la sumatoria de las velocidades promedio registradas en cada tramo recorrido por los taxis en

la ciudad. Esta metodología permitió obtener una visión clara y detallada del desempeño del servicio de transporte en las distintas rutas analizadas.

$$V_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{t_i} \quad [3.2]$$

Donde:

V_p = Velocidad promedio de cada taxi [km/h].

d_i = Distancia [km].

t_i = Tiempo [h].

i = Número de taxi

- **Aceleración**

La aceleración instantánea (a), expresada en m/s^2 , se utilizó para analizar los patrones de conducción de los operadores, registrando datos en intervalos de un segundo. A partir de las mediciones de velocidad instantánea y aceleración, se calcularon los porcentajes de tiempo de los vehículos, como ralentí, aceleración, cruceo y desaceleración. Además, esta variable fue fundamental para el cálculo del VSP instantáneo. Para determinar la aceleración instantánea de los taxis, se aplicó la ecuación 3.3

$$a = \frac{V_f - V_o}{\Delta_t} \quad [3.3]$$

Donde:

a = Aceleración instantánea del taxi [m/s^2].

V_f = Velocidad final [m/s].

V_o = Velocidad inicial [m/s].

Δ_t = Variación del tiempo ($\Delta t = 1$ s).

Las ecuaciones 3.4 y 3.5 se utilizaron para calcular la aceleración y desaceleración promedio de los vehículos en cada tramo, generando como resultado valores positivos para la aceleración y negativos para la desaceleración.

$$a_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a \quad [3.4]$$

Donde:

a_p = Aceleración promedio [m/s^2].

a = Aceleración instantánea [m/s^2].

n = Número de datos.

i = Número de taxi.

$$d_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d \quad [3.5]$$

Donde:

d_p = Desaceleración promedio [m/s^2].

d = Desaceleración instantánea [m/s^2].

n = Número de datos.

i = Número de taxi.

3.3.2. ESTADOS DE CONDUCCIÓN

Una vez calculadas las variables cinemáticas, se establecieron las condiciones basadas en la aceleración y la velocidad de los vehículos. Como se ilustra en la Figura 13, según la condición cumplida, se asignó un valor de uno, mientras que en los casos donde no se cumplía, se asignó un valor de cero.

Condiciones para los estados de conducción	{	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Ralentí:</i> ($v \leq 2\text{km/h}$) & ($a = 0\text{m/s}^2$) • <i>Crucero:</i> ($-0.1\text{m/s}^2 < a < 0.1\text{m/s}^2$) & ($v > 2\text{km/h}$) • <i>Aceleración:</i> ($a \geq 0.1\text{m/s}^2$) & ($v > 2\text{km/h}$) • <i>Desaceleración:</i> ($v > 2\text{km/h}$) & ($a \leq 0.1\text{m/s}^2$)
---	---	--

Figura 12. Condición estados de conducción.

Los estados de conducción permitieron identificar el estilo de manejo de los conductores de los vehículos de prueba. Estos estados incluyen ralentí (ER), cruceo (EC), aceleración (EA) y desaceleración (ED), los cuales se calcularon en términos porcentuales utilizando las ecuaciones 3.6, 3.7, 3.8 y 3.9 respectivamente, detalladas a continuación.

$$E_R = \sum_{i=1}^n \frac{T_{RI}}{T_{Ti}} * 100\% \quad [3.6]$$

Donde:

E_R = Porcentaje de permanencia en ralentí [%].

T_{RI} = Tiempo de permanencia en estado ralentí [s].

T_{Ti} = Tiempo total de viaje [s].

n = Número de datos.

i = Número de taxi.

$$E_C = \sum_{i=1}^n \frac{T_{CI}}{T_{Ti}} * 100\% \quad [3.7]$$

Donde:

E_C = Porcentaje de permanencia en cruceo [%].

T_{CI} = Tiempo de permanencia en estado cruceo [s].

T_{Ti} = Tiempo total de viaje [s].

n = Número de datos.

i = Número de taxi.

$$E_A = \sum_{i=1}^n \frac{T_{AI}}{T_{Ti}} * 100\% \quad [3.8]$$

Donde:

E_A = Porcentaje de permanencia en aceleración [%].

T_{AI} = Tiempo de permanencia en estado aceleración [s].

T_{Ti} = Tiempo total de viaje [s].

n = Número de datos.

i = Número de taxi.

$$E_D = \sum_{i=1}^n \frac{T_{DI}}{T_{Ti}} * 100\% \quad [3.9]$$

Donde:

E_D = Porcentaje de permanencia en desaceleración [%].

T_{DI} = Tiempo de permanencia en estado desaceleración [s].

T_{Ti} = Tiempo total de viaje [s].

n = Número de datos.

i = Número de taxi.

3.3.3. POTENCIA ESPECIFICA DEL VEHÍCULO (VSP)

El parámetro VSP se empleó para analizar la relación entre el consumo de combustible y las actividades del vehículo. El VSP, expresado en kilovatios por tonelada, se define como la potencia de tracción instantánea por unidad de masa del vehículo[31] . En el caso de un vehículo ligero típico, el VSP se calculó utilizando la ecuación 3.10.

$$VSP = v * (a(1 + \varepsilon_i) + g * \alpha + g * C_R) + \frac{1}{2} \rho_a * v^3 \left(\frac{C_D * A}{m} \right) \quad [3.10]$$

Donde:

m = Masa del vehículo [kg].

v = Velocidad del vehículo [m/s].

a = Aceleración [m/s²].

$\varepsilon_i \sim 0,1$ factor de masa para las masas rotacionales.

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ gravedad.

α = Pendiente de la carretera [°].

C_R = Coeficiente de resistencia a la rodadura (adimensional).

C_D = Coeficiente de arrastre (adimensional).

ρ_a = Densidad del aire [kg/m³].

A = Área de la sección transversal [m²].

Los valores de VSP se agrupan en 14 modos, de los cuales se calculó los diferentes BINES como se presenta en la Figura 13.

Modos VSP [W kg ⁻¹]	BIN_VSP	BIN VSP - Velocidad			
		$v < 1$	$1 \leq v < 40$	$40 \leq v < 80$	$v > 80$
VSP < -4	1		101	201	301
-4 ≤ VSP < -2	2		102	202	302
-2 ≤ VSP < -1	3		103	203	303
-1 ≤ VSP < 0	4		104	204	304
0 ≤ VSP < 1	5	Desaceleracion o frenado	105	205	305
1 ≤ VSP < 2	6	BIN = 0	106	206	306
2 ≤ VSP < 4	7		107	207	307
4 ≤ VSP < 6	8		108	208	308
6 ≤ VSP < 8	9	Ralentí	109	209	309
8 ≤ VSP < 10	10	BIN = 1	110	210	310
10 ≤ VSP < 12	11		111	211	311
12 ≤ VSP < 14	12		112	212	312
VSP ≥ 14	13		113	213	313

Figura 13. Modos VSP y BIN VSP-velocidad

3.3.4. CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y FACTOR DE EMISIONES

Para calcular el flujo de combustible en cada ciclo de conducción, fue esencial obtener datos precisos sobre la densidad del combustible utilizado. En este estudio se empleó gasolina extra, por lo que se utilizó un valor de 735,37 g/l. Este parámetro fue fundamental para estimar con precisión la cantidad de combustible consumido durante las pruebas, utilizando la ecuación 3.11.

$$\dot{m}_i = \frac{TC_i * \rho}{3600} \quad [3.11]$$

Donde:

\dot{m}_i = Flujo de combustible instantánea [g/s].

ρ = Densidad del combustible [g/l].

TC_i = Consumo de combustible instantáneo [l/h].

El cálculo de las emisiones de CO₂ se fundamentó en los datos obtenidos del consumo de combustible, lo que permitió ajustar el factor de emisiones. Para ello, se utilizó la ecuación química 3.12, en la cual el hidrocarburo (C_xH_y) se expresa como la relación entre los gramos de CO₂ generados y la cantidad de gramos de combustible instantáneo.

$$C_xH_y = \frac{K_{gCO_2}}{K_{gCom}} = \frac{44}{12 + \frac{y}{x}} \quad [3.12]$$

El valor obtenido de CO₂ se multiplicó por el flujo de combustible [\dot{m}_i] para obtener los valores de consumo instantáneo. Como se indica en la siguiente ecuación 3.13.

$$CO_2 = \dot{m}_i * C_xH_y \quad [3.13]$$

Donde:

CO₂ = Emisión de CO₂ instantánea [g/s].

\dot{m}_i = Consumo del combustible instantánea [g/s].

C_xH_y = Gasolina extra x=8, y=18.

Para determinar los factores promedio de consumo de combustible y emisiones de CO₂ en cada tramo (urbano, suburbano y autopista) se utilizaron las siguientes ecuaciones 3.14 y 3.15, respectivamente.

$$F_{\text{consumo_combustible}} = \sum_{i=1}^n \frac{\dot{m}_{i,x}}{d_{i,x}}, x = u, r, a \quad [3.14]$$

Donde:

$\dot{m}_{i,x}$ = Consumo instantánea de combustible en el tramo x [g/s].

$d_{i,x}$ = Distancia recorrida [km].

$$F_{\text{emision_CO2}} = \sum_{i=1}^n \frac{CO_{2i,x}}{d_{i,x}}, x = u, r, a \quad [3.15]$$

Donde:

$CO_{2i,x}$ = Emisión de CO₂ instantánea de combustible consumido en el tramo x.

d = Distancia recorrida.

Para determinar la tasa promedio de consumo de combustible y emisiones de CO₂ mediante el modo operativo Bin VSP, los datos agrupados se promediaron utilizando las ecuaciones 3.16 y 3.17 respectivamente.

$$\overline{FC}_{i,l} = \frac{\sum_{n=1}^{N_{i,l}} (FC_{i,l,n})}{N_{i,l}} \quad [3.16]$$

Donde:

$\overline{FC}_{i,l}$ = Tasa de consumo de combustible estimada por Bin VSP [g/s].

i = Vehículo.

l = Bin VSP.

$FC_{i,l,n}$ = Consumo de combustible instantáneo [g/s].

$$\overline{ER}_{i,l} = \frac{\sum_{n=1}^{N_{i,l}} (ER_{i,l,n})}{N_{i,l}} \quad [3.17]$$

Donde:

$\overline{ER}_{i,l}$ = Tasa de emisiones CO₂ estimada por Bin VSP [g/s].

i = Vehículo.

l = Bin VSP.

$ER_{i,l,n}$ = Emisiones de CO₂ instantáneo [g/s].

$N_{i,l}$ = Numero de datos.

3.4. SELECCIÓN DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS DIGITALES

Con base en las variables de estudio, fue necesario seleccionar equipos adecuados para monitorear tanto la cinemática del vehículo como la operación del motor. La elección de estos equipos y herramientas digitales fue crucial para la recolección y el análisis preciso de los datos, los cuales constituyen la base del presente estudio. Se evaluaron dos alternativas tecnológicas (A y B) que se describen a continuación, cada una diseñada para satisfacer las necesidades específicas del monitoreo y garantizar la exactitud en la captura de la información relevante.

3.4.1. ALTERNATIVA UNO: CAN UP, FLUJÓMETRO Y PLATAFORMA DE MONITOREO

Se seleccionaron los dispositivos CAN Up 27, el flujómetro DFM 100 y la plataforma ORF Monitor5 para el estudio. El flujómetro DFM 100 fue utilizado para medir el flujo de combustible, proporcionando datos precisos sobre el consumo en tiempo real. En conjunto, estos dispositivos permitieron una visión integral del rendimiento de los taxis, facilitando el intercambio de datos a través del bus CAN. Este sistema de comunicación, basado en la capa de enlace de datos según el estándar SAE J1939/S6, resultó fundamental para el análisis detallado de la eficiencia del combustible y el comportamiento de conducción.

- **Unidad telemática can up 27**

La unidad telemática CAN UP, ilustrada en la Figura 18, fue diseñada para monitorear los parámetros operativos de maquinaria compleja, como transporte acuático, equipos ferroviarios y mineros, maquinaria especializada en petróleo y gas, maquinaria agrícola, camiones cisterna, centrales eléctricas diésel, equipos de calderas, gasolineras oficiales, entre otros.



Figura 14. Dispositivo telemático CAN UP 27.

Este dispositivo está destinado al seguimiento de una amplia gama de parámetros de explotación de la maquinaria, y se emplea en sistemas de monitoreo de transporte GLONASS, así como en el control remoto del funcionamiento de objetos fijos a distancia. A continuación, se detallan las principales funciones de este equipo:

- Generador de informes
- Control de tensión y modos de funcionamiento de la red a bordo
- Autodiagnóstico (control de fallas)
- GPS / GLONASS
- Reloj a bordo (generador de señales de hora exactas)
- Control del monitoreo del motor (rpm, refrigerante, aceite, entre otras.)
- Colector de señales
- Comunicador wifi

- **Flujómetro de combustible DFM 100**

El flujómetro de combustible DFM 100 fue diseñado para la medición directa del consumo de combustible y se utilizó como parte de sistemas de monitoreo de transporte GPS/GLONASS o como una solución independiente para controlar el consumo de combustible. Este dispositivo, capaz de operar de forma autónoma o integrarse en un sistema telemático, estaba diseñado para medir el consumo de combustible líquido en un rango de flujo de 1 a 500 l/h. El flujómetro transmitía de manera continua las mediciones de consumo de combustible, datos de los contadores, información sobre eventos, modos de operación del motor, y reportaba parámetros y fallas del dispositivo.

Figura 15. Flujómetro de combustible DFM 50 S7



En la Figura 15. se muestra el dispositivo utilizado para la medición directa del consumo de combustible y líquidos de viscosidad cinemática de 1.5-6 mm² / s, también se utilizó para registrar el tiempo de funcionamiento del motor u otro consumidor de combustible .

- **Plataforma ORF monitor5**

El servicio telemático de JV Technoton fue desarrollado para recibir y procesar informes en tiempo real a través de Internet como se muestra en la Figura 16. Esta tecnología permitía mostrar datos operativos superpuestos en mapas de área, almacenar la información en una base de datos y generar informes analíticos según las necesidades del usuario.

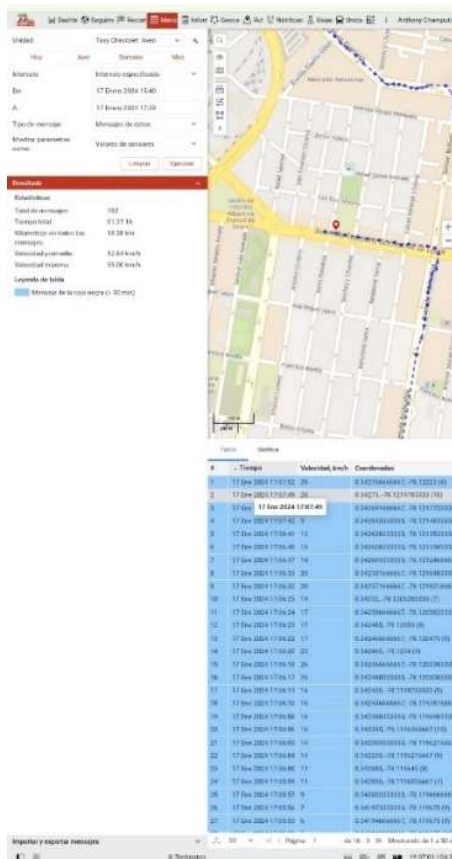


Figura 16. Plataforma de monitoreo ORF

3.4.2. ALTERNATIVA DOS: INTERFAZ ELM327 CON TORQUE PRO

Se seleccionaron los dispositivos ELM327 y la plataforma Torque Pro para el estudio. El ELM327 es un adaptador de diagnóstico que proporcionó acceso a la información del vehículo a través del puerto OBDII. A través de la aplicación móvil Torque Pro, se pudieron visualizar y registrar todos los parámetros relevantes de los vehículos, lo que facilitó la recopilación de datos sobre el rendimiento del motor y otros aspectos cruciales para el análisis.

