



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**  
**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**TEMA:**

“EVALUACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y LAS EMISIONES DE  
CO<sub>2</sub> EN TAXIS UTILIZANDO MONITOREO TELEMÁTICO”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título en Ingeniero Automotriz

**Línea de investigación:** Producción industrial y tecnología sostenible



**AUTORES:** Franklin Paúl Aguilar Montenegro

Verónica Salomé Ortega Flores

**DIRECTOR:** MSc. Fredy Alexander Rosero Obando, PhD

Ibarra-Ecuador

2025

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	<b>DE</b>	0402052013	
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	<b>Y</b>	Aguilar Montenegro Franklin Paúl	
<b>DIRECCIÓN:</b>		Ibarra	
<b>EMAIL:</b>		fpaguilarm@utn.edu.ec	
<b>TELÉFONO FIJO:</b>		062510949	<b>TELF. MOVIL</b> 0939769204
<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	<b>DE</b>	1004812853	
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	<b>Y</b>	Ortega Flores Verónica Salomé	
<b>DIRECCIÓN:</b>		Ibarra	
<b>EMAIL:</b>		vsortegaf@utn.edu.ec	
<b>TELÉFONO FIJO:</b>		062601018	<b>TELF. MOVIL</b> 0992588515

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	Evaluación del consumo de combustible y las emisiones de $CO_2$ en taxis utilizando monitoreo telemático.
<b>AUTOR (ES):</b>	Franklin Paúl Aguilar Montenegro Verónica Salomé Ortega Flores
<b>FECHA:</b>	19/06/2025
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
<b>CARRERA/PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>GRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero Automotriz
<b>DIRECTOR:</b>	MSc. Fredy Alexander Rosero Obando, PhD

## AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Nosotros, Franklin Paúl Aguilar Montenegro y Verónica Salomé Ortega Flores, con cédula de identidad Nro. 040205201-3 y 100481285-3 respectivamente, en calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

LOS AUTORES:

Ibarra, a los 19 días del mes de junio de 2025

Firma.....

Franklin Paúl Aguilar Montenegro.

LOS AUTORES:

Firma.....

Franklin Paúl Aguilar Montenegro.

Firma.....

Verónica Salomé Ortega Flores

## CONSTANCIAS

Los autores manifiestan 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 son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 19 días, del mes de junio de 2025

### LOS AUTORES:

Firma.....

Franklin Paúl Aguilar Montenegro.

Firma.....

Verónica Salomé Ortega Flores

## CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 19 de junio de 2025

MSc. 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.



---

MSc. Fredy Alexander Rosero Obando, PhD.

C.C.: 1002641742

## APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

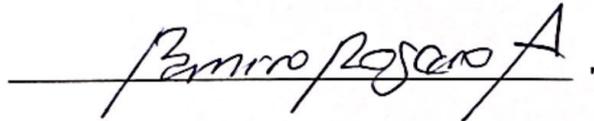
El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular "EVALUACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub> EN TAXIS UTILIZANDO MONITOREO TELEMÁTICO" elaborado por Aguilar Montenegro Franklin Paúl y Ortega Flores Verónica Salomé, previo a la obtención del título de Ingenieros Automotrices, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:



---

MSc. Fredy Alexander Rosero Obando, PhD.

C.C.: 1002641742



---

MSc. Ramiro Andrés Rosero Añazco

C.C.: 1718193616

## **DEDICATORIA**

A mi familia, principalmente a mis padres, Sara Montenegro y Franklin Aguilar, por ser mi mayor ejemplo de esfuerzo, dedicación y amor incondicional. Gracias por estar siempre a mi lado, por confiar en mí incluso en los momentos difíciles, y por brindarme el apoyo necesario para alcanzar esta meta. A mis hermanas Alejandra y Milena, a mi cuñado Paúl Guerrón y a mis sobrinos, por su cariño, por sus palabras de ánimo y por hacerme sentir acompañado en cada etapa del camino. Dedico también este logro a mi novia Melany Coello, por su compañía inquebrantable, su paciencia, y su apoyo en los momentos de cansancio, dudas y esfuerzo.

Gracias a todos por ser parte fundamental de este logro.

Franklin Paúl Aguilar Montenegro

A mis padres, Susana y Arturo, por su amor incondicional y apoyo constante que han sido mi guía y motivación en todo momento. A mis hermanas, Leslie y Pamela, por su compañía y palabras de aliento que fortalecieron mi camino. A mi fiel compañero, mi gato Nicolás, por su silenciosa presencia que me brindó calma y compañía durante las largas jornadas de estudio. A mis docentes de carrera, quienes con su conocimiento y dedicación contribuyeron a mi formación profesional y personal.

Y a Verónica, por la perseverancia y esfuerzo para superar cada desafío y alcanzar esta meta.

Verónica Salomé Ortega Flores

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la culminación de esta etapa tan importante en mi vida.

A mis padres, Sara y Franklin, por su amor incondicional, por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo y por apoyarme en cada paso del camino. A mis hermanas, a mis sobrinos y, en especial, a mi cuñado Paúl, por su tiempo, paciencia y ayuda en momentos clave para el desarrollo de este trabajo. Su apoyo práctico significó mucho para mí.

A mi novia Melany, gracias por estar a mi lado, por creer en mí y acompañarme con amor y paciencia durante todo este proceso. Tu compañía fue esencial para afrontar cada desafío.

Agradezco a todos los docentes que compartieron su conocimiento, en especial a mi tutor, el ingeniero Fredy Rosero, por su paciencia, dedicación y guía constante para mejorar nuestro trabajo.

A mi compañera de tesis, Verónica, gracias por el esfuerzo compartido, por tu compromiso y por llegar juntos a la meta. Este logro también es reflejo del trabajo en equipo y de no rendirnos.

Y a mis amigos, gracias por su amistad, por cada palabra de ánimo y por hacer este camino más llevadero y especial.

Franklin Paúl Aguilar Montenegro

## AGRADECIMIENTO

Primero, agradezco a Dios por darme la fuerza y la sabiduría para superar cada reto que se presentó en el camino.

A mis padres, Susana y Arturo, por su amor incondicional y por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo y la perseverancia. Gracias por creer siempre en mí y ser mi apoyo más grande.

A mis hermanas, Leslie y Pamela, por su cariño, apoyo constante y por acompañarme en cada paso.

A mi compañero de tesis, Paúl, por su amistad, compromiso y colaboración durante esta etapa, con quien compartí cada desafío y aprendizaje.

A mi director de tesis Fredy Rosero, por su guía, paciencia y motivación para lograr este proyecto de investigación.

A mis docentes y compañeros de carrera, por el conocimiento y la amistad que hicieron más enriquecedora esta experiencia.

Un agradecimiento especial a mi equipo deportivo Save Animal Racing Firulais 61, quienes son como una familia dentro y fuera de la pista, por su apoyo, su confianza y las aventuras compartidas.

Finalmente, a mi gato Nicolás, quien ha sido mi compañero silencioso y constante desde el inicio de esta carrera. Gracias por estar a mi lado en cada desvelo, en cada jornada de estudio, y por brindarme paz y ternura cuando más lo necesitaba. Tu compañía ha sido un consuelo y una fuente de alegría incondicional.

Gracias a todos por formar parte de esta etapa de mi vida.

Verónica Salomé Ortega Flores

## RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo principal del presente trabajo de investigación fue evaluar el consumo de combustible y las emisiones de  $CO_2$  en taxis utilizando monitoreo telemático. Para ello, se seleccionó un dispositivo que permita extraer los datos de motor y consumo de combustible de manera telemática siendo este el dispositivo GO9 de la compañía GEOTAB. Dado que la frecuencia de muestreo de este dispositivo era menor a 1 Hz, adicionalmente se utilizó la interfaz ELM 327. De este modo, se realizó dos campañas experimentales, la primera campaña se desarrolló con el dispositivo GO9-GEOTAB, con el objetivo de registrar el consumo de combustible en vehículos livianos gasolina representativos del parque automotor de taxis en la ciudad de Ibarra. Los vehículos estuvieron operando bajo condiciones normales de trabajo dando el servicio de transporte de personas y carga, y circulando en tráfico real en diferentes zonas de la ciudad Ibarra. En la segunda campaña, se usó el equipo ELM327, para registrar los datos cinemáticos y el consumo de combustible en otro modelo de vehículo liviano. Esta segunda campaña se la realizó en tres pruebas en diferentes horarios (7 y 10 de la mañana y a las 3 de la tarde.). Se utilizó una Ruta de Ensayo de Emisiones de Conducción Real (RDE), diseñada específicamente en la ciudad de Ibarra. Esta información permitió analizar la variabilidad espacial de las emisiones de  $CO_2$ . Los resultados obtenidos con el dispositivo GO9-GEOTAB evidenciaron limitaciones relevantes en la medición de la variable de consumo de combustible, principalmente por su baja frecuencia de muestreo, con un promedio de una señal cada 50 segundos, lo que reduce la resolución de los datos. A pesar de ello, fue posible calcular factores de consumo y emisión. El análisis comparativo indicó que el Kia Suelto presentó un factor de consumo 191,13% mayor al del Kia Rio, mientras que el Hyundai Accent fue 22,86% superior, también respecto al Kia Rio. Estas diferencias podrían deberse tanto a las condiciones operativas y mecánicas de los vehículos como a las limitaciones del sistema de medición. En la segunda campaña experimental, el recorrido realizado a las 3:00 p.m. presentó un porcentaje de ralentí del 32,57 %, asociado a una mayor acumulación de emisiones en la zona urbana. El análisis espacial confirmó que en ese horario se registró la mayor concentración de  $CO_2$ , con cuadrículas que alcanzaron valores entre 14 y 35 [ $gCO_2/km$ ], reflejando el impacto de los tiempos de detención prolongadas y el tráfico urbano en las emisiones del vehículo.

**Palabras clave:** Monitoreo telemático, consumo de combustible, factores de emisión, modos de operación, análisis espacio – temporal.

## ABSTRACT

This study aimed to evaluate fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions in taxis through telematic monitoring. For this purpose, the GO9 device from GEOTAB was selected to collect engine and fuel consumption data remotely. Due to its low sampling frequency (less than 1 Hz), the ELM327 interface was also employed. Two experimental campaigns were conducted. The first used the GO9 device to monitor fuel consumption in gasoline-powered taxis operating under real traffic conditions in Ibarra, Ecuador. The second campaign involved the ELM327 interface to record kinematic and fuel consumption data from a different light-duty vehicle, following a Real Driving Emissions (RDE) test route in three sessions (7:00 a.m., 10:00 a.m., and 3:00 p.m.). Results from the GO9 device showed limitations due to low sampling rates, averaging one data point every 50 seconds. Despite this, it was possible to estimate fuel consumption and emission factors. Comparative analysis revealed that the Kia Soluto had a fuel consumption factor 191.13% higher than the Kia Rio, while the Hyundai Accent showed a 22.86% increase. These differences may result from both vehicle-specific operational conditions and device limitations. In the second campaign, the 3:00 p.m. test recorded an idle time of 32.57%, correlating with higher CO<sub>2</sub> concentrations in urban zones. Spatial analysis confirmed this, with some grids reaching emission levels between 14 and 35 gCO<sub>2</sub>/km, highlighting the impact of urban traffic and idle periods on vehicle emissions.

**Keywords:** Telematic monitoring, fuel consumption, emission factors, operating modes, spatiotemporal analysis.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I .....	16
INTRODUCCIÓN .....	16
1.1. Problema de investigación. ....	16
1.1.1. Antecedentes. ....	16
1.1.2. Planteamiento del Problema. ....	17
1.2. Justificación. ....	18
1.3. Objetivos. ....	19
1.3.1. Objetivo General. ....	19
1.3.2. Objetivos Específicos. ....	19
1.4. Alcance. ....	19
CAPÍTULO II .....	20
MARCO TEÓRICO .....	20
2.1. Servicio de Taxis en la Ciudad de Ibarra. ....	20
2.1.1. Descripción de la Ciudad. ....	20
2.1.2. Operadoras de Taxis en la Ciudad. ....	20
2.2. Fundamentos de los Motores de Combustión Interna. ....	20
2.2.1. Principios de Funcionamiento de Motores de Combustión. ....	20
2.2.2. Fundamentos de los Motores de Encendido Provocado. ....	21
2.2.3. Consumo Específico de Combustible y Eficiencia. ....	22
2.3. La Combustión en Motores de Encendido Provocado. ....	23
2.3.1. Formación de la Mezcla. ....	23
2.3.3. Curvas Características del Motor: Par, Potencia y Consumo. ....	24
2.3.4. Normativas Para la Reducción de Emisiones de $CO_2$ . ....	25
2.3.5. Sistemas de Alimentación de Combustible en Motores Gasolina. ....	26

2.3.6.	Tecnologías para Disminuir el Consumo en un Motor MEP. ....	28
2.4.	Estrategias para el Control y Rendimiento de Combustible en Flotas.....	29
2.4.1.	Monitoreo de los Niveles de Combustible.....	29
2.4.2.	Tecnologías para la Transmisión de Datos de Consumo. ....	32
2.5.	Evolución de los Sistemas de Monitoreo Telemático. ....	33
2.5.1.	Sistemas de monitoreo de combustible telemático .....	34
2.6.	Software para el Procesamiento de Datos.....	35
2.6.1.	Procesamiento de Datos.....	35
2.6.2.	Herramientas para el Procesamiento de Datos.....	36
2.6.3.	Análisis Espacial del Procesamiento de Datos. ....	40
CAPÍTULO III.....		42
METODOLOGÍA.....		42
3.1.	Selección de Variables. ....	42
3.1.1.	Variables de Operación de Motor.....	43
3.1.2.	Variables Cinemáticas. ....	43
3.1.3.	Variables de Modo de Operación del Vehículo.....	44
3.2.	Selección de Equipo y Herramientas Digitales.....	44
3.2.1.	Dispositivo GO9 – GEOTAB. ....	44
3.2.2.	Plataforma en línea MyGeotab. ....	46
3.2.3.	Interfaz de Diagnóstico OBD ELM 327. ....	50
3.3.	Selección de Vehículos.....	54
3.3.1.	Caracterización del Parque Automotor. ....	54
3.3.2.	Selección de Vehículos.....	56
3.4.	Configuración de Equipos y Pruebas Piloto. ....	59
3.4.1.	Prueba Piloto Dispositivo GO9-GEOTAB. ....	59

3.4.2.	Prueba Piloto Interfaz ELM 327.....	62
3.5.	Campañas Experimentales.....	65
3.5.1.	Ejecución de la Campaña Experimental con el Dispositivo GO9-GEOTAB.....	65
3.5.2.	Ejecución de la Campaña Experimental con la Interfaz ELM 327.....	66
3.6.	Procesamiento de Datos Dispositivo GO9-GEOTAB.....	67
3.6.1.	Pre-Procesamiento de Datos Dispositivo Telemático GO9-GEOTAB.....	67
3.6.2.	Procesamiento de Datos Dispositivo Telemático GO9-GEOTAB.....	71
3.6.3.	Post-Procesamiento de Datos Dispositivo Telemático GO9-GEOTAB.....	75
3.7.	Procesamiento de Datos Interfaz ELM327.....	77
3.7.1.	Pre - Procesamiento de Datos Interfaz ELM 327.....	78
3.7.2.	Procesamiento de Datos Interfaz ELM 327.....	80
3.7.3.	Post - Procesamiento de Datos Interfaz ELM 327.....	83
	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	88
4.1.	Análisis Registro de Datos del Dispositivo Telemático GO9-GEOTAB.....	88
4.1.1.	Análisis Vehículo A: Hyundai Accent.....	88
4.1.2.	Análisis Vehículo B: Kia Solutio.....	90
4.1.3.	Análisis Vehículo C: Kia Rio.....	91
4.2.	Análisis Operación del Motor con el Dispositivo Telemático GO9-GEOTAB.....	93
4.3.	Análisis Cinemática del Vehículo con el Dispositivo Telemático GO9-GEOTAB.....	94
4.4.	Factores de Consumo de Combustible y Emisiones de <i>CO2</i> Dispositivo Telemático..	95
4.4.1.	Vehículo A: Hyundai Accent.....	96
4.4.2.	Vehículo B: Kia Solutio.....	97
4.4.3.	Vehículo C: Kia Rio.....	98
4.4.4.	Comparación de Rendimiento de Vehículo.....	100
4.5.	Análisis Cinemático Interfaz ELM 327.....	104