- **Interfaz OBD ELM327**

La interfaz OBD ELM327 que se muestra en la Figura 17, es un dispositivo de diagnóstico que se conecta al puerto OBD-II del vehículo, permitiendo acceder a información crítica sobre su funcionamiento. Este adaptador se comunica con la ECU (Unidad de Control del Motor) y proporciona datos en tiempo real, como la velocidad, la temperatura del motor, códigos de error,

entre otros. Su diseño compacto y facilidad de uso lo hacen ideal para aplicaciones tanto profesionales como para entusiastas del automovilismo.



Figura 17. *Dispositivo OBD ELM327 Bluetooth*

El ELM327 facilita la recopilación de datos esenciales para el análisis del rendimiento del vehículo, lo que resulta vital para este estudio. Al integrarse con el software de diagnóstico, permite una visualización clara de los parámetros del vehículo, contribuyendo a una mejor comprensión de su comportamiento en diferentes condiciones de conducción. Esta herramienta es fundamental para evaluar la eficiencia y el estado de los taxis en la ciudad.

- **Aplicación Torque Pro**

La aplicación Torque Pro como se indica en la Figura 18, se utilizó como una herramienta avanzada de diagnóstico para vehículos, proporcionando una interfaz que permitió monitorear en tiempo real la operación del motor y otros sistemas. Esta aplicación ofrecía una amplia gama de funciones, que incluían la supervisión de temperaturas de diferentes componentes del motor, el seguimiento de la operación de sensores, grabar parámetros, así como la capacidad de detectar y borrar códigos de falla.



Figura 18. Ventana principal Torque Pro.

3.5. PRUEBAS PILOTO

Una vez seleccionados los dispositivos, se llevaron a cabo las pruebas piloto en dos alternativas distintas con el objetivo de verificar su correcto funcionamiento. Estas pruebas permitieron no solo confirmar la operatividad de los equipos, sino también familiarizarse con su configuración e instalación para las pruebas de ruta. Se puso especial énfasis en el levantamiento y registro de datos, asegurando que los dispositivos estuvieran adecuadamente calibrados y listos para la recopilación precisa de información en el estudio.

3.5.1. PRUEBA CONFIGURACIÓN UNO

La primera prueba experimental se llevó a cabo utilizando el flujómetro, con el objetivo principal de configurar el dispositivo para obtener datos en intervalos de 1 segundo. Esta fase inicial fue crucial para garantizar una comunicación efectiva y sin interrupciones entre el flujómetro, el

dispositivo CAN Up y la plataforma de análisis ORF5. Se procedió a realizar la instalación de los equipos entre el flujómetro y el CAN UP los cuales se instalaron dentro del capó del vehículo como se muestra en la Figura 19.



Figura 19. Instalación de dispositivos.

Una vez instalados los equipos en el vehículo y conectados a la plataforma de monitoreo, se procedió a realizar la prueba de ruta. Sin embargo, durante esta fase se observó que no era posible obtener datos precisos y confiables del consumo de combustible a intervalos de 1 segundo, como se había previsto inicialmente. Además, se detectó que el dispositivo CAN Up no proporcionaba datos completos sobre la cinemática del vehículo, lo que impidió que los equipos pudieran calibrarse adecuadamente para cumplir con los requisitos específicos del proyecto de estudio. También se identificó una limitación en la plataforma de monitoreo, ya que, aunque permitía visualizar la base de datos, no ofrecía la opción de exportar los datos en un archivo “csv”, lo cual es indispensable para el procesamiento y análisis de los datos en etapas futuras del proyecto. Estos inconvenientes subrayaron la necesidad de optar por los equipos de la alternativa B, para garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos.

3.5.2. PRUEBA CONFIGURACIÓN DOS

Dado que la alternativa A del proyecto no produjo los resultados esperados, se procedió a realizar la segunda prueba experimental implementando la alternativa B. En esta fase, se empleó el dispositivo ELM327 para registrar los datos necesarios. El propósito principal de esta etapa fue configurar los parámetros de interés de manera precisa, asegurando que la recolección de datos fuera eficiente y completa. Además, se enfocó en la extracción de los datos en formato “csv”, lo cual es esencial para su análisis detallado y posterior procesamiento en el estudio. Este enfoque permitió superar las limitaciones encontradas en la fase anterior y avanzar en el proyecto.

- **Instalación y montaje de equipos**

La instalación y montaje del equipo se realizó de acuerdo con los horarios preestablecidos, dedicando diez minutos para la instalación y aproximadamente dos horas para la prueba de ruta. Para instalar el dispositivo ELM327, primero se identificó la ubicación del puerto OBD, que generalmente se encuentra debajo del tablero en el lado del conductor, como se ilustra en la Figura 20. Una vez localizado, se procedió a conectar el dispositivo en dicho puerto, asegurando una conexión firme y estable. Posteriormente, el dispositivo se vinculó a través de Bluetooth utilizando la aplicación Torque Pro, lo que permitió iniciar la grabación de datos en tiempo real.

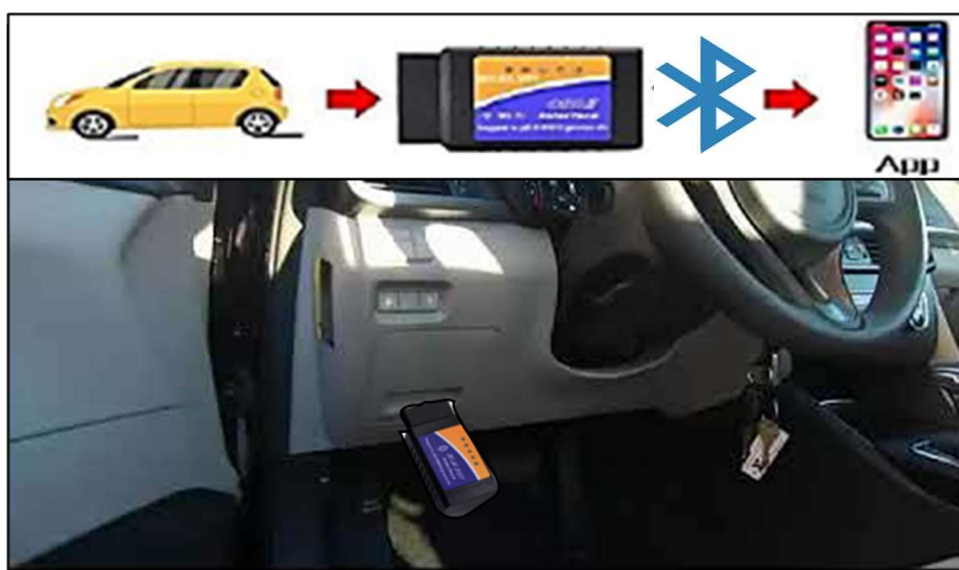


Figura 20. Ubicación del equipo de monitoreo.

- **Configuración de la aplicación Torque Pro**

Para visualizar y analizar los datos obtenidos a través del dispositivo ELM327, fue necesario configurar adecuadamente la aplicación móvil utilizada. En primer lugar, se creó un perfil individual para cada vehículo involucrado en el estudio, lo que permitió personalizar las configuraciones según las especificaciones de cada unidad. Posteriormente, se ajustó la aplicación para registrar datos a una frecuencia de 1 segundo (1Hz), garantizando una captura precisa y continua de la información relevante. Finalmente, se seleccionaron los PIDs correspondientes a las variables esenciales para el análisis del estudio, tal como se muestra en la Figura 21. Esta configuración fue fundamental para asegurar la calidad y precisión de los datos recolectados.

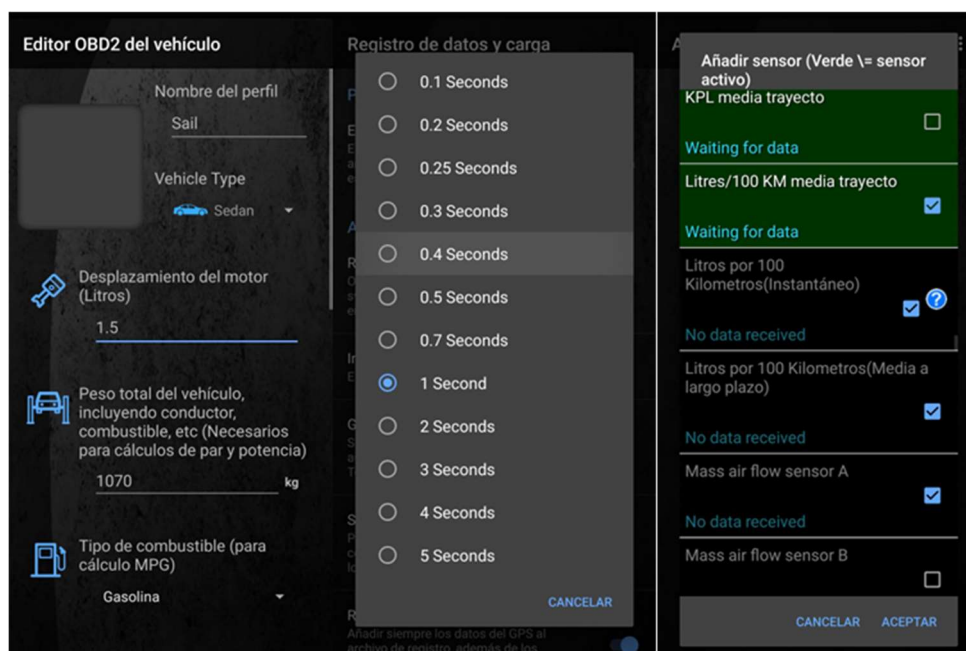


Figura 21. Ventanas de configuración Torque Pro.

3.6. CAMPAÑA EXPERIMENTAL

Basado en las pruebas piloto desarrolladas, el presente estudio evalúa el consumo de combustible en tres modelos de vehículo utilizando principalmente el dispositivo ELM327. Este proceso está descrito a continuación:

3.6.1. EJECUCIÓN DE LA CAMPAÑA EXPERIMENTAL

Para llevar a cabo la campaña experimental, se seleccionaron tres modelos diferentes de vehículos, como se mencionó anteriormente en la sección 3.2, los cuales fueron alquilados para realizar el recorrido predefinido. La campaña dio inicio con una presentación detallada del estudio a los miembros de la cooperativa de taxis, en la que se explicó la información que se buscaba recolectar. Se ofreció también una breve explicación sobre el uso y funcionamiento del dispositivo ELM327.

Cada uno de los vehículos participó en las pruebas durante aproximadamente dos horas. Durante este período, el dispositivo fue instalado con el consentimiento de los propietarios y configurado según las características específicas de cada modelo, permitiendo la captura de datos en tiempo real.

Los horarios para la recolección de datos fueron acordados previamente y se llevaron a cabo entre las 12:00 pm y las 13:50 pm. Esta franja horaria fue elegida porque el recorrido establecido, ilustrado en la Figura 22, abarcaba los tres tipos de rutas, lo que facilitó una evaluación integral del rendimiento de los vehículos bajo diversas condiciones de operación.



Figura 22. Recorrido de ruta establecido.

Tabla 9. Detalles de ruta

N°	Modelo	Tipo de ruta	Distancia (km)	Pendiente Prom (°)
1	SAIL 1.5L	Urbano	18,9	0.017
		Suburbano	10,2	-0.006
		Autopista	13,3	0.021
2	RIO 1.4L	Urbano	17,3	0.025
		Suburbano	6,9	0.03
		Autopista	13,8	0.039
3	ACCENT 1.4L	Urbano	12,3	0.096
		Suburbano	15,8	-0.022
		Autopista	15,4	-0.009

Para la recopilación de datos, se utilizó la técnica de monitoreo a bordo (On-Board), lo que permitió obtener información experimental en condiciones reales, simulando la rutina diaria de un taxista.

3.6.2. LEVANTAMIENTO DE DATOS CON INTERFAZ ELM327

El dispositivo OBD ELM327 transmitió datos a través de una conexión móvil hacia una aplicación específica, lo que permitió estimar el consumo de combustible en galones por kilómetro. Esta información proporcionó una medida precisa de la eficiencia de los vehículos bajo diferentes condiciones operativas. En la Tabla 9, se detallan los registros generales obtenidos durante las pruebas, mostrando la cantidad de datos recopilados y su relevancia para el análisis en el estudio.

Tabla 10. Registro de datos ELM327

Modelo	Año	Fecha de registro	Nº de datos	Distancia recorrida (km)	Velocidad Prom (km/h)
SAIL 1.5L	2021	24/01/2024	5530	43.6	28.43
RIO 1.4L	2019	23/01/2024	5436	38.1	25.28
ACCENT 1.4L	2019	17/01/2024	5539	42.5	27.64

El mes de enero fue seleccionado como punto de partida para la campaña experimental, dado que durante este período las actividades laborales, escolares y comerciales se desarrollaban con normalidad. Esta elección permitió asegurar la obtención de datos más representativos de las condiciones habituales de tráfico en la ciudad.

3.7. PROCESAMIENTO DE DATOS

El procesamiento de datos resultó indispensable para calcular los valores instantáneos del VSP, identificar los estados de conducción, analizar los registros relacionados con la cinemática y el funcionamiento del motor de los vehículos. Este análisis se llevó a cabo utilizando el software descrito a continuación.

R Studio es un entorno de desarrollo integrado (IDE) de código abierto, especialmente diseñado para el análisis estadístico y el procesamiento de grandes volúmenes de datos. Este software, que incluye el lenguaje de programación R, es compatible con múltiples sistemas operativos, como Windows, macOS y Linux, y puede descargarse y utilizarse de manera libre y gratuita. En la Figura 23 se presenta la interfaz principal de R Studio, donde es posible llevar a cabo simulaciones, cálculos y la creación de gráficos.

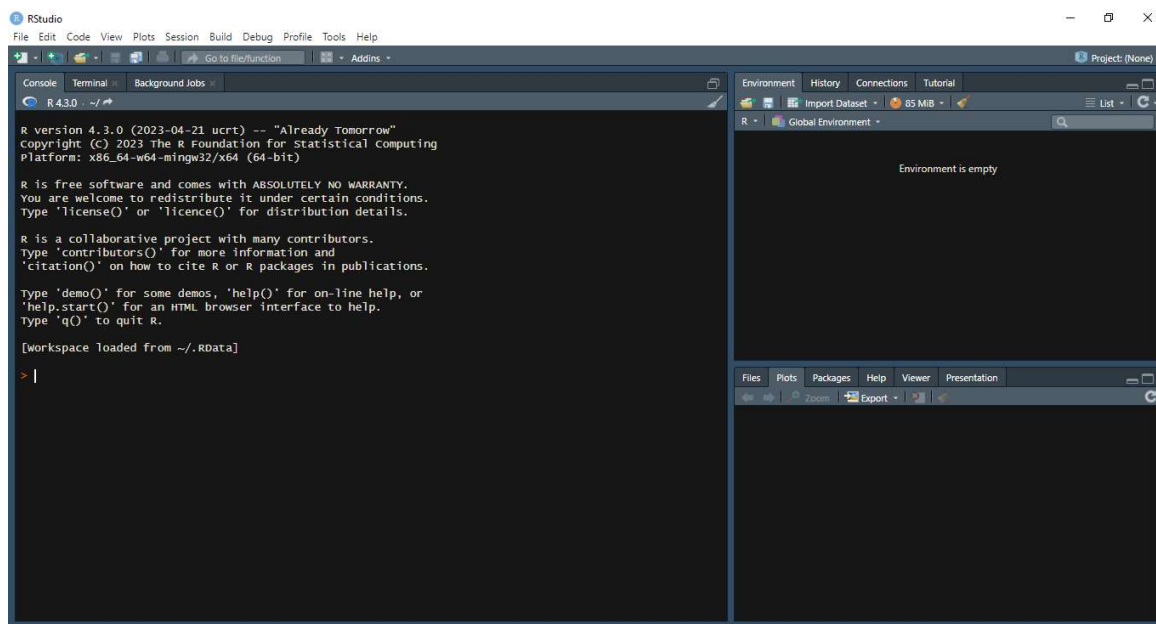


Figura 23. Ventana principal R Studio.

3.7.1. PRODUCCIÓN DE LA BASE DE DATOS

Para construir la base de datos correspondiente a la campaña experimental, la información recopilada fue guardada en archivos de tipo ".csv". Estos archivos se organizaron en una estructura de carpetas donde, dentro de una carpeta principal, se crearon subcarpetas que almacenan los datos según el modelo del vehículo y la fecha en que se realizó la recolección de datos. Cada una de estas subcarpetas contiene los archivos en formato Excel, delimitados por comas, como se muestra en la Figura 24.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

Tramo	GPS Time	Device Time	Longitude	Latitude	GPS Speed (↑)	Horizontal C	Altitude	Bearing	G(x)	G(y)	G(z)	G(calibratrec 0-100mph Ti
urbana	Wed Jan 17 11:17-ene-2024	-78,1105199	0,36086369	0	9,9350462	2240,5918	0	-2,08504581	6,72682285	8,05932617	0,11001092	-
urbana	Wed Jan 17 11:17-ene-2024	-78,1105196	0,36086365	0	9,9350462	2240,57983	0	0,41904306	4,80807781	8,75832939	0,03837579	-
urbana	Wed Jan 17 11:17-ene-2024	-78,1105195	0,36086365	0	9,9350462	2240,57666	0	1,05254281	5,37188673	7,29212713	-0,05152798	-
urbana	Wed Jan 17 11:17-ene-2024	-78,1105195	0,36086368	0	9,9350462	2240,57666	0	0,90747797	5,32522678	8,00788021	0,00366777	-
urbana	Wed Jan 17 11:17-ene-2024	-78,1105195	0,36086368	0	9,9350462	2240,57788	0	0,98285192	5,2052865	8,43170834	0,03405052	-
urbana	Wed Jan 17 11:17-ene-2024	-78,1105195	0,36086368	0	9,9350462	2240,5752	0	0,29940194	4,35433912	9,14985466	0,05238849	-
urbana	Wed Jan 17 11:17-ene-2024	-78,1105195	0,36086368	0	9,9350462	2240,57568	0	0,28025934	3,88743949	8,96441078	0,01543617	-
urbana	Wed Jan 17 11:17-ene-2024	-78,1105195	0,36086368	0	9,9350462	2240,5791	0	0,08644072	3,94726014	8,79302502	0,00154394	-
urbana	Wed Jan 17 11:17-ene-2024	-78,1105195	0,36086365	0	9,9350462	2240,56958	0	0,37477586	3,84795785	8,87348366	0,00566155	-
urbana	Wed Jan 17 11:17-ene-2024	-78,1105195	0,36086367	0	9,9350462	2240,57275	0	0,0840479	3,76540542	8,88784027	0,0029887	-
urbana	Wed Jan 17 11:17-ene-2024	-78,1105195	0,36086368	0	9,9350462	2240,57968	0	0,25034907	3,8120656	9,14985466	0,02974004	-
urbana	Wed Jan 17 11:17-ene-2024	-78,1105194	0,3608637	0	9,9350462	2240,57617	0	0,18095721	3,91974258	8,63749123	0,01392448	-
urbana	Wed Jan 17 11:17-ene-2024	-78,1105194	0,36086369	0	9,9350462	2240,5752	0	0,11515459	3,80249429	8,87468052	0,0032692	-
urbana	Wed Jan 17 11:17-ene-2024	-78,1105194	0,36086369	0	9,9350462	2240,57544	0	0,03738786	3,74387002	8,85194874	-0,00126618	-
urbana	Wed Jan 17 11:17-ene-2024	-78,1105194	0,36086368	0	9,9350462	2240,5769	0	0,23718855	3,64456797	8,89501953	-0,00081265	-
urbana	Wed Jan 17 11:17-ene-2024	-78,1105194	0,36086369	0	9,9350462	2240,57568	0	0,37238303	3,73070955	9,07567692	0,01997977	-
urbana	Wed Jan 17 11:17-ene-2024	-78,1105194	0,36086368	0	9,9350462	2240,56812	0	1,36241341	3,4492538	8,86664436	0,00059348	-
urbana	Wed Jan 17 11:17-ene-2024	-78,1105194	0,36086368	0	9,9350462	2240,56421	0	0,84885383	3,5976088	8,67458057	-0,01980746	-
urbana	Wed Jan 17 11:17-ene-2024	-78,1105194	0,36086367	0	9,9350462	2240,57105	0	0,99122679	3,55214524	8,63390255	-0,02396309	-
urbana	Wed Jan 17 11:17-ene-2024	-78,1105194	0,36086367	0	9,9350462	2240,57056	0	0,36281174	3,63858604	9,12592602	0,02116603	-

Figura 24. Almacenamiento de datos, archivo Excel.

3.7.2. FLUJOGRAMAS DEL PROCESAMIENTO DE DATOS

El procesamiento de datos permitió suavizar los valores recopilados, calcular tanto las variables cualitativas y cuantitativas del estudio, y determinar el VSP instantáneo, el cual se asignó a cada uno de los bins correspondientes. Además, se calcularon los porcentajes de tiempo en cada estado de conducción y se desarrolló el modelamiento de consumo de combustible y emisiones de CO₂ mediante enfoque VSP.

- **Proceso de importación y suavización de datos**

El siguiente flujograma, ilustrado en la Figura 25, muestra la generación de un fichero completo con todos los registros, además de los procedimientos necesarios para suavizar los datos como la velocidad y la altitud

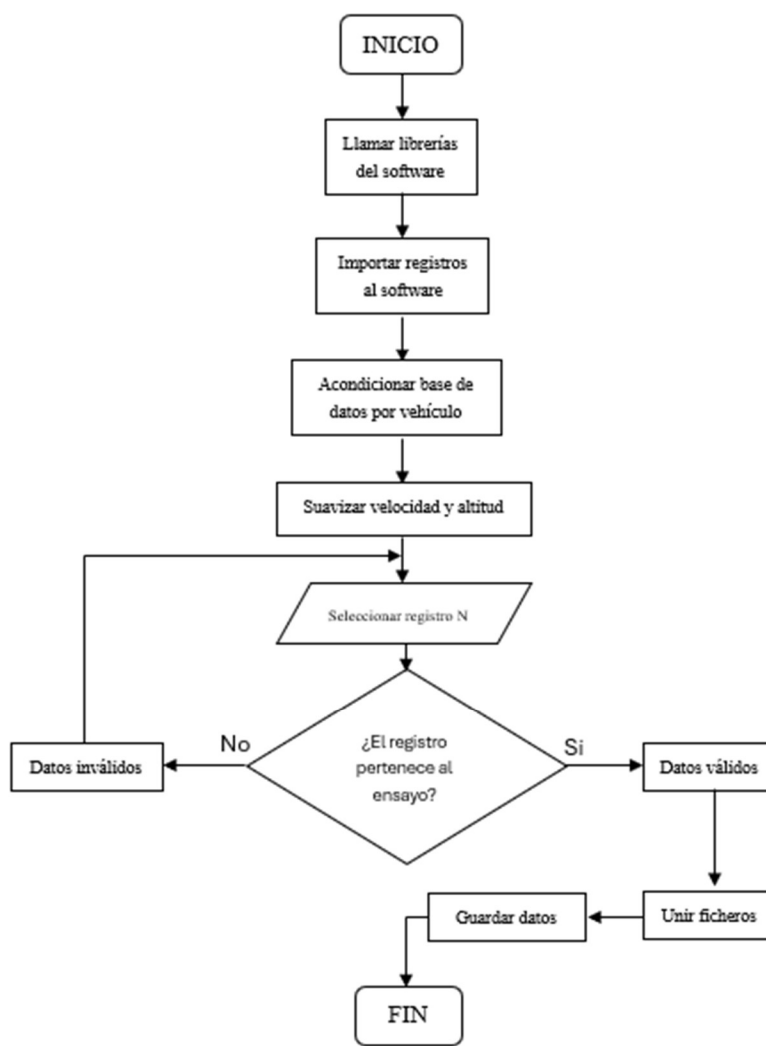


Figura 25. Proceso de importación y suavización de datos.

En este proceso inicia la creación de un fichero consolidado que integra los datos de los tres vehículos analizados en el estudio. El proceso comenzó con la importación de los registros obtenidos del dispositivo ELM327 al software R Studio, utilizando las librerías necesarias, tal como se ilustra en la Figura 26.

```
library("readxl")
library("xlsx")
library("lubridate")
library("dplyr")
library('tidyverse')
library("hms")
library("data.table")
library("ggplot2")
library("zoo")
library('magrittr')
```

Figura 26. Selección de librerías

Posteriormente, se procedió a preparar las bases de datos correspondientes a cada vehículo. En esta etapa, se seleccionaron las variables relevantes para el estudio y se renombraron para evitar confusiones durante los cálculos posteriores. Además, se aplicaron técnicas de suavizado a las variables de velocidad y altitud, como se muestra en la Figura 27. Finalmente, se consolidó una base de datos unificada que integra la información de los tres modelos de taxi.

```
#calcular velocidad Suavizada y suavizar Altitud
df1<- df1[-c(1:11),]# remover primeras filas por falta de datos
df1$velocidad_OBD <- ifelse(as.numeric(df1$velocidad_OBD) <2, 0, df1$velocidad_OBD) #sustituir veloc <2km/h por 0
df1$velocidad_OBD_Suav <- round((rollapply(as.numeric(df1$velocidad_OBD),width=4,FUN=mean, partial=TRUE)),2)#suavizar velocidad
df1_aj$Altitud <- round((rollapply(as.numeric( df1_aj$Altitud),width=4,FUN=mean, partial=TRUE)),2)# suavizar altitud
```

Figura 27. Suavizar velocidad y altitud.

- **Proceso de cálculo de variables**

A continuación, en el consecutivo flujograma representado en la Figura 28, se detalla los pasos seguidos para calcular las variables cinemáticas y dinámicas necesarias para determinar la potencia específica del vehículo (VSP) en los taxis seleccionados para el estudio.

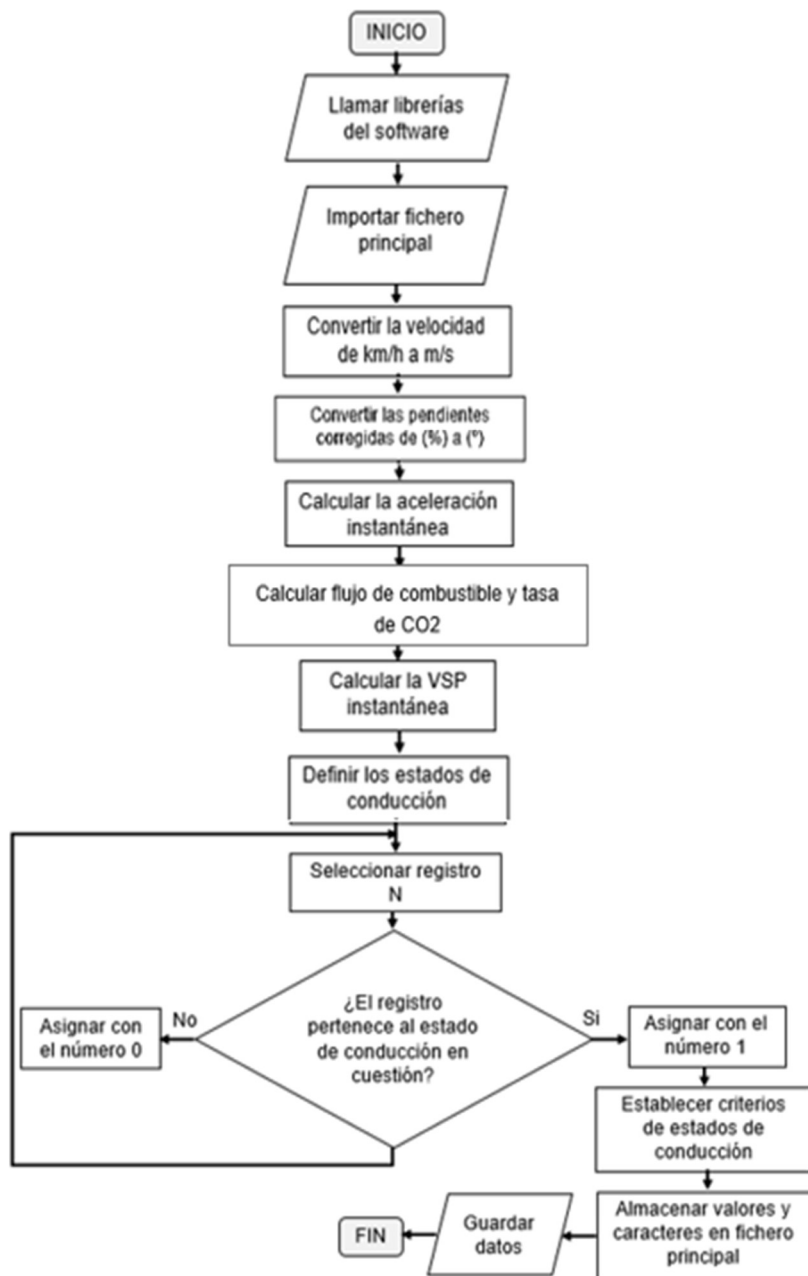


Figura 28. Proceso de cálculo de variables.

El proceso inicial implicó la conversión de las unidades de velocidad de kilómetros por hora (km/h) a metros por segundo (m/s). Posteriormente, se transformaron las variables de tipo carácter a valores numéricos. Además, se calculó la pendiente en grados, la cual fue asignada a una nueva columna en el fichero principal, como se ilustra en la Figura 29.

```

# cambiar variables de tipo caracter a numéricas
df_aux_1 <- select(df1, c(N, Ensayo, Vehículo, Fecha, Zona))
df_aux_2 <- select(df1, c(Longitud, Rendimiento_Combustible, Velocidad_OBD_Suav, Distancia_Parc))
df_aux_2 <- as.data.frame(sapply(df_aux_2, as.numeric))
df1_aj <- bind_cols(df_aux_1, df_aux_2)

# calcular pendiente [grados]
df1_aj$Altitud <- round((rollapply(as.numeric(df1_aj$Altitud), width=4, FUN=mean, partial=TRUE)), 2)
df1_aj <- df1_aj%>%
  mutate(Pendiente=(Altitud-(dplyr::lag(Altitud, n=1)))) # [m/s2]
df1_aj$Pendiente[1] <- df1_aj$Pendiente[2] # primer dato pendiente igual al segundo
df1_aj$Pendiente <- round(atan(df1_aj$Pendiente/df1_aj$Distancia_Parc), 2) # calcular teta
df1_aj$Pendiente <- ifelse(is.na(df1_aj$Pendiente), 0, df1_aj$Pendiente) # sustituir NAs por 0

```

Figura 29. Variables de tipo carácter a numéricas y cálculo de pendiente.