4.5.1. Cinemática del Vehículo Hyundai Getz.....	104
4.5.2. Modos de Operación Vehículo Hyundai Getz.....	105
4.6. Mapeo de <i>CO2</i> basado en la Interfaz ELM 327.....	107
4.6.1. Análisis en la Zona Urbana.....	107
4.6.2. Análisis en la Zona Extraurbana. ....	110
4.6.3. Análisis en la Zona de Autopista. ....	113
4.6.4. Análisis entre Zonas.....	116
4.7. Factores de Consumo y <i>CO2</i> .....	116
CAPÍTULO V.....	118
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	118
5.1. Conclusiones.....	118
5.2. Recomendaciones. ....	120
REFERENCIAS.....	121
ANEXOS .....	126

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables de operación de motor .....	43
Tabla 2. Variables Cinemáticas .....	43
Tabla 3 Criterios para definir modos de operación .....	44
Tabla 4 Especificaciones Técnicas Dispositivo GO9 .....	45
Tabla 5. Características Técnicas ELM 327.....	50
Tabla 6. Modelos de vehículos.....	56
Tabla 7. Vehículos Evaluados para Pruebas Iniciales .....	57
Tabla 8. Característica Técnicas Vehículos .....	58
Tabla 9. Variables de Registro Torque Pro .....	64
Tabla 10. Campaña Experimental .....	65
Tabla 11. Selección de Vehículos y Fechas de Registro .....	69
Tabla 12. Variables Renombradas Dispositivo GO9-GEOTAB. ....	70
Tabla 13. Variables Renombradas Interfaz ELM 327 .....	79
Tabla 14. Coordenadas para Graficar.....	85
Tabla 15. Frecuencia de Muestreo Vehículo A: Hyundai Acent. ....	89
Tabla 16. Frecuencia de Muestreo Vehículo B: Kia Soluta. ....	90
Tabla 17. Frecuencia de Muestreo Vehículo C: Kia Rio.....	92
Tabla 18. Resultados Operación del Motor de los Vehículos. ....	93
Tabla 19. Resultados Cinemáticos de los Vehículos. ....	94
Tabla 20. Factores de Consumo y CO2 Vehículo A: Hyundai Accent. ....	96
Tabla 21. Factores de Consumo y CO2 Vehículo B: Kia Soluta.....	98
Tabla 22. Factores de Consumo y CO2 Vehículo C: Kia Rio. ....	99
Tabla 23. Factor de Consumo de Combustible de los tres Vehículos. ....	100
Tabla 24. Resultados Cinemáticos en los Diferentes Horarios .....	104
Tabla 25. Factores y Diferencia Porcentual. ....	117

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes de un Motor de Combustión Interna.....	21
Figura 2. Ciclo Teórico de Funcionamiento.....	22
Figura 3. Curvas Características .....	25
Figura 4. Circuito de Alimentación de Combustible .....	26
Figura 5. Evolución Sistema de Alimentación.....	27
Figura 6. Esquema Sistema de Inyección Electrónico de Bosch.....	28
Figura 7. Secuencia del monitoreo telemático .....	30
Figura 8. Software Power Bi.....	36
Figura 9. Software Python .....	37
Figura 10. Software Excel.....	38
Figura 11. Software Matlab .....	39
Figura 12. Software Rstudio .....	40
Figura 13. Flujograma de Metodología .....	42
Figura 14. Dispositivo GO9.....	45
Figura 15. Panel de Graficas, Activos y Mapa de la plataforma MyGeotab .....	47
Figura 16. Herramientas de la Plataforma MyGeotab .....	48
Figura 17. Mensajería y Soporte Técnico de la Plataforma MyGeotab.....	49
Figura 18. Dispositivo ELM 327 .....	50
Figura 19. Menú Principal de Torque Pro.....	51
Figura 20. Apartado de Visualización de Información en Tiempo Real.....	52
Figura 21. Visualización de Códigos de Falla.....	52
Figura 22. Visualización GPS de velocidad.....	53
Figura 23. Visualización de Resultados de Prueba .....	53
Figura 24. Visualización de Apartado de Gráficos .....	54
Figura 25. Clasificación por Marca de taxis convencional.....	55
Figura 26. Vehículos Seleccionados.....	58
Figura 27. Proceso para el Registro del Dispositivo Telemático GO9 – GEOTAB .....	59
Figura 28. Nomenclatura de Activo .....	60
Figura 29. Instalación Dispositivo Telemático .....	60
Figura 30. Software en línea MyGeotab .....	61

Figura 31 Extracción de Mediciones de Motor.....	62
Figura 32. Instalación Interfaz ELM 327.....	63
Figura 33. Especificaciones Iniciales del vehículo.....	63
Figura 34. Visualización de Registros Obtenidos de la Interfaz ELM 327.....	65
Figura 35. Circulación en Tráfico Real en Diferentes Zonas de la Ciudad Ibarra.....	66
Figura 36. Ruta de Estudio RDE en la Ciudad de Ibarra.....	67
Figura 37. Diagrama de Pre-procesamiento de datos.....	68
Figura 38. Formato Reportes MyGeoTab.....	69
Figura 39. Código para Sincronización de Datos.....	71
Figura 40. Diagrama del Procesamiento de datos.....	72
Figura 41. Código para Función Estadística Summarise.....	73
Figura 42. Código para Frecuencia de Muestreo.....	74
Figura 43. Diagrama del Post-procesamiento de datos.....	76
Figura 44. Código de Clasificación Individual por Vehículo.....	77
Figura 45. Ejecución de gráficos en Rstudio.....	77
Figura 46. Diagrama de flujo del Pre - Procesamiento de datos.....	78
Figura 47. Extracto de código de limpieza y renombramiento de variables.....	79
Figura 48. Extracto de código de clasificación por zonas.....	80
Figura 49. Diagrama de flujo del Procesamiento de datos.....	81
Figura 50. Extracto de código para la clasificación de los modos de operación.....	82
Figura 51. Extracto de código Combustible Instantáneo.....	82
Figura 52. Extracto de Código para el Cálculo de Masa de CO2.....	83
Figura 53. Diagrama de flujo del Post - Procesamiento de datos.....	83
Figura 54. Extracto de código para creación de gráficas de Modos de Operación.....	84
Figura 55. Extracto de código para obtener el mapa de las diferentes zonas.....	85
Figura 56. Extracto de código para representación ráster de emisiones de CO2.....	86
Figura 57. Código para Extracción de Datos de statsummary.....	87
Figura 58. Factor de Emisión - Distancia Vehículo A: Hyundai Accent.....	97
Figura 59. Factor de Emisión - Distancia Vehículo B: Kia Soluta.....	98
Figura 60. Factor de Emisión - Distancia Vehículo C: Kia Rio.....	100
Figura 61. Comparación entre Vehículos Factor de Emisión – Distancia en días laborables.....	102

Figura 62. Comparación entre Vehículos Factor de Emisión – Distancia Fin de Semana.....	103
Figura 63. Comparación General entre Vehículos Factor de Emisión – Distancia.....	103
Figura 64. Modos de Operación.....	106
Figura 65. Mapeo Consumo de Combustible Zona Urbana. ....	108
Figura 66. Cantidad de Grids por Intervalos de Consumo de Combustible Urbano .....	108
Figura 67. Mapeo Emisiones de CO2 Zona Urbana.....	109
Figura 68. Cantidad de Grids por Intervalos de CO2 Urbano.....	110
Figura 69. Mapeo Consumo de Combustible Zona Extraurbana.....	111
Figura 70 Cantidad de Grids por Intervalos de Consumo de Combustible Extraurbano.....	111
Figura 71. Mapeo Emisiones de CO2 Zona Extraurbana.....	112
Figura 72. Cantidad de Grids por Intervalos de CO2 Extraurbano .....	113
Figura 73. Mapeo Consumo de Combustible Zona Autopista .....	113
Figura 74. Cantidad de Grids por Intervalos de Consumo de Combustible Autopista .....	114
Figura 75. Mapeo Emisiones de CO2 Zona Autopista .....	115
Figura 76. Cantidad de Grids por Intervalos de CO2 Autopista .....	115
Figura 77. Cantidad de Grids por Intervalos de CO2 Ruta Total. ....	116

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Problema de investigación.

#### 1.1.1. Antecedentes.

Surge la necesidad de implementar estrategias y políticas destinadas a la reducción de gases contaminantes, especialmente el  $CO_2$ . Se han llevado a cabo estudios previos para abordar esta problemática, los cuales han generado técnicas de medición aplicables al parque automotor. En este contexto, se ha elegido como objeto de estudio principal a los taxis urbanos, caracterizados por su amplio uso y popularidad en la sociedad.

En la ciudad de Cuenca, se ejecutó un análisis detallado de las emisiones de  $CO_2$  en taxis, empleando una metodología basada en el Modelo Internacional de Emisiones Internacionales (IVE) (International Sustainable Systems Research Center, 2008). Este método, de naturaleza indirecta, implica la multiplicación de una base de factores de emisiones proporcionados por un software, considerando factores de corrección y las distancias recorridas en diversos ciclos de conducción. De este modo, el estudio presentó una muestra significativa de datos de velocidad en dos escenarios, tanto en "hora valle" como en "hora pico", se obtuvieron resultados de factores de emisión de  $CO_2$  de 269,73 g/km para el primero y 273,03 g/km en el segundo. Estos datos condujeron a la conclusión de que, efectivamente durante las horas pico, se registra un mayor consumo de combustible debido al aumento del tráfico vehicular en ese período, especialmente en taxis de 1400 cc (Quinde, 2019).

En la ciudad de Ibarra, se caracterizó los perfiles de conducción y la operación del motor en taxis de la ciudad de Ibarra (Isizán Bolaños & Vallejo Pinchao, 2023). Principalmente, la metodología utilizada para la obtención de los datos de operación del motor, en concreto la variable de consumo de combustible, se utilizó la Interfaz OBD-II ELM 327 para monitoreo de los datos de la ECU del vehículo mediante su aplicación móvil Torque Pro. Esta metodología permite obtener diferentes parámetros de operación del motor del vehículo, activados desde la aplicación, registrando datos de consumo de combustible segundo a segundo (1 Hz), los cuales posteriormente serán procesados para la estimación de las emisiones de  $CO_2$ . Para los resultados se obtuvo que en la zona urbana

presentó un valor de 89.44 g/km, seguido de la ruta autopista con 69.92 g/km y la ruta extraurbana con 63.19 g/km.

Aunque estas técnicas investigativas contribuyen notablemente a un mejor entendimiento de las emisiones de los vehículos de combustión interna en nuestro entorno, es importante señalar que aún no abarcan por completo la implementación de tecnologías automatizadas a través de la telemetría. Con estos antecedentes, la presente investigación se centra en el desarrollo de un modelo telemático mediante el uso de un dispositivo de seguimiento telemático (GO9) y la recopilación de datos mediante el uso de un software específico.

### **1.1.2. Planteamiento del Problema.**

El calentamiento global es una de las problemáticas más controversiales a nivel mundial. Los gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) presentes en la atmósfera, tienen una alta consecuencia debido a la actividad humana desarrollada a través de las evoluciones industriales a lo largo de la historia (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2024).

Según la Agencia Internacional de la Energía (IEA) el incremento de emisiones de  $CO_2$  aumentó un 3% entre el 2021 y 2022 a nivel mundial (International Energy Agency, 2022). Siendo así como referencia primordial para Europa, proyectando una reducción de dióxido de carbono en vehículos livianos establecido por años, en el 2005 la estimación de dióxido de carbono se mantenía en un rango de 0 a 500 (Mt), en el 2030 la estimación descendió de 0 a 300 (Mt); proyectando para el 2050, reducciones de 0 a 200 (Mt) (European Environment Agency, 2023). Estos datos establecen un margen de menor impacto de dióxido de carbono al ambiente, cumpliendo con las estrictas normas EURO emitidas por la Unión Europea, las cuales también se rigen en Ecuador.

En Ecuador, el sector de transporte por carretera (vehículos livianos y pesados), representó aproximadamente el 49,1% del consumo energético nacional para el año 2022, según el Ministerio de Energía y Minas (Ministerio de Energía y Minas, 2023), esto debido al uso principal de combustibles fósiles. De modo que aproximadamente la mitad de las emisiones de  $CO_2$  producidas en el país corresponden a este sector.

En el año 2020, en la ciudad de Ibarra presentó una cobertura de 1424 unidades de taxis convencionales y ejecutivos (Gobierno Autónomo, n.d.). Estos vehículos, al tener una gran demanda en los sectores urbanos de la ciudad, ejercen una influencia significativa a nivel social y

cultural, ya que, en comparación con los autobuses urbanos, ofrecen ventajas notables en términos de comodidad y seguridad a costos accesibles.

Por lo tanto, el hecho que los taxis permanezcan varias horas en circulación generando un elevado consumo de combustible, implicando así elevadas emisiones de  $CO_2$ . Esto se traduce a un aumento significativo de los gases de efecto invernadero, siendo así un desafío tanto energético como medio ambiental que debe ser abordado.

## **1.2. Justificación.**

Las emisiones generadas por motores de combustión interna pueden clasificarse en dos categorías principales: aquellas que afectan la salud humana, como el Monóxido de Carbono (CO), los Hidrocarburos (HC), los Óxidos de Nitrógeno ( $NO_x$ ) y las Partículas Suspendidas (PM); y aquellas que contribuyen al cambio climático, como el Dióxido de Carbono ( $CO_2$ ), un gas de efecto invernadero asociado al calentamiento global.

Este proyecto de investigación se centra en la medición del consumo de combustible en vehículos comerciales específicamente en taxis, enfocándose en la evaluación de las emisiones de Dióxido de Carbono ( $CO_2$ ) mediante el uso e implementación de sistemas telemáticos. Los cuales, proporcionan ventajas significativas en la evaluación del comportamiento y rendimiento de los motores de combustión interna, especialmente en el caso de los taxis (Wialon, n.d.).

Tomando en cuenta el número de taxis que se movilizan dentro de los límites de la ciudad de Ibarra, con una cobertura total de 1424 unidades (Gobierno Autónomo, n.d.). La elección de los taxis como objeto de estudio se fundamenta en su importancia como componentes significativos del parque vehicular urbano y su relevancia en la movilidad cotidiana.

Además, con el análisis y evaluación de los datos obtenidos permitirá desarrollar estrategias y formulación de políticas para la reducción de emisiones contaminantes por el transporte urbano terrestre. Cumpliendo con el objetivo 12 del Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 de fomentar modelos de desarrollo sostenibles aplicando medidas de adaptación y mitigación al cambio climático (Secretaría Nacional de Planificación, 2021).

### **1.3. Objetivos.**

#### **1.3.1. Objetivo General.**

Evaluar el consumo de combustible y las emisiones de  $CO_2$  en taxis utilizando monitoreo telemático.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos.**

- Cuantificar el consumo de combustible en diferentes modelos de taxis mediante sistemas de monitoreo telemático.
- Estimar los factores de consumo de combustible y emisiones de  $CO_2$  generadas por los taxis durante su operación en condiciones de tráfico urbano.
- Analizar la variabilidad espacial de las emisiones de  $CO_2$  para diferentes condiciones de tráfico.

### **1.4. Alcance.**

Esta investigación se enfoca en analizar el consumo de combustible y las emisiones de  $CO_2$  en varios modelos de taxis usando equipos de monitoreo telemático. Para ello, esta investigación incluirá las siguientes cuatro etapas: En primer, lugar se realizará una identificación de los modelos más representativos de la flota de taxis de la ciudad para seleccionar los vehículos de pruebas. En segundo lugar, se seleccionarán los dispositivos necesarios para la medición telemática del flujo de combustible en los vehículos evaluados. En tercer lugar, se desarrollará la campaña experimental, donde los taxis de pruebas serán equipados con los dispositivos de medición para ser monitoreadas telemáticamente por aproximadamente un mes. En cuarto lugar, los datos de la campaña serán procesados en un software estadístico para estimar los factores de consumo de combustible y emisiones de  $CO_2$  de los taxis evaluados. En la última etapa, los datos de la campaña experimental también se utilizarán para analizar la variabilidad espacial de las emisiones de  $CO_2$  de los taxis evaluados para diferentes condiciones de tráfico.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Servicio de Taxis en la Ciudad de Ibarra.**

##### **2.1.1. Descripción de la Ciudad.**

San Miguel de Ibarra, la capital de la provincia de Imbabura alberga una población de 221 149 habitantes (Gobierno Autónomo, n.d.). En su división territorial se encuentra situada a 115 km al noroeste de Quito y 125 km al sur de la ciudad de Tulcán, a una altitud de 2225 m s.n.m (EcuRed, n.d.). La localidad presenta un clima seco templado, con una variación de temperatura que oscila entre los 13°C y los 24°C.

##### **2.1.2. Operadoras de Taxis en la Ciudad.**

Basados en la normativa ecuatoriana, en la Ciudad de Ibarra podemos encontrar dos modalidades de servicio de taxi. En primer lugar, podemos mencionar el taxi convencional, el cual cuenta con un total de 1033 unidades distribuidas entre 46 compañías. En segundo lugar, podemos mencionar a la modalidad es la de taxi ejecutivo, que cuenta con un total de 391 unidades distribuidas entre 13 compañías (Gobierno Autónomo, n.d.). La principal diferencia entre estas dos modalidades es que la modalidad de taxi ejecutivo solo puede recoger pasajeros bajo llamada telefónica. En general el servicio de taxis de la ciudad de Ibarra dispone de 1424 unidades de servicio de taxi.

#### **2.2. Fundamentos de los Motores de Combustión Interna.**

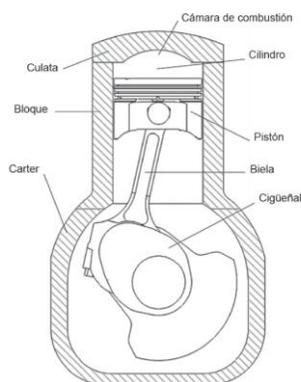
##### **2.2.1. Principios de Funcionamiento de Motores de Combustión.**

Un motor de combustión es aquella máquina capaz de transformar la energía química de un combustible liberada en forma de calor y transformarla en energía mecánica o de movimiento (Secundino, 2011). Existen varios criterios para clasificar los motores de combustión; sin embargo, el principal suele ser el tipo de combustión aplicado. Bajo este criterio se puede encontrar los motores de combustión externa y los motores de combustión interna.

Los motores de combustión externa liberan la energía de un combustible y la aprovechan para calentar otro fluido, el mismo que será el encargado de realizar el trabajo. Mientras que los motores de combustión interna aprovechan la misma energía liberada por el fluido combustionado para realizar el trabajo. La presente investigación se enfocará específicamente en los motores de combustión interna de tipo alternativos.

### 2.2.1.1. Motores de Combustión Interna Alternativos.

La principal característica del funcionamiento de los Motores de Combustión Interna Alternativos (MCIA) es que el trabajo se aprovecha por el desplazamiento lineal del émbolo dentro de un cilindro mediante el mecanismo biela-manivela (de Antonio & Munoz Dominguez, 2016). Además, estos motores alternativos pueden ser de dos tipos por su ciclo termodinámico siendo los de ciclo Otto los Motores de Encendido Provocado (MEP) y los de ciclo Diésel los Motores de Encendido por Compresión (MEC). La figura 1 muestra brevemente el esquema de las partes de los MCIA.



**Figura 1.** Partes de un Motor de Combustión Interna (Antonio & Munoz Dominguez, 2016)

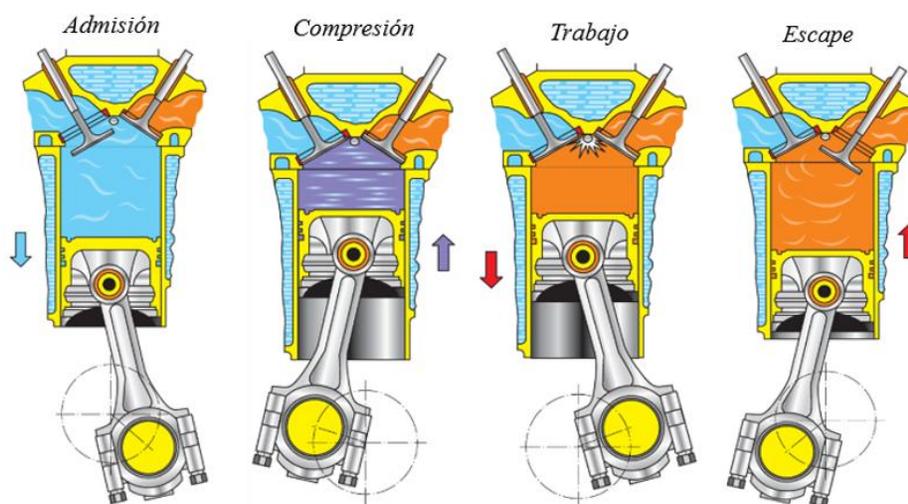
### 2.2.2. Fundamentos de los Motores de Encendido Provocado.

Los motores MEP se basan principalmente en el ciclo termodinámico Otto. Este requiere de una chispa eléctrica producida por una bujía para poder encender una mezcla de aire/combustible dentro de la cámara de compresión y realizar el trabajo en los pistones. La combustión va a depender del tipo de combustible utilizado como puede ser la gasolina, gas natural, gas licuado de petróleo, etanol e hidrógeno. Esta depende del número de octanaje el cual indica la resistencia a la detonación, mientras mayor sea el mismo, mejor será la eficiencia en la combustión. El pistón realiza un movimiento rectilíneo el cual se transforma en circular por medio del cigüeñal generando una potencia para mover el vehículo.

#### 2.2.2.1. Funcionamiento del Motor MEP de Cuatro Tiempos.

El ciclo Otto se desarrolla en cuatro fases, estas fases son: admisión, compresión, trabajo y escape. El motor para poder llevar a cabo las cuatro fases requiere que el cigüeñal realice dos vueltas, los pistones cumplan cuatro carreras y el árbol de levas de una vuelta. A continuación, se describe en la figura 2 cada una de las fases.

En la primera fase (admisión), la válvula de admisión se abre y es cuando se produce la formación de la mezcla, aquí el pistón se desplaza desde el Punto Muerto Superior (PMS) hacia el Punto Muerto Inferior (PMI), admitiendo una mezcla de aire/combustible con una relación de 14,7:1 respectivamente. En la segunda fase (compresión), las válvulas permanecen cerradas, aquí el pistón sube hacia el PMS comprimiendo la mezcla tanto como lo permita la relación de compresión con un promedio de 10,5:1 ya que depende de la configuración de cada motor, preparando así la mezcla para la siguiente fase. En la tercera fase (trabajo), las válvulas permanecen cerradas aun, se puede dividir en tres partes que se producen instantáneamente: En la primera es cuando se produce la chispa por la bujía y se produce la explosión. En la segunda debida a la explosión se eleva la temperatura y presión llamado combustión. En la tercera finalmente se produce la expansión de los gases empujando el pistón hacia el PMI. En la última fase (escape), la válvula de escape se abre y con el desplazamiento del pistón hacia el PMS, desplaza los gases quemados hacia el exterior. De este modo, termina el ciclo termodinámico dando paso de nuevo a la primera fase de admisión.



**Figura 2.** *Ciclo Teórico de Funcionamiento*

*(Secundino, 2011)*

### 2.2.3. Consumo Específico de Combustible y Eficiencia.

El Consumo Específico de Combustible (sfc) es un parámetro más útil. Es la relación que existe entre el flujo de combustible que ingresa al motor con la potencia de salida. Sus unidades pueden ser en g/kW h. Para los motores MEP, el mejor valor del sfc es de 270 g/kW h. El valor del consumo específico de combustible es necesario para la determinación de la eficiencia del motor.

$$sfc = \frac{\dot{m}_f}{P}$$

**Ecuación 1.**

## **2.3. La Combustión en Motores de Encendido Provocado.**

### **2.3.1. Formación de la Mezcla.**

Los motores MEP se caracterizan porque para la formación de la mezcla se fundamenta en la regulación de carga cuantitativa. Al hablar de regulación de carga cuantitativa quiere decir que cuando al motor se le demanda mayor carga, lo que se varía es la cantidad de la mezcla regulando tanto el ingreso de aire debido a una válvula de mariposa y al mismo tiempo determinar la cantidad de combustible que debe ingresar al motor, sin embargo, la calidad de la mezcla sigue siendo la misma y se denomina estequiométrica (Payri González & Desantes Fernández, 2011).

Los requerimientos de la mezcla aire/combustible en los motores de combustión interna son varios para garantizar un funcionamiento adecuado. Debe estar en forma gaseosa y ser homogéneo cuando se produce la combustión. El objetivo es maximizar su densidad y poder calorífico por volumen. Asimismo, la relación entre aire y combustible, también llamada dosificación, debe mantenerse dentro de la estequiometría de 14,7 kg de aire sobre 1 kg de gasolina. Esta distribución deberá ser uniforme para todos los cilindros que disponga el motor.

### **2.3.2. Formación de Emisiones en Motores.**

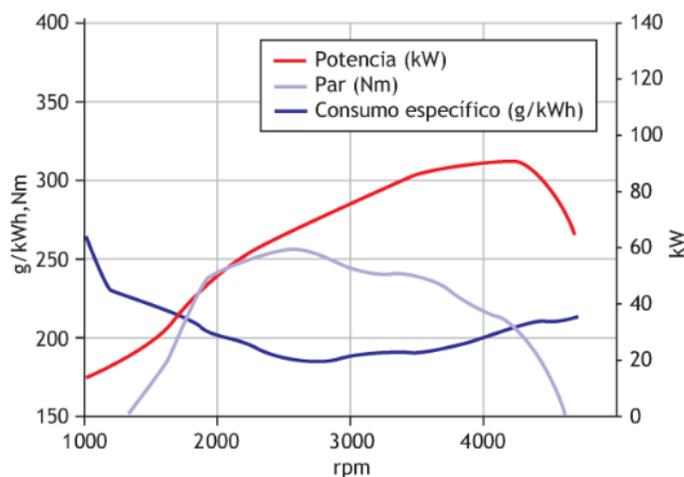
Los motores producen varios gases contaminantes y gases de efecto invernadero que afectan a la salud de las personas y al medio ambiente. En el caso de las emisiones por el tubo de escape se puede encontrar los siguientes tipos de emisiones: Dióxido de carbono ( $CO_2$ ) el cual es un gas de efecto invernadero; Hidrocarburos (HC), Monóxido de Carbono ( $CO$ ) y Óxidos de Nitrógeno ( $NO_x$ ), estos son gases contaminantes. En los últimos años debido a la incorporación de complejos sistemas de postratamiento en los vehículos, tales como los convertidores catalíticos de tres vías y filtros de partículas, se ha logrado disminuir significativamente las emisiones de gases contaminantes de  $HC$ ,  $CO$ ,  $NO_x$  y  $PM$  (Harrison et al., 2021). Sin embargo, en el caso de los gases de efecto invernadero, tales como  $CO_2$  y Óxidos Nitrosos ( $N_2O$ ); las normativas internacionales recientemente han implementado regulaciones en la última década. El nivel de emisiones de  $CO_2$  producido por un vehículo es directamente proporcional al nivel de energía térmica suministrada

por el combustible utilizado (Adachi & Nakamura, 2014). En el caso de Ecuador, el sector de transporte por carretera consume aproximadamente el 49.1% de energía del país (Ministerio de Energía y Minas, 2023). De ahí que, el presente trabajo se enfoca en el análisis de consumo de combustible de los vehículos operando en condiciones de tráfico real.

Para discutir la formación de emisiones en los motores MEP, es necesario presentar el proceso de combustión de un combustible. El combustible más utilizado en el Ecuador, específicamente para vehículos livianos es la gasolina, cuya composición es  $C_8H_{18}$ . La combustión ideal de la gasolina se basa con una combustión estequiométrica de aire/combustible de 14.7:1 respectivamente. En el proceso ideal de combustión se supone que solo se tendrá como productos  $CO_2$ , vapor de agua ( $H_2O$ ), nitrógeno ( $N_2$ ) y oxígeno ( $O_2$ ) (Grimaldi & Millo, 2015). Sin embargo, debido a la ineficiencia del sistema se producen los gases contaminantes ya mencionados. El  $CO$  se produce por falta de oxígeno para reaccionar; los  $HC$  se producen por factores como: (1) combustible que falta por quemar, (2) aceite dentro de la cámara de combustión y (3) fallas de encendido; y los  $NO_x$  en concreto el  $NO$  se produce debido a elevadas temperaturas en la combustión (Alexander et al., 2021).

### **2.3.3. Curvas Características del Motor: Par, Potencia y Consumo.**

Al colocar el motor sobre un banco de pruebas, se pueden obtener las curvas características expresadas gráficamente con las siguientes curvas: par motor, potencia y consumo específico. En la curva del par motor, debido al movimiento alternativo de los pistones y al aumento de la presión a medida que el pistón comprime la mezcla, la fuerza que recibe el cigüeñal va a variar. De este modo, el punto máximo del par motor se encuentra aproximadamente a los 2300 rpm. En la curva de la potencia, permite alcanzar su punto máximo alrededor de las 3700 rpm. A partir de este punto con el aumento de las rpm, la potencia comenzará a disminuir. En el caso de la curva de consumo específico, en la figura 3 se puede observar que el consumo de combustible disminuye cuando aumentan las revoluciones (RPM) hasta un punto próximo al máximo par. Esto significa que esta curva es relativamente inversa a la curva del par motor (Secundino, 2011).



**Figura 3.** *Curvas Características*

(Secundino, 2011)

#### 2.3.4. Normativas Para la Reducción de Emisiones de $CO_2$ .

Los estándares de emisiones han ido evolucionando a lo largo de la historia para controlar los índices de gases contaminantes de los vehículos. Se basan principalmente en requisitos mínimos de la cantidad de gases emitidos al ambiente. Con el avance de la tecnología es necesario reducir al mínimo estos requisitos. Siendo así, América del Norte y la Unión Europea grandes referentes de estas normativas.

##### 2.3.4.1. Estándares de Emisiones de América del Norte

En América del Norte se clasifican las diferentes categorías de vehículos en tres niveles. Siendo el primer nivel las categorías de vehículos livianos con un peso bruto inferior a los 8500lb; el segundo nivel corresponde a vehículos livianos de pasajeros de servicio mediano con un peso bruto entre 8500 y 10 000 lbs; el tercer nivel finalmente corresponde a vehículos pesados con chasis homologados de hasta 14 000 libras (DieselNet, n.d.-d). Para el análisis de las regulaciones de emisiones de primer nivel, el estado de California es el principal referente por ser más estrictos. Como principal criterio de estudio el  $CO_2$  para el presente trabajo de investigación, en California se regula los GEI desde el 2006 y ha permitido una reducción significativa del 30% estos gases para el 2016 respecto a vehículos del 2004 (DieselNet, n.d.-c). Las regulaciones de  $CO_2$  han ido evolucionando hasta la última versión emitida en el 2021 donde los estándares fueron más estrictos

alcanzando unos niveles mínimos entre 181 y 32 gramos sobre milla (g/mi) de  $CO_2$  en modelos desde el 2022-2026 (DieselNet, n.d.-e).

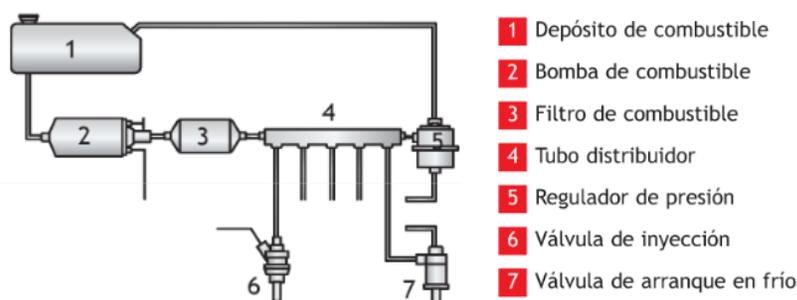
### 2.3.4.2. Estándares de Emisiones de la Unión Europea.