En la siguiente etapa, se procedió a calcular la aceleración instantánea, junto con el flujo de combustible y la tasa de emisiones de CO₂, empleando la densidad del combustible como referencia. Los valores obtenidos fueron añadidos a una nueva columna en el fichero principal, como se muestra en la Figura 30.

```

#2.6 # calcular aceleración
df_t$Aceleracion <- df_t$Distancia_Parc-(dplyr::lag(df_t$Distancia_Parc, n=1))
df_t$Aceleracion <- round(df_t$Aceleracion, 3)

#2.7 calculo de flujo de combustible y tasa de co2
densidad_combustible <- 735.37 # g/l combustible extra
df_t$Flujo_Combustible <- df_t$Tasa_Combustible*densidad_combustible/3600 # (l/h) a (g/s)
# calculo CO2
x <- 8
y <- 18
kgCO2porKCombustible <- 44*x/(12*x+y)
df_t$CO2 <- df_t$Flujo_Combustible*kgCO2porKCombustible # (g/s)

```

Figura 30. Aceleración instantánea, flujo de combustible y tasa de CO₂

Posteriormente, se lograron consolidar los valores de las variables y parámetros necesarios para calcular la potencia específica del vehículo (VSP), segundo a segundo. Además, se establecieron los criterios de conducción a través de un fichero auxiliar, asignando los nombres correspondientes a los estados de marcha. Los resultados de este proceso fueron registrados en una nueva columna del archivo principal, como se muestra en la Figura 31. Finalmente, el fichero actualizado con las columnas adicionales se guardó en el ordenador.

```

# calculo de VSP instantanea [kw_ton]
df_t$VSP_ins <- round((df_t$Distancia_Parc*(df_t$Aceleracion*(1+0.1)+9.807*sin(df_t$Pendiente*pi/180))+9.807*0.014)

# definir criterios de conduccion
df1 <- df_t%>%
  mutate(est_ralenti=ifelse((Velocidad_OBD_Suav<=2), 1, 0))%>%
  mutate(est_crucero=ifelse((Aceleracion>(-0.1)&Aceleracion<(0.1)&Velocidad_OBD_Suav>2), 1, 0))%>%
  mutate(est_ace1=ifelse((Aceleracion>=0.1&Velocidad_OBD_Suav>2), 1, 0))%>%
  mutate(est_desacel=ifelse((Aceleracion<(-0.1)&Velocidad_OBD_Suav>2), 1, 0))

# 2.4.1. Asignar nombres a los de estado de marcha
df_t$estado[df1$est_ralenti=="1"] <- "ralenti"
df_t$estado[df1$est_crucero=="1"] <- "crucero"
df_t$estado[df1$est_ace1=="1"] <- "aceleracion"
df_t$estado[df1$est_desacel=="1"] <- "desaceleracion"

```

Figura 31. VSP instantáneo y criterios de conducción.

3.8. MODELAMIENTO MEDIANTE ENFOQUE VSP

3.8.1. FLUJOGRAMA DEL MODELAMIENTO MEDIANTE ENFOQUE VSP: CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y EMISIONES DE CO₂

El flujograma presentado en la Figura 32, ilustra el proceso detallado para modelar el consumo de combustible y las emisiones de CO₂. En primer lugar, se importó a R Studio el archivo previamente generado y almacenado durante el proceso anterior, tras haber ejecutado el código necesario para cargar las librerías correspondientes.

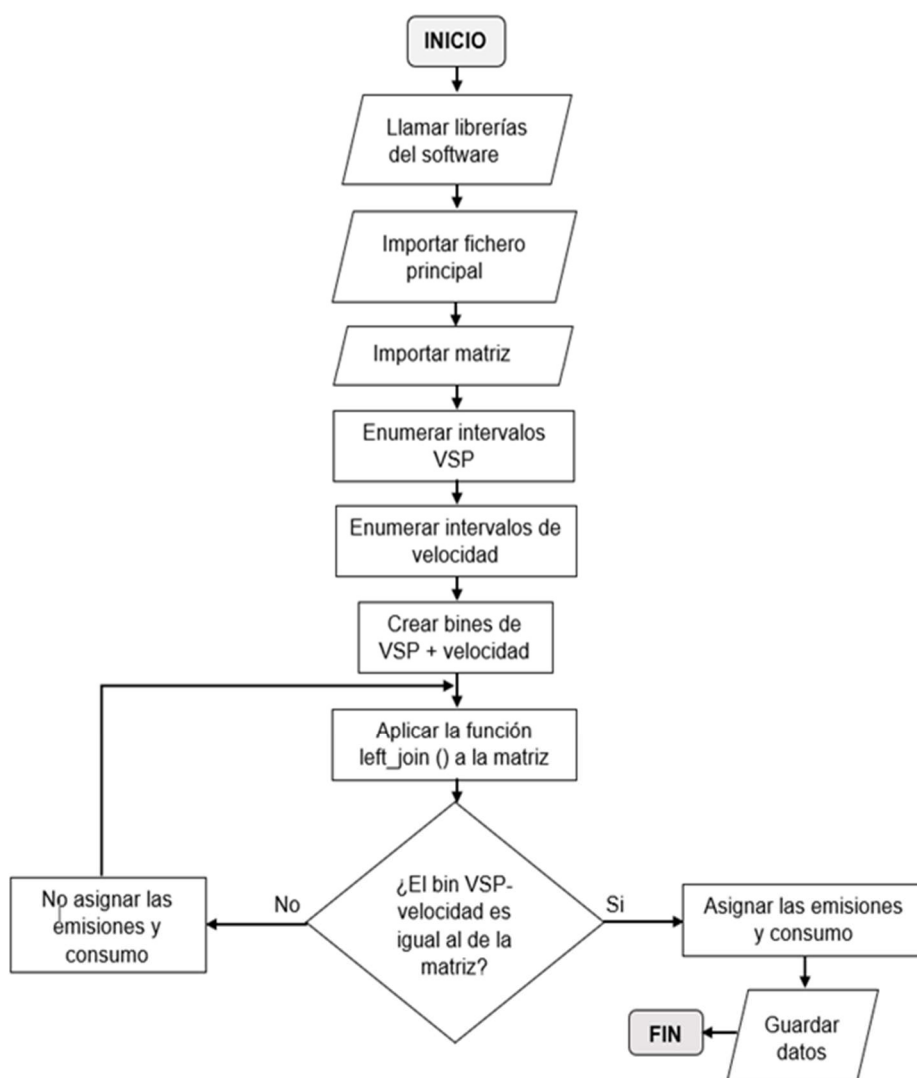


Figura 32. Flujograma del modelamiento mediante VSP.

En un estudio sobre la comparación de emisiones de CO₂ en autobuses de la ciudad de Ibarra, se analizaron los intervalos de potencia específica del vehículo en relación con la velocidad, las emisiones de CO₂ y el consumo de combustible. A partir de este análisis, se definió una matriz en un archivo “.csv” que contenía los diferentes “bins”: desaceleración o frenado (0), ralenti (1), y los bins correspondientes al VSP-velocidad cuando el taxi estaba en movimiento (101, 102, 103, ...). Posteriormente, se procedió a utilizar R Studio para realizar la simulación del consumo de combustible y las emisiones de CO₂[32].

A continuación, los intervalos de VSP instantáneos fueron codificados por unidades, mientras que los intervalos de velocidad se enumeraron en centenas, como se muestra en la Figura 33. Este método permitió que la suma de ambos valores generara un número de "bin" específico, el cual fue asignado según la matriz establecida.

```
#2.6 seleccionar intervalo VSP
df_t$bin_VSP[df_t$VSP_ins<(-4)]<- 1
df_t$bin_VSP[df_t$VSP_ins>=(-4) & df_t$VSP_ins<(-2)]<- 2
df_t$bin_VSP[df_t$VSP_ins>=(-2) & df_t$VSP_ins<(1)]<- 3
df_t$bin_VSP[df_t$VSP_ins>=(-1) & df_t$VSP_ins<(0)]<- 4
df_t$bin_VSP[df_t$VSP_ins>=0 & df_t$VSP_ins<1]<- 5
df_t$bin_VSP[df_t$VSP_ins>=1 & df_t$VSP_ins<2]<- 6
df_t$bin_VSP[df_t$VSP_ins>=2 & df_t$VSP_ins<4]<- 7
df_t$bin_VSP[df_t$VSP_ins>=4 & df_t$VSP_ins<6 ]<- 8
df_t$bin_VSP[df_t$VSP_ins>=6 & df_t$VSP_ins<8 ]<- 9
df_t$bin_VSP[df_t$VSP_ins>=8 & df_t$VSP_ins<10 ]<- 10
df_t$bin_VSP[df_t$VSP_ins>=10 & df_t$VSP_ins<12 ]<- 11
df_t$bin_VSP[df_t$VSP_ins>=12 & df_t$VSP_ins<14]<- 12
df_t$bin_VSP[df_t$VSP_ins>=14]<- 13

#2.7 seleccionar intervalo velocidad -----
df_t$bin_veloc[df_t$velocidad_OBD_Suav<1]<-0
df_t$bin_veloc[df_t$velocidad_OBD_Suav>=1 & df_t$velocidad_OBD_Suav<40]<- 100
df_t$bin_veloc[df_t$velocidad_OBD_Suav>=40 & df_t$velocidad_OBD_Suav<80]<- 200
df_t$bin_veloc[df_t$velocidad_OBD_Suav>80]<-300
```

Figura 33. Intervalos de VSP y velocidad.

Posteriormente, se definieron en el código de programación los "bins de VSP-velocidad" correspondientes a los estados de ralenti y desaceleración o frenado, como se muestra en la Figura 34. Esto permitió asignar con precisión el consumo de combustible [g/s] y las emisiones de CO₂ a cada "bin-VSP-velocidad" dentro del archivo principal. Finalmente, se calculó la tasa de consumo y emisiones promedio por BIN VSP (intervalo VSP = velocidad) a cada registro del fichero el cual fue guardado en el sistema para su análisis posterior.

```

#2.8 Generar intervalo VSP-Velocidad
#Mode: Acceleration/Coast
df_tsBIN_VSP_Veloc <- df_tsbin_VSP+df_tsbin_Veloc
#Mode: idle (bin 1)
df_tsBIN_VSP_Veloc[df_tsVelocidad_08D_Suav<1]<-1
#Mode: Deceleration/Braking (bin 0)
#df_tsBIN_VSP_Veloc[df_tsAceleracion<(-0.894)]<-0
df_tsBIN_VSP_Veloc[df_tsAceleracion<=(-0.497)]<-0

write.table(df_t,file="C:/Users/DAVID/Desktop/tesis/data/union sail accent rio.csv", sep=";", dec=".", row.names = FALSE) # crear y guardar csv d
# Calcular tasa consumo y emisiones ppromedio por BIN VSP (intervalo VSP = velocidad) a cada registro fichero
#calcular el valor promedio de variable numerica por variable categorica
df_promedio_po_VspBin_y_Vehiculo <- aggregate(cbind(Tasa_Combustible,Flujo_Combustible,CO2)-BIN_VSP_Veloc-Vehiculo,data = df_t,FUN = mean)
write.table(df_promedio_po_VspBin_y_Vehiculo,file="C:/Users/DAVID/Desktop/tesis/data/tasa consumo y emisiones promedio por BIN VSP.csv", sep=";",

```

Figura 34. Intervalo VSP-Velocidad.

3.8.2. FLUJOGRAMA DEL CÁLCULO ESTADÍSTICO

En el flujograma representado en la Figura 35, se detallan los pasos seguidos para la elaboración de las tablas estadísticas que reflejan la cinemática, los estados de conducción, el consumo de combustible, y las emisiones de CO₂ de los taxis seleccionados en el estudio.

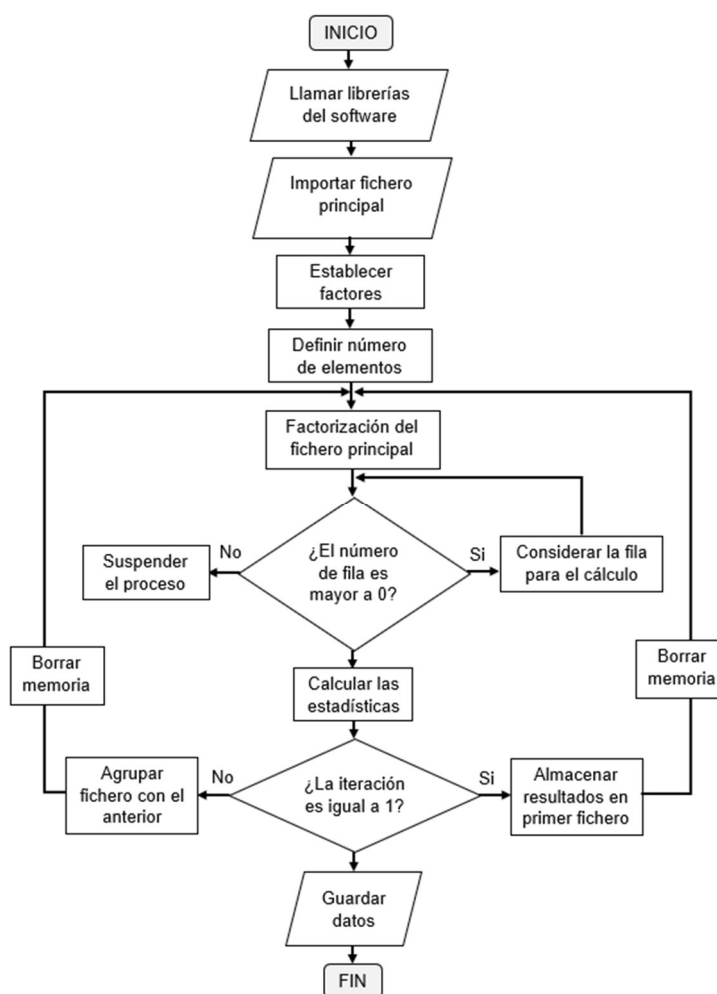


Figura 35. Flujograma del proceso del cálculo de estadísticas.

Para calcular las estadísticas, se siguió un proceso similar al utilizado en pasos anteriores. Primero, se llamaron a las librerías necesarias para la compilación del código en R Studio, y se importó el fichero que contenía todas las variables añadidas previamente. A continuación, se emplearon una o más funciones "for()" anidadas para realizar la factorización de los datos del fichero principal, categorizándolos según las condiciones de Vehículo y Ruta, tal como se ilustra en la Figura 36. Además, se integró la función "if()" para iterar sobre cada fila del fichero y realizar los cálculos estadísticos pertinentes.

```
#2. CALCULO POR GRUPOS FACTOR (Vehículo y Ruta) -----
df <- df1
fichero_aux <- df1

fact_Vehiculo <- (levels(as.factor(fichero_aux$Vehiculo)))
fact_Ruta <- levels(as.factor(fichero_aux$Ruta))
fact_Ruta <- levels(reorder(fact_Ruta, c(3,2,1)))

num_fact <- as.numeric(length(fact_Vehiculo))
num_fact_2 <- as.numeric(length(fact_Ruta))

for (i2 in 1:num_fact){ # itera el factor (Vehiculo)
df_Fact1 <- filter(fichero_aux, (Vehiculo==fact_Vehiculo[i2]))
  for (i in 1:(num_fact_2+1)){ #itera el factor (Ruta)
    if(i==(num_fact_2+1)){
      df <- filter(fichero_aux, (Vehiculo==fact_Vehiculo[i2]))

      df$Ruta <- "All Data"
    }else
    {
      df <- filter(fichero_aux, (Vehiculo==fact_Vehiculo[i2]), (Ruta == fact_Ruta[i]))
    }
  }
}
```

Figura 36. Factor vehículo y ruta.

Posteriormente, se procedió al cálculo de las variables cinemáticas, así como al porcentaje de las variables relacionadas con el consumo de combustible y las emisiones de CO₂, como se ilustra en la Figura 37.

```
#Calcular variables generales
Vehiculo <- fact_Vehiculo[i2]
Ruta <- unique(df$Ruta, na.rm=TRUE)

#Calcular Variables cinemáticas
Tiempo <- round(nrow(df),3)#[seg]
Distancia <- round(sum(df$Distancia, na.rm=TRUE), 3) # [m]
Velocidad_prom <- round(mean(df$Velocidad, na.rm=TRUE), 3) # [km/h]
Velocidad_max <- round(max(df$Velocidad, na.rm=TRUE), 3) # [km/h]
Aceleracion_prom <- round(mean(df$Aceleracion, na.rm=TRUE), 4) # [m/s2]
Aceleracion_pos_prom <- round(mean(df$Aceleracion[df$Aceleracion>0], na.rm=TRUE), 4) # [m/s2]
Desaceleracion_pos_prom <- round(mean(df$Aceleracion[df$Aceleracion<0], na.rm=TRUE), 4) # [m/s2]

# #Calcular Variables % relativas a total criterio de Factor1
Porc_Tiempo <- round(Tiempo/length(df_Fact1$Tiempo)*100,1)
Porc_Distancia <- round(Distancia/sum(df_Fact1$Distancia, na.rm=TRUE)*100,1)

#Total Consumo combustible por Circuito
Flujo_Combustible_total <- sum(df$Flujo_Combustible, na.rm=TRUE) # [g/seg]
Tasa_Combustible_total <- sum(df$Tasa_Combustible, na.rm=TRUE)/3600 # [litros/segundo]

#Consumo combustible prom [g/seg]
Flujo_Combustible_prom <- (Flujo_Combustible_total/(Tiempo-tiempo_aj_horiba)) # [g/seg]
Tasa_Combustible_prom <- (Tasa_Combustible_total/(Tiempo-tiempo_aj_horiba)) # [litros/seg]

Flujo_Combustible_sd_prom <- sd(df$Flujo_Combustible, na.rm=TRUE)
Tasa_Combustible_sd_prom <- sd(df$Tasa_Combustible, na.rm=TRUE)

Flujo_Combustible_IC95_prom <- round(qnorm(0.975)*Flujo_Combustible_sd_prom/sqrt(Tiempo), 8)
Tasa_Combustible_IC95_prom <- round(qnorm(0.975)*Tasa_Combustible_sd_prom/sqrt(Tiempo), 8)

#Tasas de Emision promedio [g/seg]
CO2_prom <- (CO2_total/(Tiempo-tiempo_aj_horiba))
```

Figura 37. Cálculo de variables.

Finalmente, se calculó el tiempo total que los vehículos permanecieron en cada estado de conducción (ralentí, aceleración, desaceleración y crucero), medido en segundos. Además, se determinó el tiempo en cada modo de marcha en relación con la distancia recorrida, expresada en segundos por kilómetro (s/km), así como el porcentaje correspondiente, tal como se muestra en la Figura 38.

```
#Calcular Tiempo total por Modo de Marcha [seg]
aux<-select(df,estado)
Tiempo_total_Ralenti<-(as.numeric(nrow(filter(aux,estado=="ralenti"))))
Tiempo_total_Aceleracion<-(as.numeric(nrow(filter(aux,estado=="aceleracion"))))
Tiempo_total_Desaceleracion<-(as.numeric(nrow(filter(aux,estado=="desaceleracion"))))
Tiempo_total_Crucero<-(as.numeric(nrow(filter(aux,estado=="crucero"))))

#Calcular Tiempos de Modo de Marcha [seg/km]
Tiempo_por_Distancia_Ralenti<-(as.numeric(nrow(filter(aux,estado=="ralenti")))/Distancia*1000)
Tiempo_por_Distancia_Aceleracion<-(as.numeric(nrow(filter(aux,estado=="aceleracion")))/Distancia*1000)
Tiempo_por_Distancia_Desaceleracion<-(as.numeric(nrow(filter(aux,estado=="desaceleracion")))/Distancia*1000)
Tiempo_por_Distancia_Crucero<-(as.numeric(nrow(filter(aux,estado=="crucero")))/Distancia*1000)

porcent_Ralenti<-Tiempo_total_Ralenti/Tiempo*100
porcent_Aceleracion<-Tiempo_total_Aceleracion/Tiempo*100
porcent_Desaceleracion<-Tiempo_total_Desaceleracion/Tiempo*100
porcent_Crucero<-Tiempo_total_Crucero/Tiempo*100
```

Figura 38. Cálculo modo de marcha.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se procede a analizar los gráficos de los resultados generados, los cuales se han clasificado en tres categorías principales: cinemática, estados de conducción, análisis VSP y estimaciones de consumo de combustible y emisiones de CO₂. Estos valores serán comparados a través de gráficos de barras agrupadas, organizados según los tres tipos de rutas y los intervalos de VSP correspondientes.

4.1. ANÁLISIS DE ESTADÍSTICA DE LA CINEMÁTICA

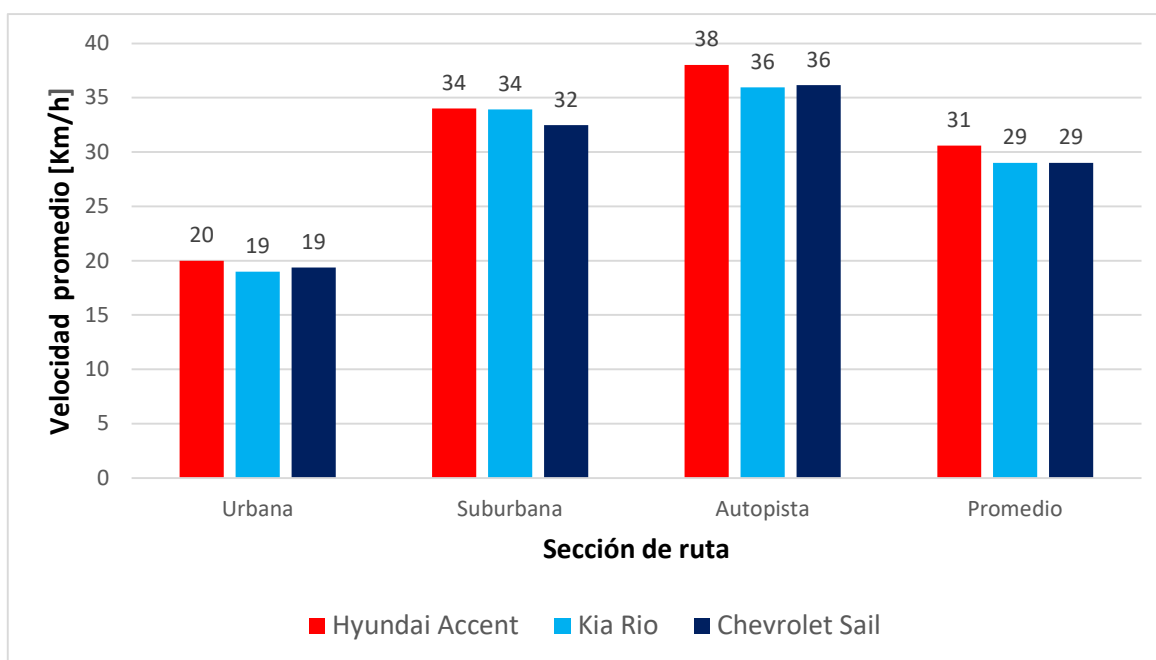
La comparación estadística de la cinemática de los vehículos se llevó a cabo con el objetivo de evaluar las variaciones en su comportamiento dinámico bajo diferentes condiciones operativas. Para ello, se analizó la velocidad promedio, aceleración positiva y desaceleración promedio, los cuales fueron comparados de manera individual en función de las categorías de tipo de ruta, tal como se muestra en los gráficos siguientes.

4.1.1. COMPARACIÓN DE LA VELOCIDAD PROMEDIO

El gráfico de barras, ilustrado en la Figura 39 representa una comparación de la velocidad promedio (en km/h) de tres modelos de automóviles (Hyundai Accent, Kia Rio y Chevrolet Sail) en diferentes secciones de ruta: urbana, suburbana, autopista y un promedio general. En el entorno urbano, el Hyundai Accent destaca con una velocidad de 20 km/h, superando ligeramente al Kia Rio y al Chevrolet Sail, que muestran un valor igual a 19 km/h, lo cual sugiere un comportamiento similar en condiciones de tráfico denso y detenciones frecuentes. En la sección suburbana, tanto el Hyundai Accent como el Kia Rio mantienen la misma velocidad promedio de 34 km/h, evidenciando un buen rendimiento en rutas con un tráfico moderado y velocidades algo más elevadas. El Chevrolet Sail, por otro lado, registra una velocidad promedio de 32 km/h, un valor menor que sus competidores, lo que podría indicar un desempeño algo inferior en este tipo de rutas.

En la autopista, el Hyundai Accent vuelve a sobresalir con la velocidad promedio más alta (38 km/h), indicando un mayor rendimiento en condiciones de conducción a alta velocidad y flujos vehiculares más constantes. Tanto el Kia Rio como el Chevrolet Sail tienen un comportamiento

idéntico con 36 km/h, situándose ligeramente por debajo del Hyundai Accent. El promedio general, que agrupa todas las secciones de la ruta, muestra que el Hyundai Accent es el más eficiente en términos de velocidad promedio con 31 km/h, mientras que el Kia Rio y el Chevrolet Sail registran una velocidad de 29 km/h, lo que refleja nuevamente un rendimiento muy similar entre ellos. En conclusión, el Hyundai Accent es el vehículo con el mejor desempeño en todas las condiciones de manejo analizadas, mientras que el Kia Rio y el Chevrolet Sail mantienen un comportamiento



comparable, con diferencias.

Figura 39. Gráfica de velocidad promedio

4.1.2. COMPARACIÓN DE LA ACELERACIÓN POSITIVA PROMEDIO

La Figura 40 de aceleración positiva promedio (m/s^2) compara el desempeño de tres modelos de vehículos (Hyundai Accent, Kia Rio, y Chevrolet Sail) en distintos tipos de rutas: urbanas, suburbanas, y autopistas, así como un promedio general. Los resultados indican que el Chevrolet Sail presenta las mayores aceleraciones positivas promedio en rutas urbanas ($0.456 m/s^2$) y suburbanas ($0.535 m/s^2$), sugiriendo una respuesta de aceleración más dinámica en estos entornos. En autopistas, el Hyundai Accent lidera ligeramente con una aceleración positiva promedio de $0.373 m/s^2$, seguido de cerca por el Chevrolet Sail ($0.369 m/s^2$) y el Kia Rio ($0.357 m/s^2$). En el promedio general, el Chevrolet Sail nuevamente destaca con $0.455 m/s^2$, mientras que el Hyundai Accent y el Kia Rio muestran valores similares de $0.392 m/s^2$. Estas observaciones sugieren que

el Chevrolet Sail tiene un rendimiento de aceleración superior en la mayoría de las condiciones de conducción, lo que podría influir en su eficiencia y preferencia entre los conductores de taxis en Ibarra.

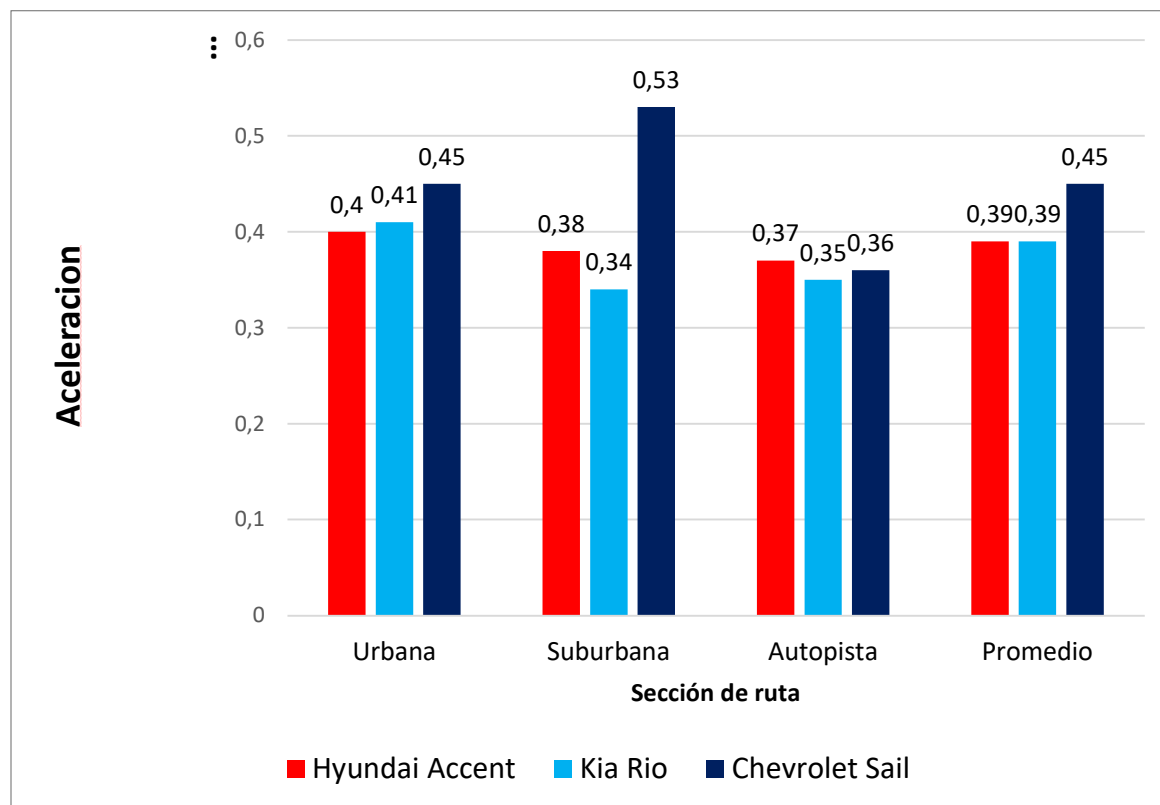


Figura 40. Aceleración positiva promedio.

4.1.3. COMPARACIÓN DE DESACELERACIÓN PROMEDIO

La Figura 41 muestra la desaceleración promedio (m/s^2) de tres modelos de vehículos (Hyundai Accent, Kia Rio, y Chevrolet Sail) en distintos tipos de rutas: urbanas, suburbanas, y autopistas, así como un promedio general.

En el entorno urbano, el Kia Rio tiene la mayor desaceleración promedio, lo que indica que los conductores de este modelo tienden a frenar más fuerte en comparación con los otros dos modelos. En el entorno suburbano, nuevamente, el Kia Rio muestra la mayor desaceleración promedio. El Hyundai Accent tiene la menor desaceleración en este entorno. En la autopista, el Hyundai Accent tiene la mayor desaceleración promedio, mientras que el Chevrolet Sail tiene la menor. En el

promedio general, el Hyundai Accent tiene la mayor desaceleración promedio, seguido de cerca por el Kia Rio y luego el Chevrolet Sail.

Los datos sugieren que el Kia Rio tiene un estilo de conducción más agresivo en términos de frenado en entornos urbanos y suburbanos, lo cual puede resultar en un mayor desgaste de los frenos y un consumo de combustible más alto debido a frenados frecuentes.