En la Unión Europea se clasifica a los vehículos en las siguientes categorías: L, M, N, O. En la categoría M existen tres subclasificaciones: M1 (vehículos para transporte de pasajeros con menos de 8 asientos), M2 (vehículos para transporte de pasajeros con más de ocho asientos y una masa máxima de 5 toneladas) y M3 (vehículos para transporte de pasajeros con más de ocho asientos y su masa superior a 5 toneladas) (DieselNet, n.d.-b). La categoría M1 se enfocará principalmente debido a que son los vehículos de transporte livianos.

En la normativa vigente EURO 6 tiene como principal objetivo emisiones de 95 g/km de  $CO_2$  para vehículos de pasajeros desde el 2021. Y para el 2030 se estima reducir el 55% de estas emisiones siendo 42,8 g/km de  $CO_2$  (DieselNet, n.d.-a). El objetivo principal para su nueva normativa EURO7 que se aplicará desde el 2035 es tratar de reducir hasta el 100% de emisiones de  $CO_2$ .

### 2.3.5. Sistemas de Alimentación de Combustible en Motores Gasolina.

El sistema de alimentación de combustible es el encargado de proporcionar la cantidad necesaria de mezcla aire/gasolina al motor. De este modo se permitirá que se produzca una combustión precisa con la dosificación exacta para el aprovechamiento al máximo del combustible. En la figura 4 se muestra las partes del circuito de alimentación de gasolina.



**Figura 4.** Circuito de Alimentación de Combustible  
(Sanchez, 2011)

La evolución del sistema de alimentación ha llevado desde la utilización de carburadores los cuales eran netamente mecánicos e implicaban un mal aprovechamiento del combustible, hasta la introducción de la electrónica con el uso de la inyección directa e indirecta, como se muestra en la

Figura 5. Estos sistemas resultaron una significativa evolución, mejorando la potencia de los motores con un menor consumo de combustible. En el presente estudio resulta de mayor interés el sistema de inyección electrónica indirecta debido a que este sistema es el que viene equipado a los taxis que circulan mayormente en la ciudad de Ibarra.

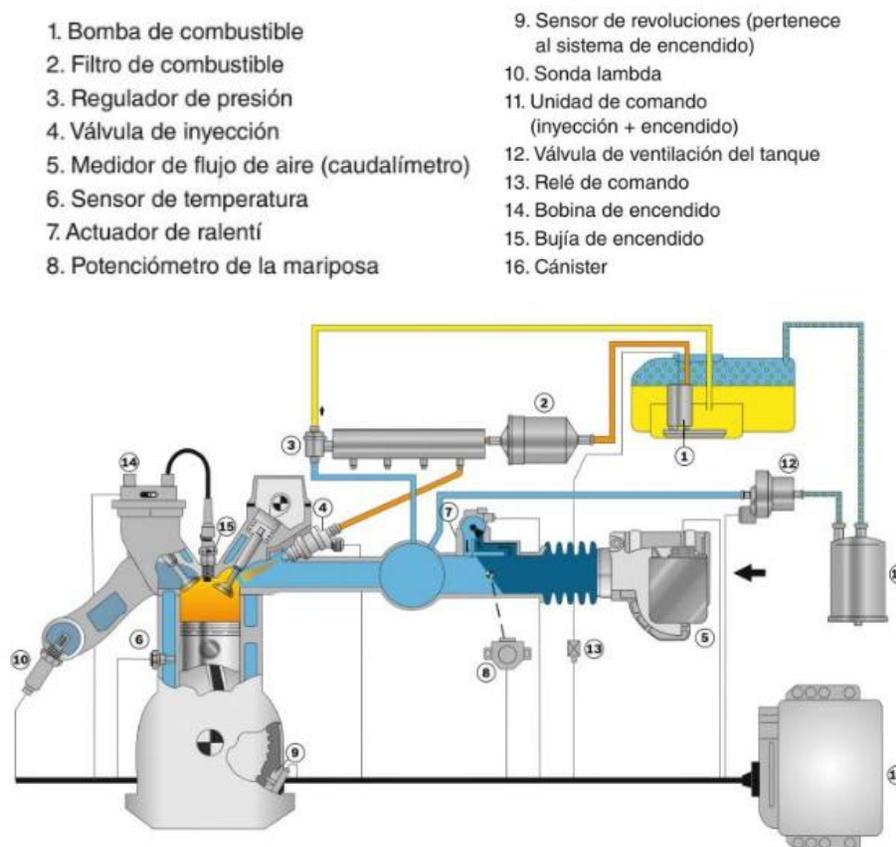


**Figura 5.** Evolución Sistema de Alimentación

### **2.3.5.1. Sistema de Inyección Electrónica Indirecta.**

Para mejorar la eficiencia, rendimiento y reducción de emisiones contaminantes, con la ayuda de la electrónica, se ha implementado un sistema de inyección indirecta el cual es llamado así debido a que realiza la inyección y mezcla de aire/combustible en el múltiple de admisión para su posterior ingreso al cilindro. Es manejado por una Unidad de Control Electrónico (ECU) que dispone de sensores y actuadores, siendo los primeros los que miden y transforman variables físicas o químicas como temperatura, presión, flujo de aire y otros en datos electrónicos que informarán a la ECU; de este modo los actuadores como inyectores, válvulas entre otros, con la información desde la ECU, realizarán tareas en el motor.

El funcionamiento del sistema de alimentación consta del trabajo conjunto entre sensores, actuadores y la ECU. Al medir el aire que ingresa del ambiente además del régimen de funcionamiento del motor y saber el orden de inyección que corresponde (Vallencillos, 2017). La ECU avisa a los inyectores de la cantidad necesaria de combustible para que se realice una combustión lo más completa posible, permitiendo la disminución de consumo de combustible debido a la precisión en la dosificación sin disminuir la potencia del motor y disminuyendo la contaminación en los gases de escape (Sanchez, 2011).



**Figura 6.** Esquema Sistema de Inyección Electrónico de Bosch.

(Pardiñas & Feijoo, 2023)

### 2.3.6. Tecnologías para Disminuir el Consumo en un Motor MEP.

La necesidad de hacer un uso más eficiente de los combustibles fósiles, así como la implementación de regulaciones medioambientales progresivamente más exigentes en Europa, han sido factores determinantes que han estimulado avances tecnológicos en la industria automotriz (Pastorello, 2016). Algunos de los procesos tecnológicos implementados han sido la inyección directa, la disminución de tamaño de motores (downsizing), sistemas de válvulas variables, los sistemas start-stop y tecnologías de reducción de gases contaminantes de escape. A continuación, se explica brevemente cada una de las tecnologías.

La inyección directa ha permitido la disminución significativa del consumo de combustible. Permite un mayor control de la estequiometría de la mezcla con un mayor tiempo de aire/combustible en la cámara de compresión (Sitaraman et al., 2021). Sin embargo, esta tecnología conlleva un elevado costo de fabricación y debe utilizarse con una calidad de combustible alta.

El downsizing ha sido una principal estrategia para la disminución del consumo de combustible. Al reducir el tamaño del motor del vehículo y con la ayuda de turbocompresores, se ha podido alcanzar la potencia de motores más grandes. De este modo se ha podido reducir el consumo de combustible y en consecuencia las emisiones de  $CO_2$  (Tu, Xue, et al., 2022).

Los sistemas de start-stop permiten apagar y encender el vehículo ahorrando significativamente el consumo de combustible (Shabbir & Evangelou, 2019). Debido a que cuando el vehículo se encuentra estático y en ralentí, se emite mayor contaminación de  $CO_2$ . Así, cuando el vehículo se encuentra completamente detenido, un asistente apaga el motor de manera automática y de igual forma se encenderá automáticamente cuando se deje de pisar el freno.

## **2.4. Estrategias para el Control y Rendimiento de Combustible en Flotas.**

### **2.4.1. Monitoreo de los Niveles de Combustible.**

El monitoreo y control del consumo de combustible tienen la función de optimizar el funcionamiento de las maquinarias, evitando el robo de combustible y prediciendo fechas de mantenimiento. De esta forma, tanto el conductor como el propietario del vehículo pueden mantener el control de datos relacionados con el consumo de combustible y el tiempo de funcionamiento del motor (Technoton, n.d.). El monitoreo de combustible se presenta de dos maneras: “**On-line**” y “**Off-line**”. El monitoreo “**On-line**” implica el uso de tecnologías en tiempo real y la recopilación de datos mediante sistemas telemáticos, como dispositivos con Sistema de Posicionamiento Global (GPS), sensores de medición de combustible, software de monitoreo, conexión en la nube y aplicaciones móviles o portales web (Harris, 2024). Por otro lado, el monitoreo “**Off-line**” es un proceso manual que no proporciona información en tiempo real, el cual consta de sensores de niveles de combustible, un registrador de datos y una estación de monitoreo, donde los datos se recopilan manualmente en intervalos específicos (Krishnasamy et al., 2019).

#### ***2.4.1.1. Monitoreo Telemático.***

Los sistemas telemáticos constituyen un conjunto integrado de tecnologías diseñadas para localizar y rastrear geográficamente maquinarias y vehículos en tiempo real como se muestra en la Figura 7. Este sistema permite obtener información detallada para optimizar el consumo de combustible, implementar prácticas de conducción más eficientes y programar mantenimientos preventivos de

manera efectiva. A través de dispositivos GPS, sensores y software especializado, se analizan patrones de conducción, se identifican malas prácticas y se toman decisiones basadas en datos para mejorar el rendimiento operativo (Harris, 2024).



**Figura 7.** *Secuencia del monitoreo telemático*

(Autoría propia)

La implementación de sistemas telemáticos en la administración de flotas ayuda a evitar el uso inadecuado y el tiempo excesivo de inactividad de las maquinarias. Esto es fundamental, ya que el ralentí prolongado o el uso incorrecto de los equipos no solo incrementa el consumo de combustible, sino que también reduce la vida útil de los mismos. Además, los datos recopilados permiten a los gestores de flotas optimizar rutas, reducir emisiones y prevenir robos o fugas de combustible, lo que se traduce en una gestión más eficiente y sostenible (Jiao et al., 2024).

Estas tecnologías no solo benefician a los propietarios de las flotas, sino también a los conductores. Mediante retroalimentación en tiempo real, los conductores pueden mejorar sus hábitos de conducción, evitando excesos de velocidad, frenados bruscos o tiempos de ralentí innecesarios. Esto no solo promueve una conducción más segura, sino que también contribuye a la reducción de costos operativos y al cuidado del medio ambiente (Jiao et al., 2024).

Los sistemas telemáticos se han convertido en una herramienta indispensable para la gestión moderna de flotas, ya que su adopción ha demostrado reducir costos operativos hasta en un 20%, mejorar la productividad y minimizar la huella de carbono. Estas tecnologías no solo optimizan el uso de recursos, sino que también promueven prácticas más sostenibles y eficientes en el sector del transporte, consolidándose como una solución integral para la administración de flotas (Ghaffarpasand et al., 2022).

#### ***2.4.1.2. Detección del Nivel de Combustible y Cambio de Volumen en el Tanque.***

Este método utiliza un sensor que mide el nivel de combustible presente en el tanque, permitiendo detectar los volúmenes de llenado y drenaje. Sin embargo, como desventaja, este sistema presenta una precisión relativamente baja en tanques de combustible de forma plana, debido a las irregularidades en la superficie del líquido y las limitaciones del sensor para adaptarse a geometrías no uniformes (Mohseni et al., 2012).

Según estudios recientes, los sensores de nivel de combustible más comunes, como los de tipo flotador o ultrasónico, pueden verse afectados por factores como la inclinación del tanque, la temperatura del combustible y la presencia de espuma o vapores (Komal Shoukat Ali et al., 2018). En tanques planos, estos factores se acentúan, reduciendo la fiabilidad de las mediciones. Por ello, se recomienda complementar este método con tecnologías adicionales, como sensores de presión o sistemas de medición por ultrasonido, para mejorar la precisión en entornos desafiantes (Komal Shoukat Ali et al., 2018).

#### ***2.4.1.3. Medición del Caudal en las Líneas de Combustible del Motor.***

La instalación de un caudalímetro en la línea de combustible del motor permite medir con alta precisión el flujo de combustible en tiempo real. Este dispositivo es esencial para monitorear el consumo de combustible y optimizar el rendimiento del motor. Además, el sistema facilita la implementación de mantenimientos predictivos, lo que contribuye a prolongar la vida útil del vehículo y sus componentes.

Los caudalímetros utilizados en este tipo de aplicaciones están diseñados para operar en condiciones exigentes, garantizando mediciones confiables y consistentes. Estas mediciones no solo permiten detectar anomalías en el sistema de combustible, sino que también ayudan a identificar posibles fallos en el motor antes de que se conviertan en problemas mayores, reduciendo costos de reparación y tiempo de inactividad (Technoton, n.d.). Además, su integración con sistemas de telemetría permite el monitoreo remoto del consumo de combustible, lo que es especialmente útil en flotas de vehículos y aplicaciones industriales.

## **2.4.2. Tecnologías para la Transmisión de Datos de Consumo.**

### ***2.4.2.1. Sistema OBDII (On Board Diagnostics).***

Este sistema realiza un diagnóstico a bordo del vehículo, detectando fallas en el funcionamiento del motor y otros componentes clave. A través de sensores y actuadores, el OBDII recopila parámetros operativos, transformando factores físicos (como temperatura, presión o flujo) en señales electrónicas que son procesadas por la computadora del vehículo.

Una de las características más destacadas del sistema OBDII es su capacidad de comunicación directa y extracción de datos mediante la red BUS CAN (Controller Area Network). Esta red permite la transmisión eficiente de información entre los diferentes módulos electrónicos del vehículo, facilitando la identificación de problemas y la optimización del rendimiento (Rybitskyi et al., 2023).

El sistema OBDII no solo se limita a la detección de fallas, sino que también proporciona datos en tiempo real que pueden ser utilizados para mejorar la eficiencia del combustible, reducir emisiones contaminantes y planificar mantenimientos preventivos. Además, su estandarización a nivel global ha permitido su integración en la mayoría de los vehículos fabricados a partir de 1996, convirtiéndolo en una herramienta indispensable para talleres mecánicos y usuarios finales (Campos-Ferreira et al., 2023).

### ***2.4.2.2. Datos de Consumo de Combustible por CAN J1939/J1708.***

Las líneas de datos BUS CAN J1939/J1708 utilizan algoritmos de cálculo desarrollados por el fabricante del motor, basados en el volumen y el tiempo de apertura de la inyección de combustible. Estos protocolos permiten la transmisión precisa de datos en tiempo real, facilitando el monitoreo del consumo de combustible y la optimización del rendimiento del motor.

El protocolo J1939, común en vehículos pesados, ofrece alta capacidad de transmisión, mientras que el J1708, más simple, se usa en aplicaciones que priorizan la compatibilidad (Dhayarkar & Nangare, 2970). La precisión de los datos depende de la calibración de los algoritmos y la calidad de los sensores, y su integración con sistemas de telemetría permite análisis remotos, especialmente útil en flotas de transporte (Ghaffarpasand et al., 2022).

#### ***2.4.2.3. Internet de las Cosas (IoT).***

En la industria del transporte, el Internet de las Cosas (IoT) se ha convertido en una herramienta fundamental para la transmisión de datos a través de internet o mediante objetos físicos conectados a centros de monitoreo. Esta tecnología permite la integración de diversos servicios de comunicación móvil, facilitando el monitoreo en tiempo real de variables críticas como las rutas de transporte y los niveles de combustible.

El IoT no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye a la reducción de costos y al aumento de la seguridad en las flotas de transporte. Según estudios recientes, la implementación de sistemas IoT en vehículos permite la recopilación y análisis de grandes volúmenes de datos, lo que facilita la toma de decisiones informadas y la optimización de recursos (Tripathy & Anuradha, 2017). Además, su capacidad para conectarse con redes móviles como 4G y 5G garantiza una comunicación rápida y confiable, incluso en áreas remotas (Helal, 2025).