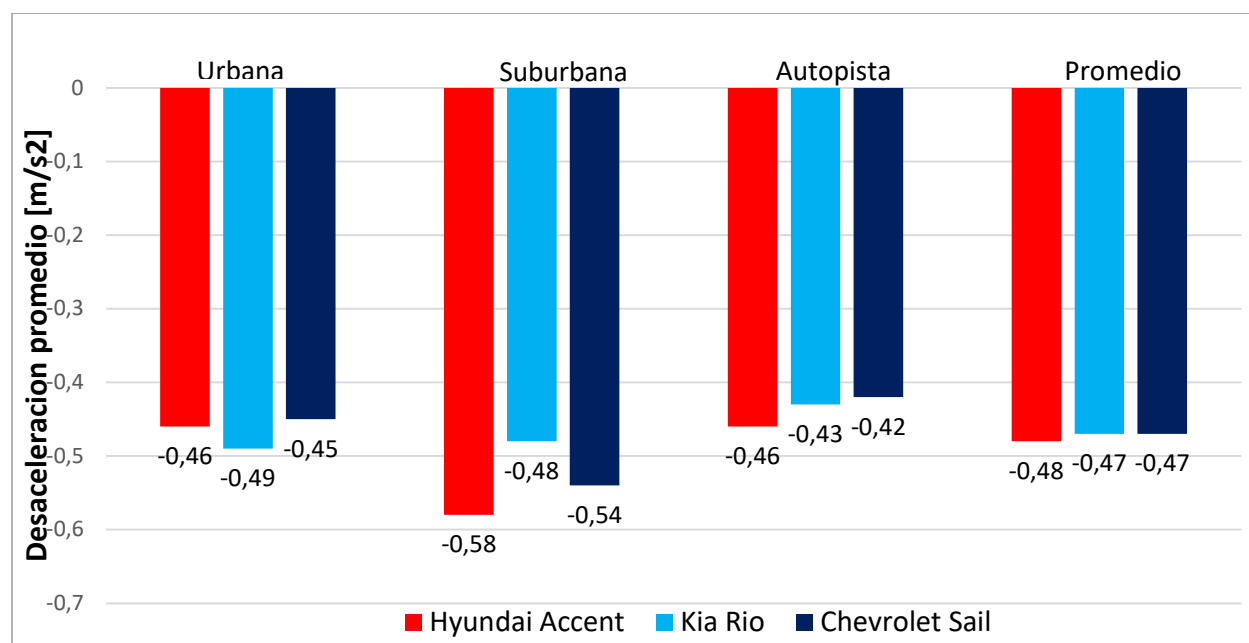


Figura 41. Desaceleración promedio

4.2. ANÁLISIS DE LOS ESTADOS DE CONDUCCIÓN

4.2.1. COMPARACIÓN DEL TIEMPO TOTAL SEGÚN LOS ESTADOS DE CONDUCCIÓN

La Figura 42, proporciona una visión comparativa del tiempo total en ralentí, aceleración, desaceleración y crucero para tres modelos de autos: Hyundai Accent, Kia Rio y Chevrolet Sail. Este análisis es crucial para entender la eficiencia del combustible de cada modelo durante periodos de inactividad. Esta gráfica revela patrones importantes sobre el uso del vehículo y las condiciones de tráfico en diferentes entornos.

El Hyundai Accent presenta un comportamiento variado. Este rango sugiere que, aunque en algunas condiciones el Accent puede ser relativamente eficiente, en otras situaciones puede incurrir en un mayor consumo de combustible debido a los altos tiempos en estado de aceleración.

El Kia Rio, por otro lado, muestra el tiempo en ralentí consistentemente alto, en. Este patrón indica que el Kia Rio tiende a pasar más tiempo en ralentí, lo que podría traducirse en un mayor consumo de combustible y mayores emisiones en comparación con los otros modelos. Esta tendencia es particularmente notable en un contexto urbano con frecuentes paradas y arranques, donde la eficiencia en ralentí se vuelve crítica.

El Chevrolet Sail exhibe la mayor variabilidad, lo que sugiere que, en algunas condiciones, el Sail puede ser muy eficiente, minimizando el tiempo en ralentí y, por ende, el consumo de combustible.

En resumen, el Kia Rio parece ser el menos eficiente en términos de tiempo en ralentí, manteniéndose consistentemente alto, mientras que el Hyundai Accent y el Chevrolet Sail muestran una mayor variabilidad. Para los conductores que buscan optimizar el consumo de combustible y minimizar las emisiones, estos datos sugieren que el Chevrolet Sail podría ser una opción más favorable en situaciones donde puede mantener un bajo porcentaje de ralentí, aunque su rendimiento no sea tan consistente como el de los otros modelos. El Hyundai Accent ofrece un equilibrio, pero puede no ser la mejor opción en términos de eficiencia en ralentí.

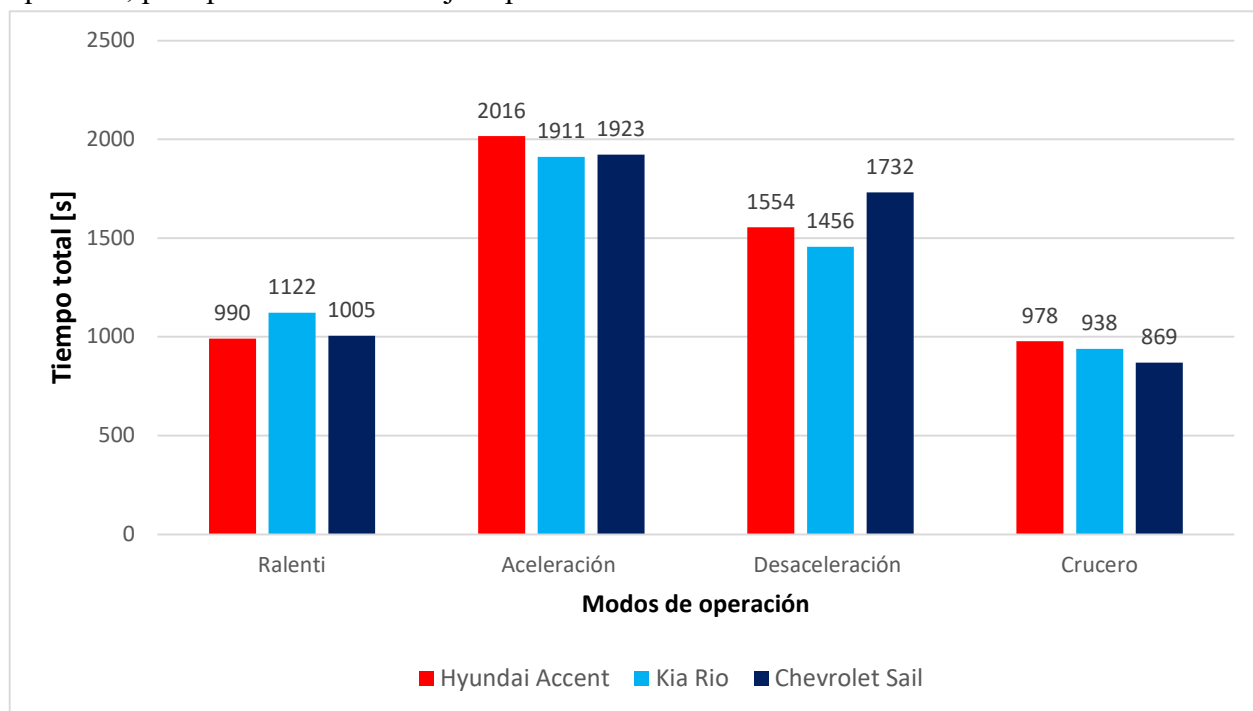


Figura 42. Tiempo total estados de conducción.

4.2.2. COMPARACIÓN DE LOS PORCENTAJES SEGÚN LOS ESTADOS DE CONDUCCIÓN

La Figura 43, muestra los porcentajes de los tres modelos de autos (Hyundai Accent, Kia Rio y Chevrolet Sail) pasan en diferentes estados de conducción: ralentí, aceleración, desaceleración y crucero.

En el estado de ralentí, el Kia Rio pasa un mayor porcentaje de tiempo con un 21%, en comparación con los otros dos modelos, que tienen valores idénticos del 18%. En términos de aceleración, el Hyundai Accent tiene el mayor porcentaje con un 36%, seguido de cerca por el Kia Rio con un 35% y el Chevrolet Sail con un 34.78%.

El estado de desaceleración revela que el Chevrolet Sail pasa más tiempo desacelerando con un 31%, en comparación con los otros dos modelos. El Hyundai Accent y el Kia Rio tienen porcentajes similares en desaceleración, con un 28% y un 27% respectivamente. En el estado de crucero, el Hyundai Accent tiene un ligero porcentaje superior al Kia Rio y al Chevrolet Sail, con un 17.66%, aunque las diferencias son menores.

En general, el gráfico revela que cada modelo de auto tiene un comportamiento distintivo en diferentes estados de conducción. El Kia Rio destaca por pasar más tiempo en ralentí, lo que podría afectar su eficiencia de combustible en entornos urbanos con frecuentes paradas. En cuanto a la aceleración, el Hyundai Accent tiene el mayor porcentaje, lo que sugiere que podría tener un estilo de conducción más dinámico. El Chevrolet Sail muestra un alto porcentaje de tiempo en desaceleración, lo cual podría ser indicativo de un manejo con frecuentes frenadas o condiciones de tráfico más densas. Finalmente, todos los modelos tienen porcentajes similares en el estado de crucero, con el Hyundai Accent ligeramente por delante.

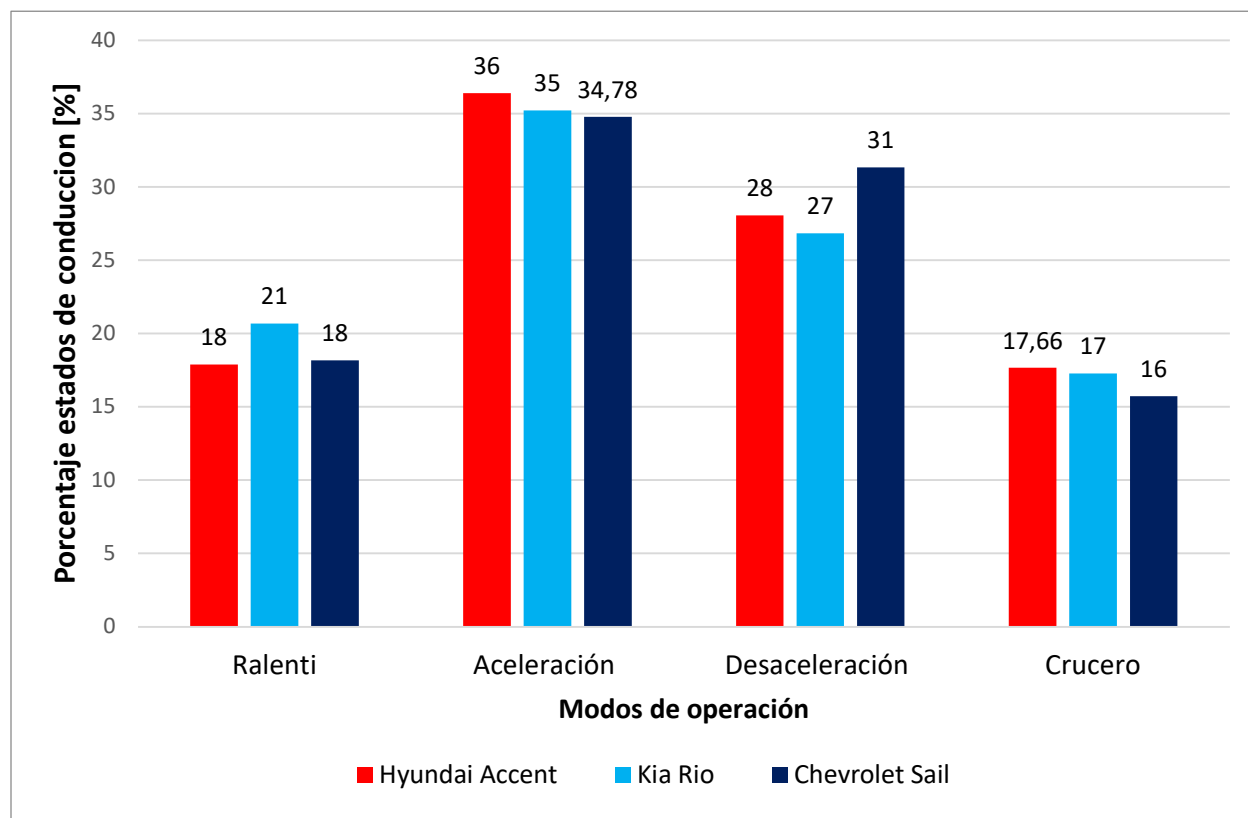


Figura 43. Porcentaje según estados de conducción.

4.3. ANÁLISIS VSP

4.3.1. FRECUENCIA Y DISTRIBUCIÓN

La gráfica presentada en la Figura 44 muestra la distribución y frecuencia porcentual de los valores de VSP instantáneos registrados en los tres vehículos analizados durante el estudio.

En términos generales, se observa que la mayor parte del tiempo los vehículos se mantuvieron en un valor de VSP cercano a 0, lo que indica que la velocidad es inferior a 1 km/h. Este comportamiento sugiere que los vehículos pasan una considerable porción del recorrido en estado de ralenti. Esto puede atribuirse a las características del tráfico en la ciudad de Ibarra, que presenta una elevada congestión vehicular debido a la abundancia de semáforos a lo largo de la ruta.

Adicionalmente, se aprecia que los vehículos presentan frecuentemente valores de VSP instantáneo entre -4 y -2, lo que indica que gran parte del trayecto se lleva a cabo en condiciones de desaceleración, frenado o ralenti. Esto refuerza la idea de que el entorno urbano estudiado favorece la ocurrencia de estos estados operativos.

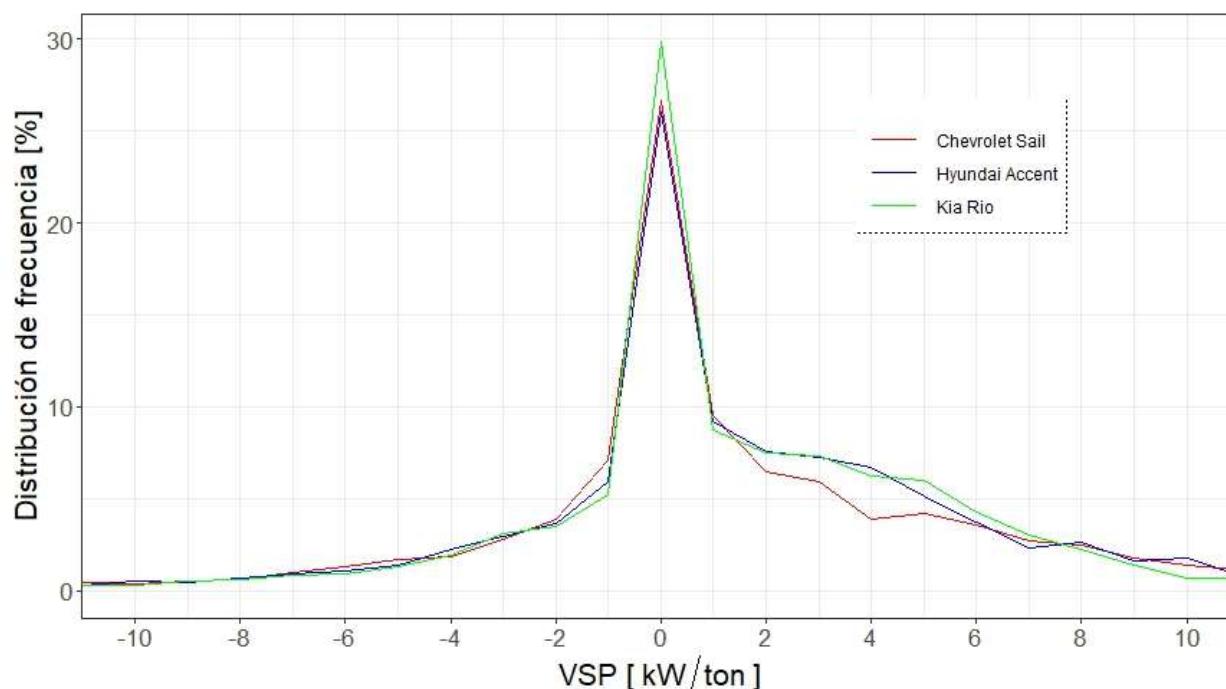


Figura 44. Frecuencia y distribución

4.3.2. ANÁLISIS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE SEGÚN VSP

A continuación, la Figura 45 ilustra la comparación de los datos de consumo de combustible promedio (g/s), con respecto a los bins VSP-Velocidad (kW/t), entre los 3 diferentes modelos de taxi utilizados en la investigación.

En primer lugar, es importante destacar que el consumo de combustible en cada modo de operación muestra un aumento conforme incrementa el valor del VSP. Los tres vehículos estudiados presentan picos de consumo similares en la mayoría de los bins, sin variaciones significativas en el estado de marcha. No obstante, los picos más altos de consumo de combustible se concentran en los bins 112, 113, 213 y 313. Entre los vehículos, el Chevrolet Sail registra un promedio de consumo más elevado en comparación con los otros dos modelos, lo cual se puede atribuir principalmente a su mayor cilindraje. Esto sugiere una tendencia al aumento del consumo de combustible cuando se alcanza una mayor velocidad y un valor de VSP instantáneo superior o igual a 14 kW/t.

En términos generales, se puede observar que los tres vehículos tienden a seguir un patrón de incremento en el consumo de combustible conforme se encuentran en un estado de marcha a

velocidades más elevadas y con valores de VSP altos, reafirmando así la correlación entre estos factores.

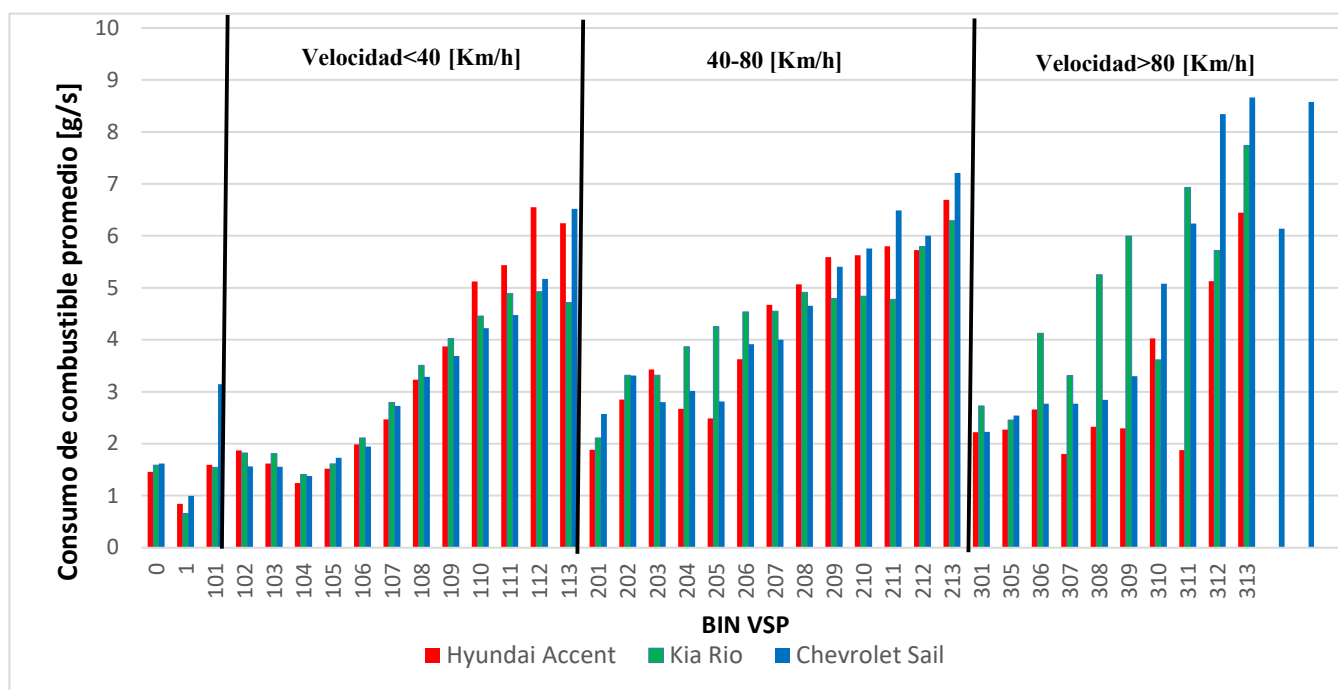


Figura 45. consumo de combustible promedio según VSP.

4.3.3. ANÁLISIS DE LA TASA PROMEDIO DE CO₂ SEGÚN VSP

En la Figura 46, se presenta una comparación del flujo promedio de emisiones de CO₂ (g/s) en relación con los bins VSP-Velocidad (kW/t) para los tres modelos de taxi utilizados en el estudio.

De manera similar a las ilustraciones anteriores, se observa una tendencia de crecimiento en los valores del flujo de CO₂ conforme aumenta la velocidad de los vehículos. Los tres modelos presentan valores de emisiones de CO₂ que siguen un patrón muy similar al del consumo de combustible, mostrando picos más altos en los bins de VSP que superan los 14 kW/t, lo que coincide con las zonas de mayor velocidad. Esto indica una relación directa entre el aumento en el consumo de combustible y las emisiones de CO₂.

En términos generales, se puede concluir que los tres vehículos generan un mayor flujo de CO₂ cuando operan a velocidades más altas y con valores elevados de VSP instantáneo, mientras que las emisiones de CO₂ disminuyen significativamente en escenarios de menor velocidad y con VSP bajos.

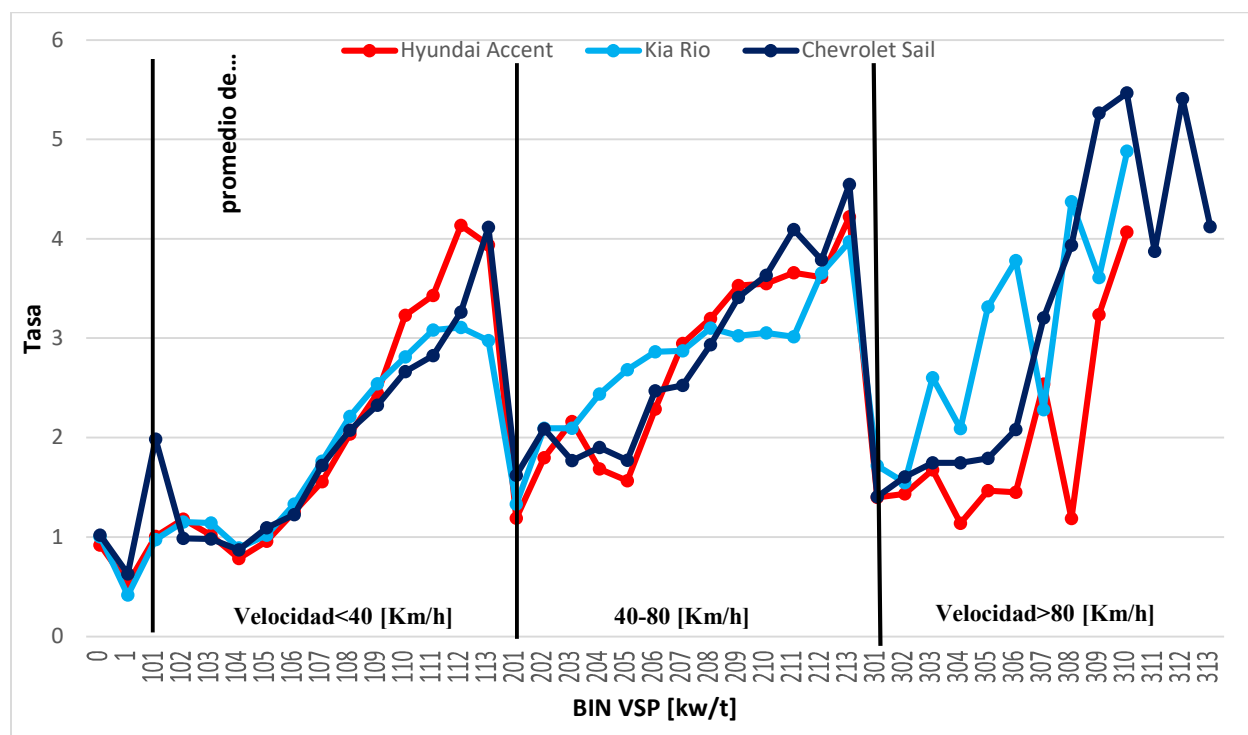


Figura 46. Tasa promedio de CO₂.

4.4. ESTIMACIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y EMISIONES CO₂

El análisis de consumo de combustible y emisiones de CO₂ mediante la interfaz OBD-II permite estimar los valores reales de consumo en la ciudad. El elevado consumo de combustible está relacionado directamente con el aumento de emisiones contaminantes. Esta interfaz permite obtener valores para realizar una estadística del consumo real.

Una vez que se comparó la cinemática y los estados de conducción de vehículos seleccionados por cada escenario de estudio, es necesario contrastar los resultados de la simulación de consumo de combustible y emisiones CO₂, que se basaron en los cálculos de la VSP instantánea de cada condición, tipo de ruta y modelo de vehículo

4.4.1. CONSUMO DE COMBUSTIBLE

La Figura 47, presenta un gráfico de barras que compara el consumo de combustible, medido en litros por kilómetro (l/km), de tres modelos de automóviles: Hyundai Accent, Kia Rio y Chevrolet Sail. El análisis se realiza en diferentes tipos de terrenos o condiciones de manejo, específicamente en urbano, suburbano, perimetral, y se ofrece también un promedio general del consumo en todas las condiciones.

En el eje vertical se encuentra el consumo de combustible, con valores que varían de 0 a 0.14 l/km. En el eje horizontal, se representan los diferentes tipos de secciones de ruta: urbano, suburbano, perimetral, junto con un promedio de todas las categorías. Cada barra del gráfico está codificada por color, representando los diferentes vehículos: rojo para Hyundai Accent, azul claro para Kia Rio, y azul oscuro para Chevrolet Sail.

En cuanto al análisis por secciones de ruta, el consumo en el ámbito urbano muestra que el Hyundai Accent y el Kia Rio tienen un consumo de combustible similar, con valores que son ligeramente inferiores al del Chevrolet Sail, que registra el mayor consumo en esta categoría. Esto sugiere que, en condiciones de manejo urbano, el Chevrolet Sail es menos eficiente en comparación con los otros dos modelos.

En la sección suburbano, el Hyundai Accent destaca como el modelo más eficiente, con el menor consumo de combustible. El Kia Rio y el Chevrolet Sail presentan consumos casi idénticos, indicando que ambos modelos tienen una eficiencia similar en esta categoría, aunque no tan buena como la del Hyundai Accent.

En el entorno perimetral, tanto el Hyundai Accent como el Kia Rio muestran consumos de combustible muy parecidos, que son algo más altos que el del Chevrolet Sail. Este último presenta una ligera ventaja en términos de eficiencia en esta condición específica.

Finalmente, el promedio de consumo de combustible revela que el Kia Rio es el vehículo con el mayor consumo en general, seguido por el Chevrolet Sail, mientras que el Hyundai Accent se mantiene como el modelo más eficiente en promedio.

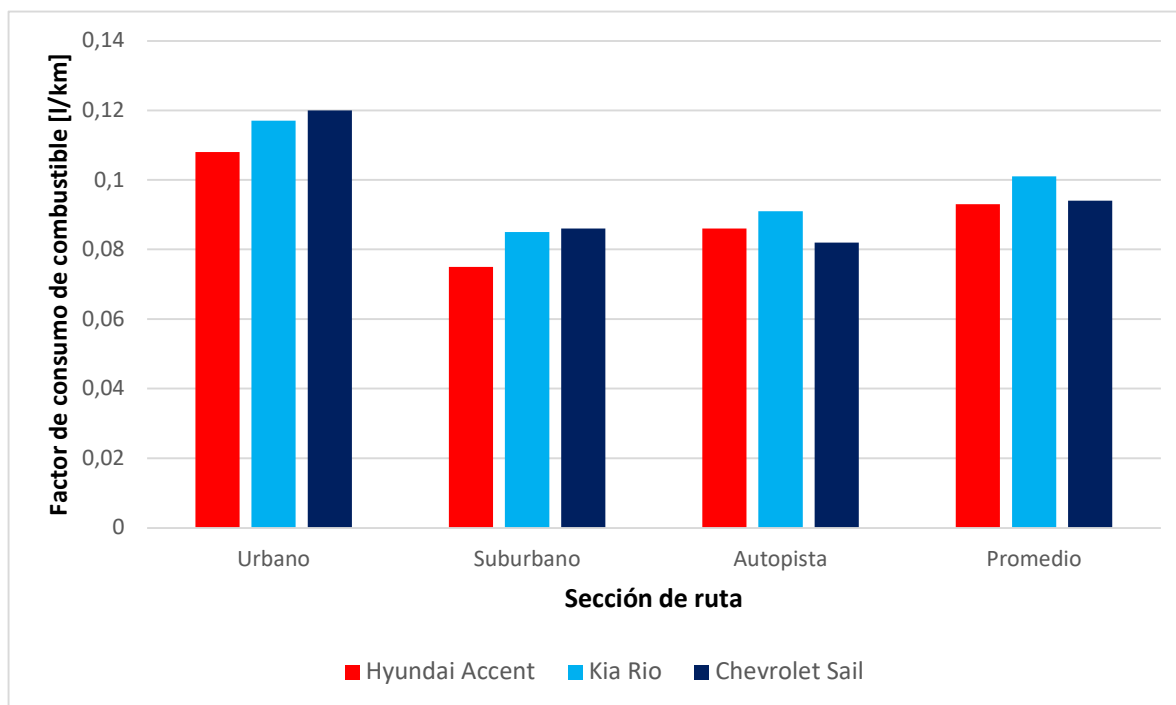


Figura 47. Consumo de combustible

Los datos presentados en la tabla 10 son los datos utilizados para la elaboración de la Figura 47, en los cuales podemos observar que el promedio más alto de consumo de combustible es el del vehículo Kia Rio y el de menor consumo el Hyundai Accent.

Tabla 10 Factor de consumo de combustible

Factor de consumo de combustible [l/km]				
Vehículo	Sección de ruta			
	Urbano	Suburbano	Autopista	Promedio
Hyundai Accent	0,10	0,07	0,08	0,09
Kia Rio	0,11	0,08	0,09	0,10
Chevrolet Sail	0,12	0,08	0,08	0,09

4.4.2. FACTOR DE CO₂

El análisis de las emisiones de CO₂ para los tres modelos de automóviles en diferentes entornos de conducción proporciona una visión detallada sobre su eficiencia y comportamiento medioambiental.

La Figura 48, muestra el factor de emisión de CO₂ (g/km) en diferentes contextos de conducción (Urbano, Suburbano, Perimetral y Promedio) para tres modelos de autos: Hyundai Accent, Kia Rio y Chevrolet Sail.

En el entorno urbano, el Chevrolet Sail muestra las emisiones más altas (alrededor de 260 g/km), lo que sugiere que este modelo es menos eficiente en condiciones de tráfico denso y paradas frecuentes. Esto puede deberse a su patrón de conducción, que, como se observó anteriormente, incluye una alta frecuencia de desaceleraciones. El Kia Rio también presenta altas emisiones (alrededor de 255 g/km), mientras que el Hyundai Accent tiene las emisiones más bajas en este entorno (alrededor de 240 g/km), lo que indica una mejor eficiencia en áreas urbanas.