#### ***2.4.2.4. Datalogger.***

El datalogger es una herramienta electrónica diseñada para registrar datos en tiempo real provenientes de dispositivos o sensores conectados externamente. Su capacidad para recopilar información de forma automática y continua permite obtener una visión global y precisa del sistema monitoreado, incluso bajo condiciones ambientales variables, como cambios en la temperatura del aire y la humedad relativa (FinalTest, n.d.).

Estos dispositivos son ampliamente utilizados en diversas aplicaciones, desde la monitorización de flotas hasta el control de condiciones ambientales en almacenes o vehículos. Según estudios recientes, los dataloggers modernos pueden integrarse con sistemas de telemetría y redes inalámbricas, lo que facilita el acceso remoto a los datos y su análisis en tiempo real (Amorim et al., 2024). Además, su capacidad para operar en entornos exigentes los convierte en una solución confiable para la recopilación de datos críticos en la gestión de flotas y la optimización de operaciones logísticas (Amorim et al., 2024).

### **2.5. Evolución de los Sistemas de Monitoreo Telemático.**

La evolución de los sistemas de monitoreo telemático en flotas ha sido notable a lo largo del tiempo. Desde el lanzamiento del primer GPS satelital en 1978, se ha presenciado un progreso significativo que ha ampliado la accesibilidad para el uso público y ha permitido un mayor uso

telemático. En la década de 1980, surgieron los primeros sistemas básicos de rastreo de flotas mediante radiofrecuencia, que inicialmente solo permitían monitorear la ubicación, coincidiendo con el surgimiento de la red de comunicación móvil 1G (López, 2021).

En los años 90, con la introducción de la red inalámbrica 2G, se desarrollaron sistemas más sofisticados de rastreo de vehículos. Esta tecnología mejoró la transmisión de voz y datos, facilitando sistemas básicos de localización vía GPS. En el nuevo milenio, la gestión de flotas experimentó otra evolución significativa con la introducción de software de administración y gestión de vehículos, aprovechando la red 3G para obtener ubicaciones en tiempo real, aunque con limitaciones en la actualización de mapas (Valencia, 2018).

La llegada de la tecnología de red 4G en 2010 permitió actualizaciones instantáneas en el rastreo satelital y sistemas de alerta en tiempo real, aunque con desafíos de estandarización y compatibilidad. Actualmente, la implementación de la red 5G ha superado muchos de estos desafíos, brindando una mayor diversidad de dispositivos y capacidades de monitoreo en múltiples plataformas. Esta tecnología ha impulsado aplicaciones avanzadas como la conducción autónoma y el mantenimiento predictivo en la gestión de flotas (Arena et al., 2021).

Según estudios recientes, la integración de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) y la inteligencia artificial (IA) ha transformado la gestión de flotas, permitiendo no solo el rastreo en tiempo real, sino también la optimización de rutas, la reducción de costos operativos y la mejora de la seguridad vial (Tripathy & Anuradha, 2017).

### **2.5.1. Sistemas de monitoreo de combustible telemático**

#### ***2.5.1.1. Sensores de Nivel de Combustible***

Los sensores de nivel de combustible son dispositivos diseñados para medir de manera precisa el nivel y volumen de combustible en el tanque del vehículo. Estos sensores se integran en sistemas telemáticos y de rastreo GPS, proporcionando información confiable en tiempo real sobre el estado del combustible, su consumo y posibles usos indebidos, como fugas o robos.

Estos dispositivos utilizan tecnologías como ultrasonido, capacitancia o medición de presión para determinar el nivel de combustible con alta precisión, incluso en condiciones de movimiento o inclinación del vehículo (Guerrero-Ibáñez et al., 2018). Su capacidad para detectar anomalías en

el consumo de combustible los convierte en una herramienta esencial para la gestión eficiente de flotas, ayudando a reducir costos operativos y mejorar la seguridad (Król & Rokicki, 2021).

Además, los sensores de nivel de combustible pueden integrarse con sistemas de monitoreo remoto, permitiendo alertas instantáneas en caso de irregularidades, como variaciones bruscas en el nivel de combustible o comportamientos inusuales en el consumo (Kabeyi & Olanrewaju, 2023). Esto no solo optimiza la gestión del combustible, sino que también contribuye a la prevención de fraudes y robos.

### ***2.5.1.2. Medidores de Flujo de Combustible y Líquidos***

Los medidores de flujo de combustible y líquidos son instrumentos diseñados para medir y proporcionar información precisa sobre la tasa de flujo de un líquido o gas. Estos dispositivos cuentan con un sistema de monitoreo constante y automático, lo que permite analizar el rendimiento y la eficiencia del vehículo. Son una solución efectiva para el seguimiento del consumo de combustible, ayudando a optimizar su uso y reducir costos operativos.

Estos instrumentos se integran eficientemente con sistemas telemáticos y de gestión de flotas, facilitando el monitoreo en tiempo real y la detección de irregularidades en el consumo (Ghaffarpassand et al., 2022). Su implementación en flotas de transporte ha demostrado ser fundamental para mejorar la eficiencia energética, reducir emisiones contaminantes y planificar mantenimientos preventivos.

El uso de medidores de flujo en vehículos y maquinaria industrial no solo permite un control más preciso del consumo de combustible, sino que también contribuye a la planificación de mantenimientos preventivos y a la optimización de rutas, lo que se traduce en una operación más sostenible y rentable (Arena et al., 2021).

## **2.6. Software para el Procesamiento de Datos.**

### **2.6.1. Procesamiento de Datos.**

El procesamiento de datos, también conocido como análisis de datos, consiste en transformar la información obtenida de forma experimental en resultados más claros y útiles. Este proceso incluye tres fases principales: pre-procesamiento, procesamiento y post-procesamiento. En la primera fase, se realiza una limpieza y depuración de los datos mediante un análisis exhaustivo, seleccionando las características más relevantes que aportan valor a la investigación y mejorando la calidad de

los datos. Durante la fase de procesamiento, se aplican técnicas de modelado basadas en algoritmos o métodos estadísticos para clasificar y organizar los parámetros necesarios, lo que permite obtener modelos más precisos y resultados confiables. Finalmente, en la etapa de post-procesamiento, se interpretan los resultados mediante herramientas visuales como gráficos o tablas, y se generan informes detallados que resumen los hallazgos y conclusiones de la investigación, proporcionando una visión clara y estructurada de los datos obtenidos (Iryopogu, 2021).

## 2.6.2. Herramientas para el Procesamiento de Datos

### 2.6.2.1. Microsoft Power Bi Desktop.

Es una aplicación gratuita que permite conectar y combinar diferentes modelos de datos, así como crear objetos visuales interactivos (figura 8). Esta herramienta facilita la integración de datos provenientes de múltiples fuentes y su posterior compartición con otros usuarios a través del servicio de Power BI (Iryopogu, 2021).

Una de sus características destacadas es su interfaz de lenguaje natural, que permite realizar consultas de forma sencilla y obtener respuestas inmediatas en forma de tablas o gráficos. Además, se integra perfectamente con Microsoft Excel, lo que simplifica la combinación, interpretación y almacenamiento de datos de manera rápida y eficiente.

Sin embargo, Power BI Desktop tiene algunas limitaciones, como una capacidad reducida de almacenamiento en la nube. Esto puede provocar saturación y rendimientos lentos, especialmente durante períodos prolongados de uso o al manejar grandes volúmenes de datos.



**Figura 8.** Software Power Bi

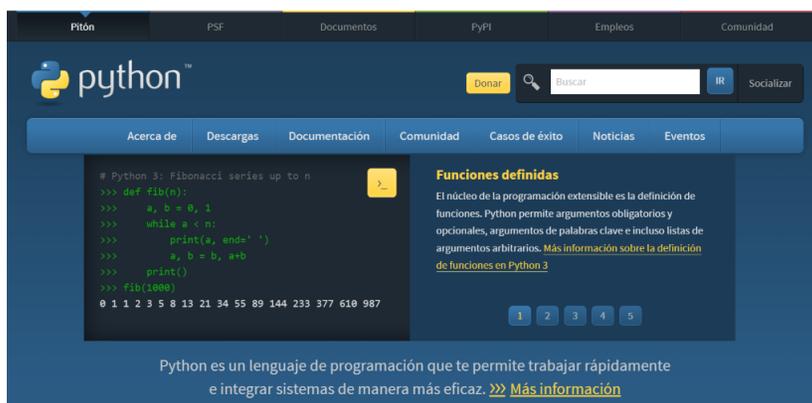
(Power BI, n.d.)

### 2.6.2.2. Python.

Es un lenguaje de programación (figura 9) ampliamente utilizado en el desarrollo de software, procesamiento de datos y Machine Learning (ML) (Services, n.d.). En el campo de la ciencia de datos, destaca por su capacidad para corregir y eliminar datos incorrectos, así como para proyectar información en tablas y gráficos de manera eficiente y fácil de interpretar. Además, permite el modelado estadístico de datos a gran escala, lo que lo convierte en una herramienta poderosa para el análisis avanzado.

Una de las principales ventajas de Python es su estilo de codificación sencillo y legible, lo que facilita su comprensión y ejecución. También cuenta con una biblioteca estándar extensa que abarca diversas áreas de programación, permitiendo a los usuarios desarrollar aplicaciones sin necesidad de empezar desde cero.

No obstante, Python tiene algunas limitaciones en comparación con lenguajes como Java o C++. Su rendimiento tiende a ser más lento, lo que lo hace menos adecuado para aplicaciones que requieren un alto rendimiento, como el desarrollo de videojuegos o tareas de cómputo intensivo.



**Figura 9. Software Python**

(Python, n.d.)

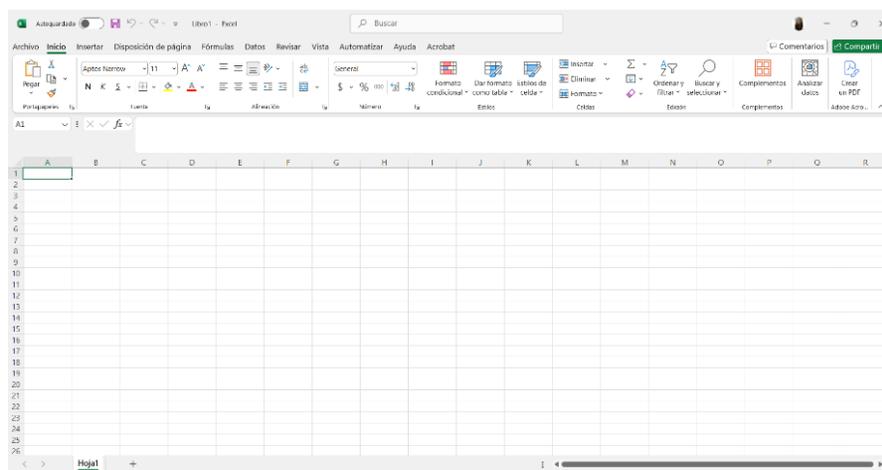
### 2.6.2.3. Excel.

Es una herramienta ampliamente utilizada para el análisis de grandes volúmenes de datos tabulados (figura 10), los cuales pueden ser organizados mediante filtros, tablas dinámicas y herramientas avanzadas que facilitan su interpretación. Esta aplicación es reconocida por su versatilidad,

permitiendo realizar cálculos complejos, análisis estadísticos básicos y colaboración en tiempo real a través de su integración con Microsoft 365 (365, n.d.).

Entre sus características más destacadas se encuentran las plantillas personalizadas, que permiten adaptar la herramienta a diferentes propósitos, y la capacidad de crear gráficos interactivos (barras, líneas, pasteles, entre otros) que facilitan la visualización y comprensión de la información. Además, Excel es compatible con complementos y macros, lo que amplía su funcionalidad para tareas más especializadas.

Sin embargo, uno de los inconvenientes más significativos de Excel es su dependencia de la manipulación manual de datos, lo que puede generar errores humanos y, en consecuencia, resultados incorrectos. Estos errores pueden tener un impacto negativo en la toma de decisiones, especialmente cuando se trabaja con grandes volúmenes de información.



**Figura 10.** *Software Excel*

(365, n.d.)

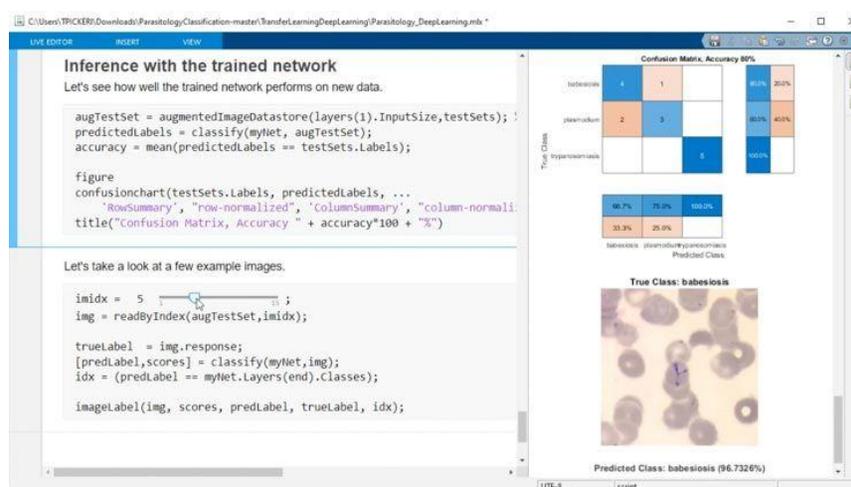
#### **2.6.2.4. Matlab**

Matlab es un entorno de programación especializado en análisis numérico, cálculos matemáticos y aplicaciones de ingeniería de alto nivel. Este software (figura 11) permite la creación de gráficas avanzadas para la visualización e interpretación de datos, lo que lo convierte en una herramienta poderosa para la representación de resultados complejos (MathWorks, 2020).

Entre sus aplicaciones más destacadas se encuentran el ajuste de curvas, el diseño de sistemas de control y la ejecución de diversas funciones matemáticas. Matlab permite crear scripts que

combinan comandos para automatizar procesos de programación, los cuales pueden ejecutarse como programas completos o dividirse en secciones para su ejecución individual.

Esta herramienta es ampliamente valorada por ingenieros y científicos, ya que facilita el desarrollo de proyectos complejos y contribuye significativamente al avance de investigaciones y soluciones tecnológicas. Sin embargo, Matlab tiene algunas limitaciones: su versión completa es costosa y requiere la renovación anual de la licencia, lo que puede ser un obstáculo para algunos usuarios. Además, no es adecuado para todas las áreas de análisis de datos, ya que su enfoque principal está en aplicaciones numéricas y de ingeniería.



**Figura 11. Software Matlab**

(MathWorks, 2020)

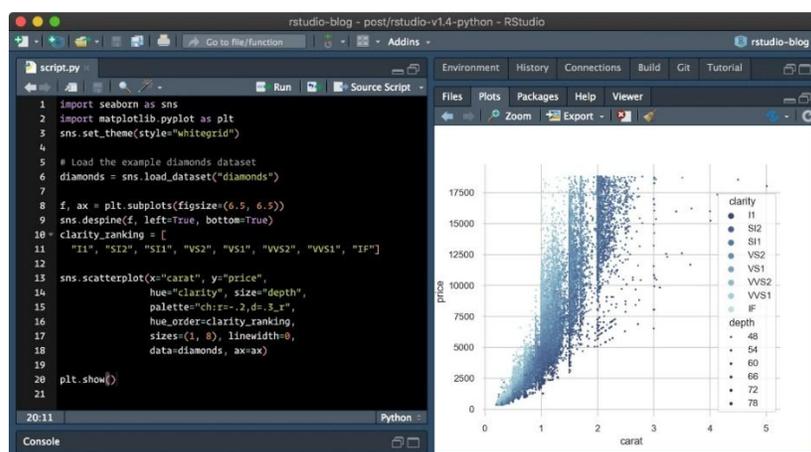
### 2.6.2.5. Programación en R.

R es un software especializado en el análisis de datos, que abarca desde análisis estadísticos avanzados hasta visualización y modelado de información (figura 12). Al igual que otros lenguajes de programación, R permite guardar secuencias de comandos, conocidas como scripts, que registran los análisis de manera interactiva y reproducible, facilitando la revisión y modificación de los procesos (Mas, n.d.).

Una de las principales ventajas de R es que es de uso gratuito y de código abierto, compatible con sistemas Unix, Windows y macOS, lo que lo hace accesible para una amplia variedad de usuarios. Además, cuenta con una extensa colección de paquetes y librerías, como ggplot2 para visualización de datos y dplyr para manipulación de datos, que amplían su funcionalidad y lo

convierten en una herramienta versátil para el análisis estadístico y científico (RPubs, n.d.). R ofrece una precisión excepcional en los análisis, con un margen de error prácticamente nulo, lo que permite seguir la evolución exacta de cada proceso. Su capacidad para generar gráficos detallados y personalizados es otra de sus fortalezas, ya que facilita la interpretación y presentación de los resultados de manera clara y efectiva.

Sin embargo, R tiene algunas limitaciones. Sus actualizaciones frecuentes y la constante evolución de sus paquetes requieren que los usuarios aprendan nuevas características y funcionalidades de manera continua, lo que puede ralentizar el desarrollo de proyectos. Además, aunque es una herramienta poderosa para el análisis estadístico, no es tan eficiente como otros lenguajes (por ejemplo, Python) en tareas de programación general o aplicaciones de inteligencia artificial. A pesar de estas limitaciones, R sigue siendo una herramienta indispensable para estadísticos, científicos de datos y profesionales que buscan realizar análisis robustos, detallados y altamente personalizados.



**Figura 12. Software Rstudio**

(Rstudio, n.d.)

### 2.6.3. Análisis Espacial del Procesamiento de Datos.

El análisis espacial es un proceso que modela y obtiene resultados mediante el procesamiento de datos en función de su ubicación geográfica o espacial. Esta información es procesada por software especializado, como Sistemas de Información Geográfica (SIG), que permiten la visualización exhaustiva de datos relevantes, facilitando la identificación de patrones, tendencias y relaciones espaciales (Analytics, 2022).

Para su correcta interpretación, es fundamental determinar el tipo de análisis espacial que se ajusta a los objetivos de la investigación. Esto permite optimizar tanto los recursos como la información obtenida, asegurando que los resultados sean precisos y útiles. El análisis espacial se utiliza en diversas áreas, como la planificación urbana, la gestión ambiental, la logística y la epidemiología, donde la ubicación geográfica juega un papel clave en la toma de decisiones (Longley, 1999).

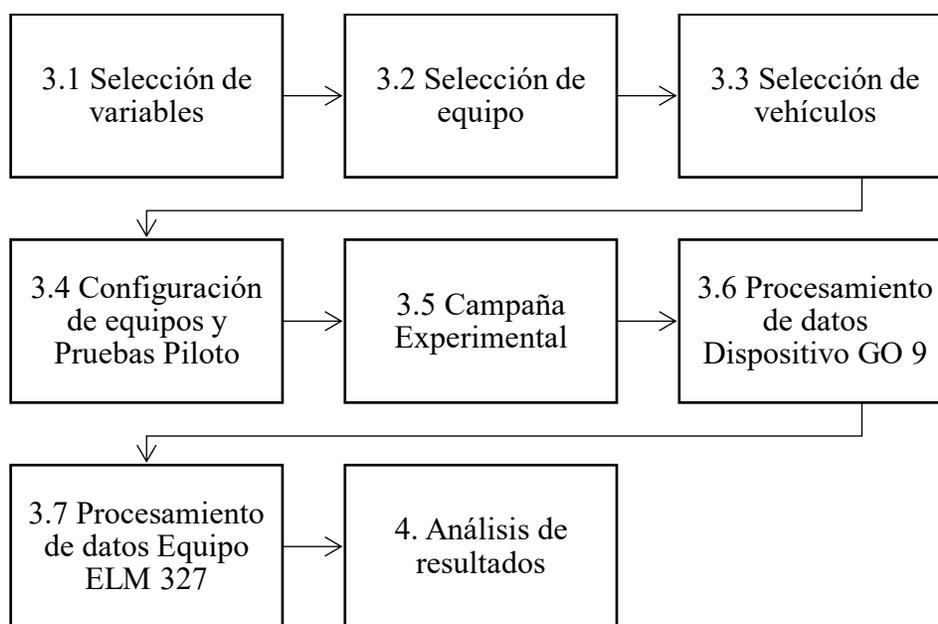
Según estudios recientes, el uso de herramientas de análisis espacial, como QGIS o ArcGIS, ha demostrado ser esencial para la gestión de recursos naturales, la predicción de desastres y la planificación de infraestructuras. Estas herramientas permiten integrar datos de múltiples fuentes, como imágenes satelitales, sensores remotos y bases de datos geográficas, para generar modelos predictivos y análisis detallados (Chang, 2019).

Además, el análisis espacial no solo se limita a la visualización de datos, sino que también incluye técnicas avanzadas como la interpolación espacial, el análisis de clusters y la simulación de escenarios. Estas técnicas son fundamentales para comprender fenómenos complejos, como la dispersión de enfermedades o la distribución de recursos en áreas específicas (Longley, 1999).

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA.

En este capítulo, se desarrollan las distintas etapas que conforman la metodología propuesta para llevar a cabo este estudio experimental. Estas etapas han sido diseñadas para asegurar la cuantificación del consumo de combustible en taxis, estimar sus factores de consumo de combustible y emisiones de  $CO_2$  además de analizar la variabilidad espacial de las emisiones. A continuación, se presenta una visión general de la secuencia de actividades y procedimientos empleados, los cuales se muestran en el flujograma de la Figura 13.



**Figura 13** *Flujograma de Metodología*

(Autoría propia)

#### 3.1. Selección de Variables.

La determinación de las variables de estudio fue un paso fundamental en el desarrollo de este trabajo. Estas fueron seleccionadas de modo que abarquen los objetivos planteados. Para organizarlas mejor, se agruparon en tres categorías: variables relacionadas con el funcionamiento del motor, con la cinemática del vehículo y con su modo de operación (tales como: ralentí, crucero, aceleración y desaceleración). A continuación, se explica cada una de ellas.

### 3.1.1. Variables de Operación de Motor.

Para monitorear el consumo de combustible del vehículo, fue indispensable contar con variables de operación del motor tales como el régimen, temperatura del motor y el consumo instantáneo de combustible, a su vez, en base a esta última variable se logró estimar la masa de emisiones de  $CO_2$  y los diferentes factores de emisión tanto en función de distancia como de energía. La Tabla 1 presenta las diferentes variables de operación de motor.

**Tabla 1.** *Variables de operación de motor*

<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>	<b>Tipo de Variable</b>
Régimen de motor	rev/min	Medido
Temperatura del motor	°C	Medido
Consumo de Combustible	L	Medido
Tasa de emisión de $CO_2$	g $CO_2$ /s	Calculado
Factor de consumo de combustible en función de distancia	gCombustible /km	Calculado
Factor de emisión en función de distancia	g $CO_2$ /km	Calculado

(Autoría propia)

### 3.1.2. Variables Cinemáticas.

Las variables cinemáticas permitieron analizar el desplazamiento y la trayectoria del vehículo sin considerar las causas o fuerzas externas que producen este movimiento. Estas fueron necesarias para estimar los factores de emisión en función de la distancia y para el análisis espacial de las emisiones de  $CO_2$ . Además, la frecuencia de muestreo fue de 1 Hz para capturar instantáneamente los diferentes cambios producidos por el vehículo. En la Tabla 2 se detallan las distintas variables analizadas.

**Tabla 2.** *Variables Cinemáticas*

<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>
Tiempo	s
Velocidad	m/s
Aceleración	m/s <sup>2</sup>
Distancia	m
Latitud	°
Longitud	°
Altitud	m

(Autoría propia)

### 3.1.3. Variables de Modo de Operación del Vehículo.

La determinación de estas variables se basó en los modos de operación que fueron establecidos en estudios previos (Tu, Xu, et al., 2022). Siendo estos los modos de: Ralentí, Crucero, Aceleración y Desaceleración; que permiten categorizar el comportamiento cinemático del vehículo en distintas condiciones de conducción. Factores como la velocidad y la aceleración son los principales criterios para determinar las diferentes condiciones de los modos de operación. La Tabla 3 muestra los criterios considerados para definir cada uno de los modos de operación.

**Tabla 3** *Criterios para definir modos de operación*

<b>Modos de Operación</b>	<b>Criterios</b>
Ralentí	$(v \leq 2 \text{ km/h}) \ \& \ (a = 0 \text{ m/s}^2)$
Crucero	$(v > 2 \text{ km/h}) \ \& \ (-0.1 < a < 0.1 \text{ m/s}^2)$
Aceleración	$(v > 2 \text{ km/h}) \ \& \ (a \geq 0.1 \text{ m/s}^2)$
Desaceleración	$(v > 2 \text{ km/h}) \ (a \leq 0.1 \text{ m/s}^2)$

(Tong et al., 2000)

## 3.2. Selección de Equipo y Herramientas Digitales

Para el cumplimiento del presente trabajo de investigación fue indispensable seleccionar equipos que registren variables de operación del motor y variables cinemáticas del vehículo. Además, es necesario que el equipo seleccionado logre registrar los datos de forma telemática para cumplir con el objetivo principal del presente trabajo. De este modo, los equipos seleccionados fueron el dispositivo telemático de seguimiento vehicular “GO9” de la compañía GEOTAB. El cual realizó las diferentes pruebas telemáticas del presente trabajo, este dispone de una plataforma en línea para la extracción de datos llamado MyGeotab. Adicionalmente, para la obtención de datos cinemáticos y de GPS a través del sistema OBD se usó el dispositivo “ELM327” con su aplicación móvil llamada Torque Pro. Además, para el procesamiento de datos fue necesario el software estadístico RStudio.

### 3.2.1. Dispositivo GO9 – GEOTAB.

El Dispositivo telemático GO9 – GEOTAB, mostrado en la Figura 14, es un dispositivo que permite el monitoreo de datos registrados del vehículo de forma telemática a través del conector OBD – II y la plataforma MyGeotab. Este equipo cuenta con un procesador de 32 bits y una memoria RAM cinco veces mayor que la versión GO8, este dispositivo registra y transmite datos

clave del comportamiento del vehículo, incluyendo frenados bruscos, aceleraciones repentinas y posibles colisiones, gracias a su giroscopio integrado de alta precisión. Su comunicación se realiza través de las redes 2G, 3G y LTE, e incorpora el nuevo módulo del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) que permite el seguimiento y ubicación de vehículos en tiempo casi real con GPS, así como un historial completo de viajes.



**Figura 14** *Dispositivo GO9*

*(Intelligis Technologies, n.d.)*

El dispositivo GO9 – GEOTAB está diseñado para entornos exigentes, posee una apariencia compacta y robusta que en su interior incorpora un acelerómetro 3D y un giroscopio. Su construcción resistente le permite operar en un amplio rango de temperaturas, desde los  $-40^{\circ}\text{C}$  hasta los  $85^{\circ}\text{C}$ , cumpliendo con estándares exigentes de durabilidad. Estas características se encuentran detalladas en la ficha técnica del dispositivo en la Tabla 4.

**Tabla 4** *Especificaciones Técnicas Dispositivo GO9*

Características	Descripción
Interfaces	Soporte OBD – II, CAN, J1850, J1708, ISO 14230 Velocidades: 62500 bps (según protocolo).
Receptor GPS	Compatible con GPS, GLONASS, Galileo y BeiDou. Alta precisión (~2.0 m), arranque rápido (<2 s en caliente).
Ambiental	Funciona de $-40$ a $+85^{\circ}\text{C}$ , resistente a vibraciones, choques y condiciones extremas.
Acelerómetro y giroscopio	Acelerómetro y giroscopio 3D ( $\pm 8$ g, $\pm 250$ dps).
Mecánico	<b>Peso:</b> 70 g <b>Dimensiones:</b> $75 \times 50 \times 23$ mm <b>Carcasa:</b> PC+ABS
Eléctrico	Compatible con 12V y 24V. consumo eficiente (hasta 250mA en operación, 3 – 4.5 mA en suspensión).
Soporte por aire (OTA)	Actualizaciones de firmware y parámetros por aire.
Zumbador en cabina	>85 dBA. Alertas de conducción brusca y exceso de velocidad.
Registro de voltaje	Detecta baterías débiles, alternadores y arrancadores defectuosos.

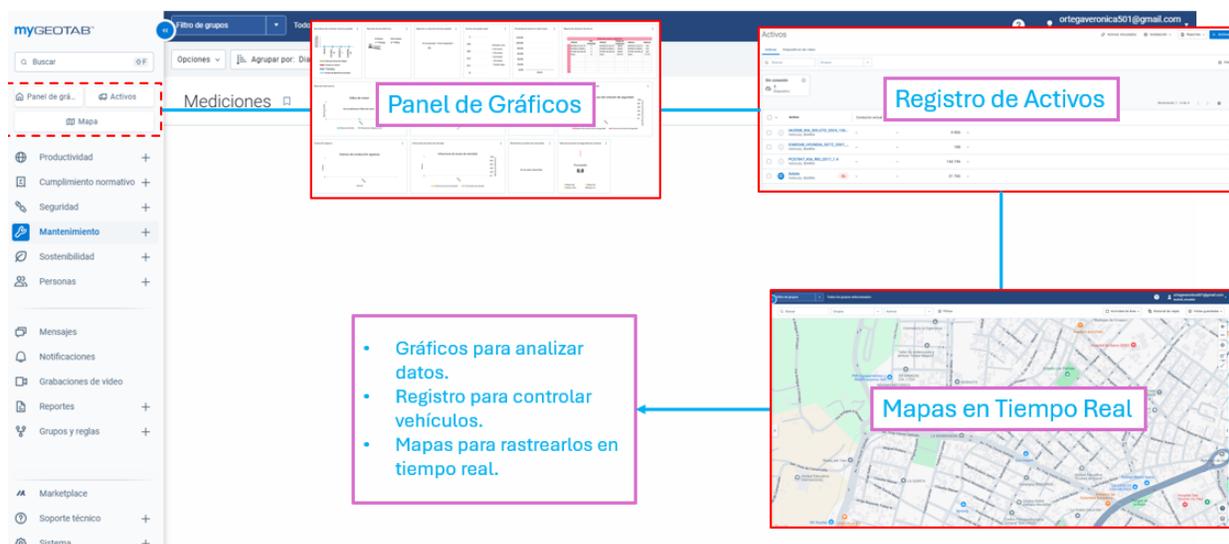
(GEOTAB, n.d.).

### **3.2.2. Plataforma en línea MyGeotab.**

La plataforma MyGeotab es un software de gestión de flotas con tres diferentes planes de funcionamiento: Base, Pro y ProPlus. En el caso del plan ProPlus, que brinda acceso de información detallada durante un año. Entre sus funcionalidades se encuentra la administración del comportamiento del conductor al volante, siendo una herramienta de asesoramiento para fomentar el manejo seguro. Además, proporciona informes detallados del motor, que incluyen datos como RMP del motor, testigos del motor, uso del cinturón de seguridad, odómetro, tiempo que el motor ha estado encendido, emisiones, número de identificación del vehículo (VIN) y el voltaje de la batería. La plataforma MyGeotab cuenta con diferentes áreas operativas que se detallan a continuación.

#### ***3.2.2.1. Panel de Gráficas, Activos y Mapa***

La plataforma MyGeotab tiene tres módulos clave para el monitoreo y gestión de flotas como se muestra en la Figura 15. El primer módulo, es el panel de gráficos interactivos, que permite visualizar y personalizar datos clave como productividad y seguridad mediante filtros por grupos y opciones de edición. El segundo módulo corresponde al registro de activos, donde se gestiona la información de vehículos, remolques y equipos, incluyendo alertas en tiempo real, como batería baja o dispositivos sin conexión, y opciones para añadir activos de forma individual o masiva. Por último, la plataforma cuenta con mapas en tiempo real que muestran la ubicación de los activos, herramientas para buscar activos cercanos, compartir ubicaciones y capas personalizadas de tráfico o clima. Estos módulos trabajan en conjunto con las herramientas y soporte técnico, con la finalidad de optimizar la supervisión y toma de decisiones en la gestión de flotas.