En el entorno suburbano, el Hyundai Accent destaca con las emisiones más bajas (alrededor de 180 g/km), lo que lo convierte en el más eficiente para este tipo de conducción. Tanto el Kia Rio como el Chevrolet Sail tienen emisiones similares (alrededor de 220 g/km), lo que sugiere que ambos modelos son menos eficientes en comparación con el Accent en áreas suburbanas, posiblemente debido a su mayor peso o menos eficiente diseño aerodinámico.

En el entorno perimetral, las diferencias son menos pronunciadas, pero el Chevrolet Sail presenta una ligera ventaja con emisiones más bajas (alrededor de 200 g/km). El Kia Rio y el Hyundai Accent tienen emisiones similares (alrededor de 220 g/km y 210 g/km respectivamente), lo que indica una eficiencia comparable en esta categoría. Sin embargo, la ventaja del Sail en este entorno sugiere que puede ser más eficiente en condiciones de conducción más constantes y a velocidades moderadas.

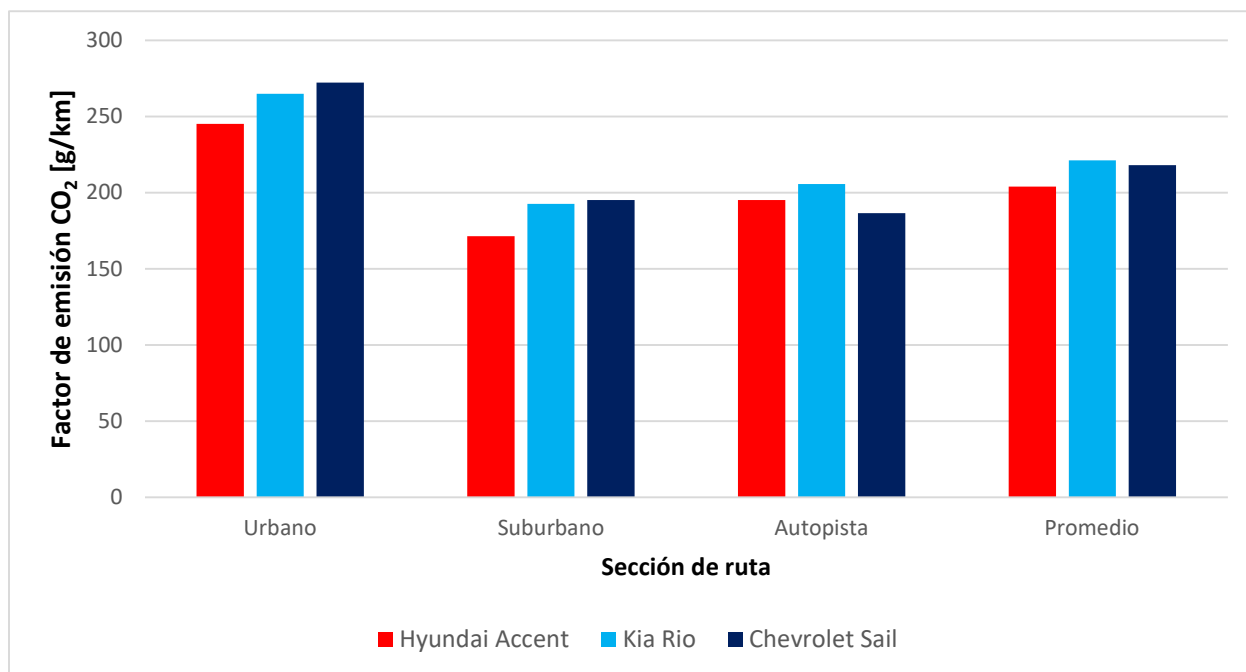


Figura 48. Factor de CO₂

El promedio general de emisiones coloca al Hyundai Accent como el modelo más eficiente con emisiones de CO₂ de alrededor de 220 g/km. El Chevrolet Sail sigue con un promedio de 230 g/km, mientras que el Kia Rio tiene las mayores emisiones promedio (alrededor de 240 g/km). Estos promedios reflejan una tendencia general donde el Accent sobresale en eficiencia energética, seguido por el Sail, y el Rio siendo el menos eficiente en términos de emisiones de CO₂.

Tabla 11. Factor de CO₂

FACTOR DE EMISIONES DE CO ₂ [g/km]				
Vehículo	Sección de ruta			
	Urbano	Suburbano	Perimetral	Promedio
Accent1600	245,07	171,33	195,12	203,84
Rio1400	264,97	192,63	205,66	221,09
Sail1500	272,25	195,14	186,47	217,95

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Al realizar la investigación según los datos proporcionados por Movildelnor se determinó que las marcas con más presencia en el parque automotor de taxis de la ciudad de Ibarra son Chevrolet, Hyundai y Kia en sus modelos Sail, Accent y Rio respectivamente.
- En un inicio, se emplearon los dispositivos CAN UP y flujómetro para registrar el consumo de combustible en los taxis evaluados. Sin embargo, dichos equipos no lograron proporcionar datos precisos y confiables sobre el consumo de combustible a intervalos de 1 segundo. Debido a esta limitación, se decidió optar por un dispositivo alternativo para garantizar la precisión en la recolección de datos.
- Se desarrollo una campaña experimental en diferentes modelos de taxi en donde se conectó al puerto OBD el dispositivo ELM327 con el cual se recolecto las variables cinemáticas necesarias para el estudio como distancia, tiempo, velocidad, además se recolecto el consumo de combustible, revoluciones del motor, etc. Cada registro duro aproximadamente 1 hora con 50 minutos recolectando más de 5000 datos por vehículo a una frecuencia de 1 Hz segundo a segundo.
- Los datos para la investigación fueron procesados en el software Rstudio en el cual se desarrolló los cálculos necesarios para obtener los valores de potencia específica del vehículo (VSP) y con ellos crear los bins VSP con respecto a la velocidad segundo a segundo que permitieron caracterizar y analizar el consumo de combustible y las emisiones de CO₂.
- De acuerdo con los perfiles cinemáticos de los taxis evaluados se obtuvo como resultado que el estado de conducción que prevalece es la aceleración teniendo un promedio de 35.26%
- A medida que VSP y la velocidad del vehículo aumenta los factores de consumo de combustible también lo hacen, en ralenti la tasa de consumo promedio se encuentra entre (0,5 – 0,7 [g/s]), alcanzando en los bins (113,213 y 313) consumo de hasta (5 [g/s]).

- En conclusión, se observó que el Hyundai Accent presentó el mejor rendimiento y el menor consumo de combustible en las secciones de ruta urbana y suburbana, mientras que el Chevrolet Sail demostró una mayor eficiencia en la sección de ruta perimetral, registrando valores más bajos en comparación con los otros vehículos. Por otro lado, el Kia Rio fue el vehículo menos eficiente en las tres secciones de ruta analizadas, al ser el que generó un mayor consumo de combustible a lo largo del estudio. En general, el Hyundai Accent se posicionó como el vehículo más eficiente entre los evaluados.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para futuros trabajos de titulación, se sugiere ampliar este estudio incorporando modelos de taxis que han sido lanzados al mercado recientemente, como el Kia Suelto, Nissan Versa, Renault Sandero, entre otros. Estos vehículos se destacan por contar con sistemas de inyección más avanzados y tecnologías modernas de postratamiento de emisiones, lo que permitiría una evaluación más actualizada y completa del consumo de combustible y emisiones
- El principal inconveniente de utilizar la plataforma ORF 5 en la primera alternativa radica en su limitada frecuencia de muestreo. Se recomienda emplear dos sensores adicionales para establecer un diferencial de flujo, lo que permitiría solucionar el problema asociado a la frecuencia de muestreo y mejorar la precisión de los datos obtenidos.
- Se sugiere el uso del dispositivo ELM-327, dado que representa una herramienta accesible y eficaz para la estimación del consumo de combustible. Además, se recomienda emplear el software RStudio para el procesamiento de los datos recopilados, debido a que es una plataforma estadística robusta y de gran capacidad, ideal para el análisis de grandes volúmenes de información.
- Para futuras investigaciones de titulación, se recomienda utilizar la caracterización detallada de los vehículos con el objetivo de desarrollar un modelo de emisiones. Además, sería valioso comparar el rendimiento y precisión entre el dispositivo ELM-327 y el flujómetro, con el fin de evaluar su efectividad en la estimación de consumo de combustible y emisiones.
- Se sugiere tomar como referencia esta investigación, la cual fue realizada a una altitud de 2,225 metros sobre el nivel del mar, y compararla con los resultados obtenidos al replicar el estudio en ubicaciones a diferentes alturas, como 655 metros sobre el nivel del mar y a nivel del mar. Esta comparación permitiría evaluar el impacto de la altitud en el rendimiento de los vehículos y el consumo de combustible.

Bibliografía

- [1] E. M. Ochoa Bolaños y H. A. Salazar Gudiño, «Estudio Para La Optimización Del Combustible En La Operación De Taxis De La Ciudad De San Miguel De Ibarra», pp. 1-140, 2018.
- [2] L. Rueda, «Estudio para la implementación de una rectificadora y reestructuradora de elementos automotrices en el cantón Cuenca», 2021.
- [3] A. Soriano y J. Antonio, «Bloque, culata y cárter del motor de combustión», pp. 290-294.
- [4] J. D. A. Aguas, «Evaluación del torque y potencia para gasolina extra de 85 - 89 octanos, y súper de 92 - 95 octanos en vehículos de categoría M1 en Quito - Ecuador», *Nucl. Phys.*, vol. 13, n.º 1, pp. 104-116, 2023.
- [5] P. D. E. Grado, P. Juan, y C. Montalvo, «Facultad de Tecnología Propuesta tecnológica para la medida de la potencia efectiva y el torque máximo en Motores de combustión interna alternativos , mediante la evaluación de la Aceleración Instantánea Propuesta tecnológica para la medida de la potencia».
- [6] «Principios termodinamicos maquinas termicas teoria y actividades opt | PPT». Accedido: 6 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/slideshow/principios-termodinamicos-maquinas-termicas-teoria-y-actividades-opt/5955101>
- [7] D. E. Admision, «Diego Fernando Gudiño Morillo Stefano David Lowndes Villalba Director: Ing . Santiago Orozco 1».
- [8] J. G. J. L. R. A. Suárez, «Motores - PDFCOFFEE.COM». Accedido: 6 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://pdfcoffee.com/motores-16-pdf-free.html>
- [9] S. Mad riñán Molina, «Estudio de la eficiencia del ciclo de un motor de encendido Por chispa de 5 tiempos», 2015.
- [10] Santiago Madriñán Molina, «Estudio de la eficiencia del ciclo de un motor de encendido Por chispa de 5 tiempos».
- [11] J. Martins *et al.*, «The aplication of land use and nighttime lights on the development of high-resolution emission inventories for South America», *Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública*, 4, mar. 2014.
- [12] R. V. C. ABAD y T. P. T. QUISHPE, «METODOLOGÍA DE ETIQUETADO DE VEHÍCULOS NUEVOS EN EL ECUADOR BASADO EN LA LEY DE EFICIENCIA ENERGÉTICA», 2020.

- [13] «Ventajas, desventajas, aplicaciones y componentes del motor diésel V12 | FuelFlowPro». Accedido: 6 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://fuelflowpro.com/es/motor-v12-diesel/>
- [14] R. Cordova, P. Cruz, y K. Quenaya, «Pontificia Universidad Católica Del Perú Escuela De Posgrado Autor», *Tesis.Pucp.Edu.Pe*, vol. 1, p. 75, 2023.
- [15] Y. Zheng, «Estudio Comparativo de las Emisiones Procedentes de Autobús en Ciclo Real», pp. 9-114, 2019.
- [16] M. S. Ummah, «La descarbonización del transporte», *Sustainability (Switzerland)*, vol. 11, n.º 1, pp. 1-14, 2019.
- [17] D. T. de Alfaland, «Regulaciones europeas de emisiones en las carretillas térmicas - Manutención y Almacenaje». Accedido: 6 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.manutencionyalmacenaje.com/articulos/253506-Regulaciones-europeas-de-emisiones-en-las-carretillas-termicas.html>
- [18] C. O. C. Pico y A. J. R. Cedeño, «Trabajo integración Curricular previa a la obtención del título de Ingeniero en Automotriz .», n.º c, 2022.
- [19] «Inyeccion+directa+de+gasolina | PPT | Descarga Gratuita». Accedido: 12 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/slideshow/inyecciondirectadegasolina-77148492/77148492>
- [20] Walkerproducts, «Válvula de Control de Tiempo Variable ¿Qué es una Válvula de Control de Tiempo Variable?»
- [21] K. Isizan y D. Vallejo, «CARACTERIZACIÓN DE LOS PERFILES DE CONDUCCIÓN Y LA OPERACIÓN DEL MOTOR EN TAXIS CON EL USO DE EQUIPOS ON-BOARD», 2023.
- [22] J. Moreno Calvo, «Evaluación de la huella de carbono en el sector transporte en España debida a los vehículos diésel e impacto en el medio ambiente», 2016, [En línea]. Disponible en: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/27018>
- [23] Y. Zheng, «Estudio Comparativo de las Emisiones Procedentes de Autobús en Ciclo Real», pp. 9-114, 2019, [En línea]. Disponible en: http://resources.qiagenbioinformatics.com/manuals/clcgenomicsworkbench/650/_E_value.html
- [24] I. Linares, «HOMOLOGACIÓN DE VEHÍCULOS EN FUNCIÓN DE SUS EMISIONES», 2023.

- [25] Á. ROSAS y G. BARONA, «ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE MANTENIMIENTO PARA EL DINAMÓMETRO DE CHASIS LPS 3000, INSTALADO EN EL CENTRO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA PARA LA CAPACITACIÓN E INVESTIGACIÓN EN CONTROL DE EMISIONES VEHICULARES (CCICEV).», 2011.
- [26] D. G. Cordero Moreno, W. R. Vidal Cordero, y C. P. Yascaribay Ramos, «Determinación del consumo de combustible de vehículos en base a los ciclos de conducción EPA FTP 75 y EPA HWFET, en dinamómetro de chasis. Casos de estudio: vehículos Chevrolet Aveo Activo 1,6L, 2011 y Hyundai Accent 1,6L, 2011.», pp. 1-9, 2017.
- [27] A. Liliana y R. Pérez, «ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE CONTAMINANTES PROVENIENTES DE FUENTES MÓVILES EN LA JURISDICCIÓN CAR», 2015.
- [28] S. IBARRA, «IDENTIFICACIÓN DE POSIBLES MEJORAS A LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES VEHICULARES EN COMUNAS DE SANTIAGO DE CHILE», 2012.
- [29] ISSRC, «Manual del Usuario del Modelo IVE Mayo , 2008», p. 55, 2008.
- [30] Miño Juan y Villafuerte Fernando, «Comparación de las emisiones de co2 de los autobuses urbanos de la ciudad de Ibarra para los escenarios Pre y Post Covid-19 aplicando el enfoque de modelización VSP», 2023.
- [31] G. Song y L. Yu, «Estimation of fuel efficiency of road traffic by characterization of vehicle-specific power and speed based on floating car data», *Transp Res Rec*, n.º 2139, pp. 11-20, 2009, doi: 10.3141/2139-02.
- [32] Juan Miño y Fernando Villafuerte, «Comparación de las emisiones de co2 de los autobuses urbanos de la ciudad de Ibarra para los escenarios Pre y Post Covid-19 aplicando el enfoque de modelización VSP», 2023.