**Figura 15** Panel de Graficas, Activos y Mapa de la plataforma MyGeotab

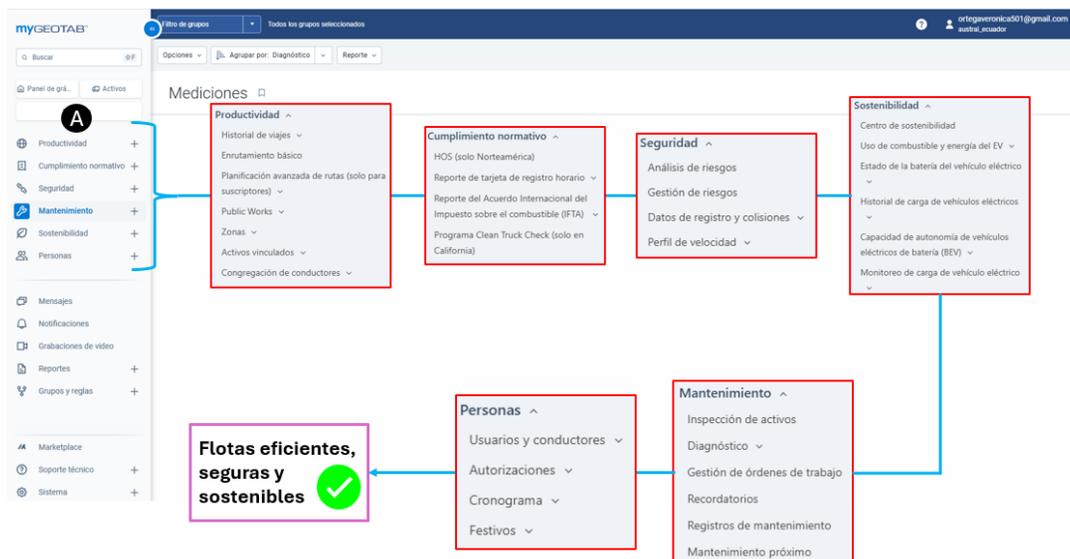
(Autoría propia)

### **3.2.2.2. Herramientas y soporte técnico de la plataforma**

La plataforma MyGeotab posee un sistema de gestión de flotas donde ofrece un conjunto integral de herramientas para optimizar todas las operaciones relacionadas con vehículos y equipos móviles, como se observa en la Figura 16. En la sección A, el módulo de Productividad destaca funciones como el historial detallado de viajes, que registra rutas, paradas y tiempos de operación; la planificación básica y avanzada de rutas para reducir costos operacionales; y la gestión inteligente de zonas geográficas estratégicas. El sistema también incluye herramientas especializadas como Public Works para operaciones municipales, control de activos vinculados (como remolques) y detección de congregaciones no programadas entre conductores. Complementan a estas funciones los módulos de Cumplimiento Normativo, que automatiza el seguimiento de regulaciones como las Horas de Servicio y el reporte IFTA; y Seguridad Operacional, con análisis predictivos de riesgos y monitoreo de velocidad.

Para garantizar el óptimo estado de la flota, el sistema incorpora un completo módulo de Mantenimiento que gestiona inspecciones, diagnósticos preventivos y órdenes de trabajo. La Sostenibilidad es otro pilar fundamental, con especial énfasis en la gestión de vehículos eléctricos mediante el monitoreo de carga, autonomía y degradación de baterías. Finalmente, el módulo de Gestión de Personal permite administrar eficientemente conductores y usuarios, con control de accesos, programación de turnos y gestión de días feriados. Esta solución integral permite a las

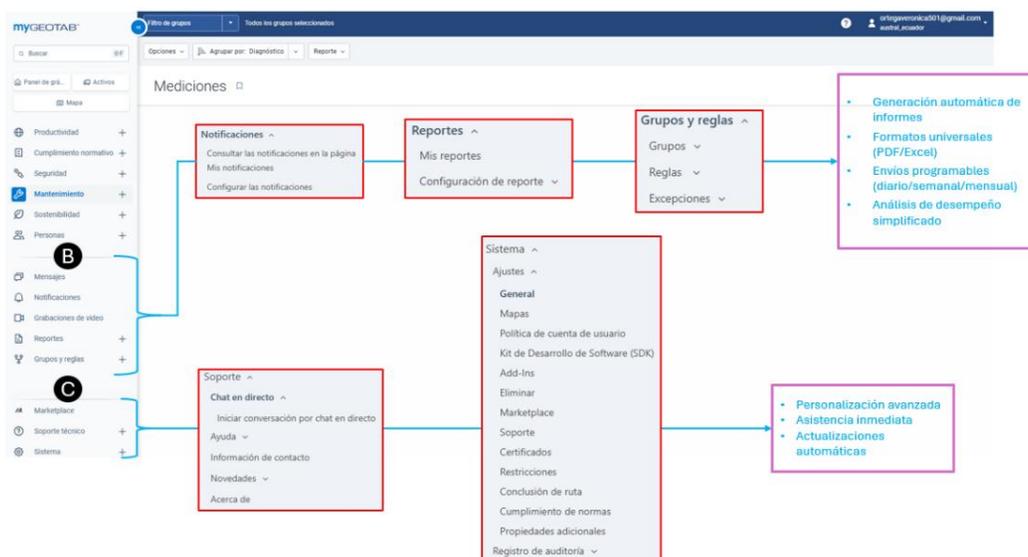
empresas reducir costos, mejorar la seguridad, cumplir con normativas y realizar una transición ordenada hacia flotas más sostenibles, todo ello mediante una plataforma centralizada y de fácil uso.



**Figura 16.** Herramientas de la Plataforma MyGeotab

(Autoría propia)

Así mismo, la plataforma MyGeotab cuenta con un módulo integral de mensajería y soporte técnico que permite una comunicación eficiente y gestión proactiva de la flota. Como se muestra en la Figura 17, en la sección B, este módulo ofrece funcionalidades clave organizadas en cuatro áreas principales. En el área de notificaciones, los usuarios pueden consultar y gestionar todas las alertas del sistema desde una página centralizada. Las notificaciones son completamente personalizadas, permitiendo filtrar por tipo, prioridad y grupos específicos. Además, el sistema ofrece opciones avanzadas de configuración para recibir alertas sobre eventos críticos como fallos mecánicos, excesos de velocidad o incumplimiento de horarios.



**Figura 17.** Mensajería y Soporte Técnico de la Plataforma MyGeotab.

(Autoría propia)

La plataforma cuenta con una sección de reportes diseñada para manejar grandes volúmenes de información. Los usuarios pueden generar y descargar informes detallados en formatos estándar como PDF y Excel, con la capacidad de programar envíos automáticos por correo electrónico de forma diaria, semanal o mensual, lo que resulta útil para realizar análisis periódicos del desempeño de la flota. Adicionalmente, el módulo de grupos y reglas ofrece una estructura jerárquica, donde organiza los vehículos según diversos criterios como ubicación geográfica, tipo de unidad o departamento asignado.

El sistema permite configurar reglas personalizadas para el monitoreo en tiempo real, con el objetivo de definir horarios de conducción autorizados y establecer parámetros operativos específicos. Finalmente, en la sección C, en el área de Marketplace y soporte técnico integra valiosos recursos de asistencia, con acceso directo al equipo técnico de Austral mediante chat en vivo y sistema de tickets. Además, incluye documentación técnica completa con manuales de uso detallados, políticas de seguridad y notificaciones automáticas sobre las últimas actualizaciones del sistema, garantizando que los usuarios siempre trabajen con la versión más reciente y segura de la plataforma.

### 3.2.3. Interfaz de Diagnóstico OBD ELM 327.

La interfaz de diagnóstico OBD ELM 327 mostrado en la Figura 18, es una herramienta diseñada para funcionar como un escáner automotriz que permite la lectura de datos por medio de su conexión en el puerto OBD II del vehículo enviando los datos a través de una conexión Bluetooth o Wi-Fi hacia un software en un dispositivo móvil. Este dispositivo es compatible con diversos softwares y aplicaciones móviles, entre los cuales Torque Pro es una de las opciones más destacadas, conocida por su alto rendimiento y su interfaz intuitiva.



**Figura 18** Dispositivo ELM 327

La característica principal de la interfaz ELM 327 es la capacidad de acceder a datos del motor, registros cinemáticos y sensores, además, puede interpretar esta información en tiempo real. También, permite detectar los Códigos de Falla (DTC) almacenados en la ECU del vehículo, facilitando la identificación de posibles problemas. La Tabla 5 presenta las especificaciones técnicas de la interfaz ELM 327.

**Tabla 5.** Características Técnicas ELM 327.

Características	Descripción
Chip	25K80 para lectura de código de error rápida y con bajo consumo de energía
Compatibilidad	Autos gasolina de 1996 y posteriores vendidos en el Reino Unido, autos estadounidenses, europeos y asiáticos. Vehículos equipados con interfaz OBD2 y voltajes de 9V a 16V.
Protocolos	OBD-II: SAE J1850 VPW, ISO14230-4 (KWP2000), SAE J1850 PWM, ISO9141-2, ISO 15765-4 CAN (excepto para vehículos diésel, híbridos y eléctricos).
Compatibilidad con dispositivos	Android y Windows con Bluetooth

(KitoSDev-CMS, n.d.)

### 3.2.3.1. Aplicación para Extracción de Datos Torque Pro

Torque Pro es una aplicación de pago disponible en dispositivos iOS y Android (sistemas operativos de Apple y Android de Google). Como se muestra en el menú principal en la Figura 19, esta aplicación dispone de diferentes apartados para poder monitorear y registrar los datos de funcionamiento del motor detectados por el interfaz ELM 327, siendo estos: visualización de datos en tiempo real (Realtime Information), visualización de códigos de falla (Fault Codes), posición GPS del vehículo (Mapa View), resultados de prueba (Test Results), sección de gráficos (Graphing) y la información del estado de la interfaz (Adapter Status). A continuación, se describe brevemente cada apartado.



**Figura 19.** Menú Principal de Torque Pro

(Autoría propia)

Como se muestra en la Figura 20, el primer apartado “Realtime Information” permitió monitorear los diferentes sensores obtenidos por la interfaz ELM 327 como régimen del motor, aceleración, temperatura del refrigerante, posición del acelerador, así como parámetros calculados por Torque Pro como el par, potencia, consumo de combustible y emisiones, en tiempo real mientras se conduce. Además, el sistema almacenó automáticamente los registros generados para su posterior exportación y análisis.



**Figura 20.** *Apartado de Visualización de Información en Tiempo Real*

(Autoría propia)

Dentro del segundo apartado de “Fault Codes” mostrado en la Figura 21, Torque Pro permitió obtener la lectura de los diferentes Códigos de Falla del vehículo si cuenta con ellos, similar a la funcionalidad de los escáneres automotrices convencionales. Además, proporcionó descripciones técnicas sobre las posibles causas de las averías detectadas, facilitando así el diagnóstico y reparación. Adicionalmente, no solo mostró estos códigos, sino que también ofreció la opción de borrarlos cuando sea necesario.



**Figura 21.** *Visualización de Códigos de Falla*

(Autoría propia)

El tercer apartado de "Map View", generó un mapa de calor dinámico a lo largo de la ruta recorrida, representando las variaciones con las diferentes variables seleccionadas (velocidad, RPM,

consumo de combustible, etc.) mediante una escala de colores. Por ejemplo, al analizar la velocidad, las zonas con valores altos se marcaron en tonos rojos intensos, mientras que las áreas con velocidades bajas se destacaron en verdes. La Figura 22 muestra un ejemplo de esta visualización en el mapa.



**Figura 22.** Visualización GPS de velocidad

(Autoría propia)

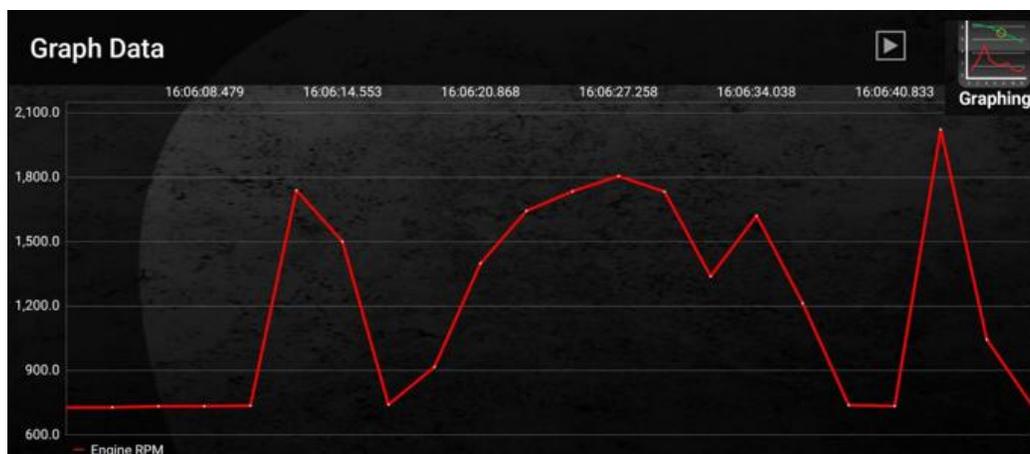
El cuarto apartado de “Test Results” presentó una visualización de los resultados de las pruebas realizadas en los distintos sensores monitoreados, utilizando el modo de diagnóstico avanzado (Modo \$06). Este modo no es compatible con todas las ECU, por lo que Torque Pro notifica si ocurre alguna incompatibilidad. Además, como se muestra en la Figura 23, la aplicación mostró las pruebas fallidas en color rojo y las aprobadas en verde.



**Figura 23.** Visualización de Resultados de Prueba

(Autoría propia)

En el apartado “Graphing”, permitió realizar una pequeña grabación del funcionamiento de algún sensor del vehículo y graficarlo con el fin de poder realizar un análisis si existe alguna falla, como se muestra en la Figura 24. Finalmente, dentro de “Adapter Status”, la aplicación revisó la correcta conexión de la interfaz con el dispositivo móvil, así como con la ECU del vehículo. Además, puede identificar si la interfaz dispone de algún defecto que indique un mal funcionamiento de este.



**Figura 24.** Visualización de Apartado de Gráficos

(Autoría propia)

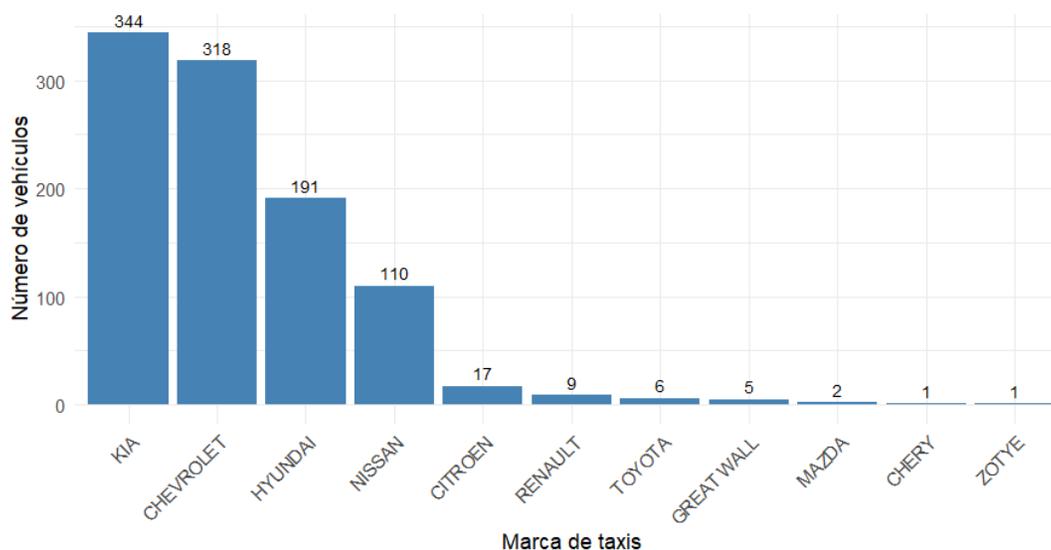
### 3.3. Selección de Vehículos.

#### 3.3.1. Caracterización del Parque Automotor.

Para seleccionar los vehículos utilizados en el presente estudio, inicialmente se realizó una caracterización del parque automotor de la ciudad de Ibarra. Esta caracterización fue desarrollada utilizando la información de matriculación vehicular facilitada por la Empresa Pública de Movilidad del Norte (MOVIDELNOR EP). Esta permitió identificar las principales marcas y modelos de vehículos que se utilizan para el servicio de taxis en la ciudad de Ibarra. Como resultado, se obtuvo un total de 1385 vehículos que circulan en servicio de taxi, 1004 corresponden a la modalidad convencional y 381 corresponden a la modalidad ejecutivo. Cabe recalcar que, la selección de vehículos del presente trabajo, solo se tomó en cuenta los vehículos que operan bajo la modalidad convencional.

En la Figura 25, se presenta la clasificación por marca de taxis en la modalidad convencional. La marca Kia lidera con 344 vehículos representando un 34.26%; en segundo lugar, se encuentra la marca Chevrolet, con un total de 318 vehículos representando el 31.67%; en tercer lugar, se

encuentra Hyundai, con 191 vehículos representando el 19% de participación, mientras que Nissan ocupa el cuarto puesto con un total de 110 vehículos representando el 11%. Finalmente, otras marcas que incluyen Citroën, Renault, Toyota, Great Wall, Mazda, Chery y Zotye representan apenas un 4%.



**Figura 25.** Clasificación por Marca de taxis convencional

(Autoría propia)

Adicionalmente, para las cuatro marcas principales descritas previamente, se evaluó los modelos más representativos de cada una. En el caso de Kia, el modelo Rio representó el 78.2%, seguido del Soluto con un 16.86% y el Cerato con el 4.94% restante. Para Chevrolet, el Aveo constituyó el 74.84%, el Sail el 24.53% y el Cavalier apenas el 0.63%. En Hyundai, el Accent fue el modelo predominante con un 92.15%, mientras que el Verna, Getz, Grand i10 y Elantra representaron el 3.66%, 2.62%, 1.05% y 0.52%, respectivamente. Finalmente, en Nissan, el modelo Sentra fue el más representativo con un 82.73%, mientras que los modelos Tiida, Versa y Almera, en conjunto, abarcaron el 17%. El número de vehículos por modelos de cada marca se encuentra detallado en la Tabla 6.

**Tabla 6. Modelos de vehículos**

<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Porcentaje por Marca</b>	<b>Porcentaje Total</b>
Kia	Rio	269	78.2	26.79
	Soluto	58	16.86	5.78
	Cerato	17	4.94	1.69
Chevrolet	Aveo	238	74.84	23.71
	Sail	78	24.53	7.77
	Cavalier	2	0.63	0.2
Hyundai	Accent	176	92.15	17.53
	Verna	7	3.66	0.7
	Getz	5	2.62	0.5
	Grand I10	2	1.05	0.2
	Elantra	1	0.52	0.1
	Sentra	91	82.73	9.06
Nissan	Tiida	7	6.36	0.7
	Versa	6	5.45	0.6
	Almera	6	5.45	0.6
Citroen	C-Elysee	17	100	1.69
Renault	Logan	9	100	0.9
Toyota	Yaris	6	100	0.6
Great Wall	ORT	1	20	0.1
	Voleex C30	4	80	0.4
Mazda	Allegro	1	50	0.1
	Mazda 2	1	50	0.1
Chery	Arrizo 3	1	100	0.1
Zotye	Z360	1	100	0.1

(Autoría propia)

**3.3.2. Selección de Vehículos.**

Una vez que se identificaron los vehículos más representativos de la flota de taxis de la modalidad convencional de la ciudad de Ibarra, era necesario que para el desarrollo del presente estudio el equipo “GO9” disponga de acceso a los datos de motor y al registro de consumo de combustible. Por ello, fue necesario realizar unas pruebas iniciales en diversos modelos de vehículos con el único propósito identificar aquellos modelos que permiten tener compatibilidad con el dispositivo GO9-GEOTAB. Los vehículos evaluados para las pruebas iniciales se muestran en Tabla 7.

**Tabla 7. Vehículos Evaluados para Pruebas Iniciales**

<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Año</b>	<b>Cilindrada (c.c)</b>	<b>Compatibilidad con Dispositivo</b>
Kia	Rio R	2 017	1 400	Si
Hyundai	Accent	2 014	1 600	Si
Kia	Soluto	2 024	1 368	Si
Hyundai	Getz	2 007	1 600	No
Hyundai	Tucson	2 019	2 000	No
Chevrolet	Aveo	2 015	1 500	No
Nissan	Sentra	2 013	1 600	No

(Autoría propia)

Una vez realizadas las pruebas iniciales para los diferentes vehículos, finalmente se seleccionaron 4 vehículos para el desarrollo de las diferentes campañas experimentales. Como se muestra en la Figura 26, los vehículos seleccionados fueron: Kia Rio R 2017, Hyundai Accent 2014, Kia Soluto 2024 y Hyundai Getz 2007 como se muestra en la Figura 26. El vehículo Kia Rio R presenta un motor a gasolina con una cilindrada de 1400 cm<sup>3</sup>, posee una transmisión manual de 6 velocidades. El vehículo Hyundai Accent dispone de un motor a gasolina con una cilindrada de 1600 cm<sup>3</sup> y tiene una transmisión manual de 5 velocidades. El vehículo Kia Soluto presenta un motor a gasolina con una cilindrada de 1400 cm<sup>3</sup>, además, una transmisión manual de 5 velocidades. El último vehículo, Hyundai Getz posee un motor a gasolina con una cilindrada de 1600 cm<sup>3</sup> con una transmisión manual de 5 velocidades.



**Figura 26.** Vehículos Seleccionados.

(Autoría propia)

Para el desarrollo del presente trabajo, se dividió los vehículos para los dos dispositivos seleccionados. Para registros con el dispositivo GO9-GEOTAB fueron los vehículos Kia Rio R 2017, Hyundai Accent 2014 y Kia Soluto 2024. En el caso de ensayos realizados con la interfaz ELM 327 se utilizó el vehículo Hyundai Getz 2007. A continuación, en la Tabla 8 se indica la ficha técnica de los vehículos seleccionados.

**Tabla 8.** Característica Técnicas Vehículos

Característica	Vehículo 1	Vehículo 2	Vehículo 3	Vehículo 4
Marca del Vehículo	Kia	Hyundai	Kia	Hyundai
Modelo	Rio R	Accent	Soluto	Getz
Cilindrada (c.c.)	1 400	1 600	1 400	1 600
Potencia máxima (hp@rpm)	105 @ 6 300	115 @ 6 300	94 @ 6 000	105 @ 5 800
Par máximo (Nm@rpm)	135 @ 4 200	147 @ 4 500	132 @ 4 000	144 @ 3 200
Combustible	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Gasolina
Transmisión	Manual	6 Manual	5 Manual	5 Manual
	velocidades	velocidades	velocidades	velocidades
Tara (kg)	1 062	1 035	1 020	1 105
Peso Bruto (kg)	1 201	1 580	1 450	1 510

(Autoría propia)

### 3.4. Configuración de Equipos y Pruebas Piloto.

Antes de iniciar el desarrollo de la campaña experimental, se ejecutó un conjunto de pruebas piloto para asegurar la correcta configuración tanto del dispositivo GO9-GEOTAB como de la interfaz ELM 327. Estas pruebas tuvieron como objetivo verificar la transmisión de datos, su validación y el tiempo de muestreo de cada equipo. Para ello, utilizaron sus respectivos manuales técnicos, así como también los softwares para lectura y extracción de datos. En general, se realizó una prueba piloto con el dispositivo GO9-GEOTAB y otra con la interfaz ELM 327. A continuación se detalla la configuración y validación de cada dispositivo.

#### 3.4.1. Prueba Piloto Dispositivo GO9-GEOTAB.

##### 3.4.1.1. Añadir vehículo en la plataforma MyGeotab.

En la Figura 27 se muestra el proceso para el registro del dispositivo telemático GO9 – GEOTAB, en la plataforma MyGeotab. Al ingresar a la plataforma, se inició con el icono de “Activos”, como se indica en la sección A, donde se registraron los vehículos con su respectivo VIN, Placa, Odómetro y el número de serie del dispositivo, el cual se encuentra en la parte posterior del mismo. Posteriormente, en la sección B, se agregaron los vehículos de forma independiente o en conjunto, y finalmente se registraron los datos antes mencionados. De esta manera, el dispositivo envió toda la información del vehículo a la plataforma.

The screenshot displays the MyGeotab 'Vehículos y activos' page. The table below shows the following data:

Nombre	Conductor actual	VIN	Placa	Número de serie	Odómetro
Soluto Vehículo ISARSA Más de 3 días	Ninguno	LJ0GAA29AR0236649	Desconocido	G97W63DWANTIA	31760 km

**Figura 27.** Proceso para el Registro del Dispositivo Telemático GO9 – GEOTAB

(Autoría propia)

Finalmente, en la sección C, se registra el número de serie del dispositivo, el cual se incorpora automáticamente a la plataforma. A partir de este registro, los vehículos quedan identificados con la siguiente nomenclatura: Placa\_Marca\_Modelo\_Cilindrada\_Año, como se muestra en la Figura 28. Este registro se realiza apenas el dispositivo se encuentre conectado al vehículo y la señal sea identificada en la plataforma.

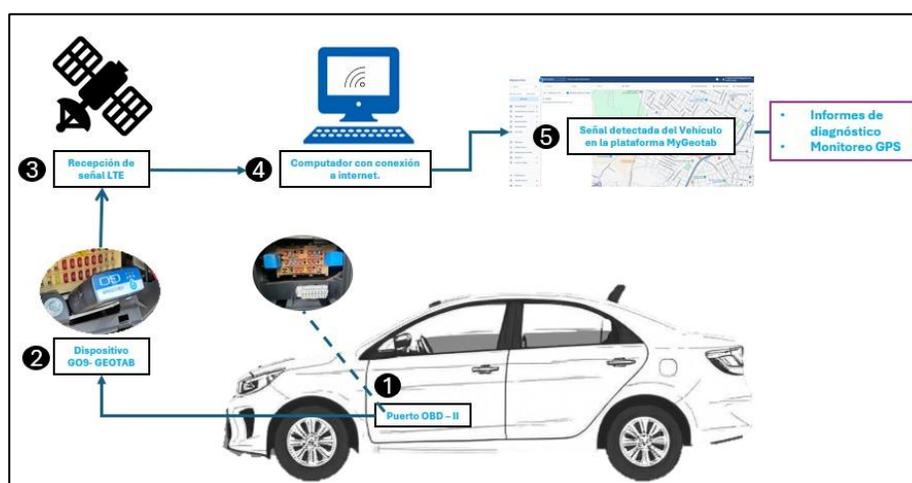


**Figura 28.** *Nomenclatura de Activo*

(Autoría propia)

### 3.4.1.2. *Instalación del Dispositivo Telemático GO9-GEOTAB.*

El dispositivo telemático GO9 – GEOTAB, debió ser instalado en el puerto OBD II del vehículo, ubicado en la mayoría de los vehículos bajo el volante. Una vez conectado, se esperó de 5 a 10 minutos, tiempo durante el cual el dispositivo emitió seis pitidos rápidos como indicador que ha detectado señal LTE, GPS, señal de Internet y señal de los diferentes sensores del vehículo. Estas señales se identificaron mediante 3 luces indicadores del dispositivo. Posterior a ello, se visualizó en la plataforma MyGeotab el vehículo activo, y se tuvo acceso a la información de los reportes de diagnóstico y al monitoreo GPS. En la Figura 29 se indica el esquema de instalación del dispositivo telemático.



**Figura 29.** *Instalación Dispositivo Telemático*

(Autoría propia)

### 3.4.1.3. Plataforma MyGeotab del dispositivo GO9 – GEOTAB.

La conexión del dispositivo telemático GO9 – GEOTAB con la plataforma MyGeotab, tuvo la capacidad de conectarse de forma “on – line “y “off – line”. De forma “on – line “, el dispositivo estuvo conectado a una red a través de 2G, 3G, 4G, LTE o Wifi enviando información actualizada en tiempo real. De manera “off – line”, el dispositivo, al no tener conexión a una red, funcionó y almacenó los datos localmente en su memoria interna; una vez que se establece la conexión, estos datos se sincronizan automáticamente con la plataforma MyGeotab. Es importante mencionar que la obtención de datos de cada vehículo no es inmediata.

La Figura 30 ilustra el panel principal de la plataforma MyGeotab, identificando los pasos para el monitoreo y obtención de resultados de cada vehículo. Inicialmente, En la parte A, se requirió de un usuario y contraseña para acceder a la información del dispositivo. Luego en la parte B, se registraron los “Activos”, es decir, los vehículos que se encontraban conectados al dispositivo. Después, en la parte C, se accedió a la sección de herramientas de la plataforma, específicamente en la opción de” Mantenimiento”, donde se ubicaron las secciones de diagnóstico. En este caso, el análisis se enfocó en el área de “Mediciones”. Finalmente, en la parte D, se seleccionaron las opciones específicas que se deseaban visualizar de cada vehículo, lo que permitió personalizar la obtención de datos según fechas, vehículos y diagnósticos, generando así informes detallados para el presente estudio.

The screenshot displays the MyGeotab web interface. At the top right, a user profile is visible (A). The main content area shows a list of active vehicles (B) with columns for 'Activo', 'Conductor actual', 'Placa', 'Odómetro (km)', and 'Comentario'. A table lists vehicles like 'IA33508\_KIA\_SOLUTO\_2024\_13A...', 'ICM0348\_HYUNDAI\_GETZ\_2007...', 'PCS7847\_KIA\_RO\_2017\_1.4', and 'Soluto'. A sidebar on the left (C) contains navigation menus for 'Mantenimiento', 'Diagnósticos', and 'Mediciones'. A modal window (D) is open, showing 'Período de fechas' (Today, Yesterday, This week, Last week, This month, Last month, Custom) and 'Opciones de visualización' (Include archived data, Search vehicles, Select all, Diagnostics, Selection: PCS7847\_KIA\_RO\_2017\_1.4, Soluto). The interface also shows a 'Número de registros 0' and various system settings.

**Figura 30.** Software en línea MyGeotab

(Autoría propia)

### 3.4.1.4. Extracción de Mediciones de Motor.

Para procesar los registros obtenidos, se realizó un viaje de prueba de 10 minutos con el fin de validar la configuración establecida. La prueba se llevó a cabo al mediodía en la Avenida 17 de julio, donde durante este periodo se identificaron los primeros registros de forma “on – line”. Para la exportación de datos, se requirió utilizar los informes proporcionados por la plataforma MyGeotab. En la sección de “Reportes”, como se observa en la Figura 31, se seleccionaron de manera personalizada las fechas, vehículos y diagnósticos, lo que permitió acceder a toda la información necesaria de cada vehículo. Posteriormente se generaron informes en formato xlsx, disponibles en versiones “Estándar”, “Avanzado”, así como en formato PDF. esta información pudo ser tratada en cualquier software de procesamiento de datos.

Reporte	Fecha solicitada	IP	Fecha de caducidad	Tamaño	Estado
12. Odometer Jump Report 10/14/24	12/17/24 18:07:48		06/15/25 18:07:48	19MB	✓ Listo
Reporte avanzado de estado de mo... 10/14/24	12/17/24 18:03:15		06/15/25 18:03:15	17MB	✓ Listo
Reporte por defecto de estado de m... 09/22/24	12/02/24 13:40:58		05/31/25 13:40:58	1.23MB	✓ Listo
Reporte por defecto de estado de m... 09/21/24	12/02/24 13:40:45		05/31/25 13:40:45	5MB	✓ Listo
Reporte por defecto de estado de m... 09/27/24	12/02/24 13:40:18		05/31/25 13:40:18	1.43MB	✓ Listo
Reporte por defecto de estado de m... 09/24/24	12/02/24 13:40:00		05/31/25 13:40:00	5MB	✓ Listo
Reporte por defecto de estado de m... 09/25/24	12/02/24 13:33:21		05/31/25 13:33:21	5MB	✓ Listo
Reporte por defecto de estado de m... 09/24/24	12/02/24 13:25:32		05/31/25 13:25:32	5MB	✓ Listo
Reporte por defecto de estado de m... 09/23/24	12/02/24 13:25:10		05/31/25 13:25:10	2MB	✓ Listo
Reporte por defecto de estado de m... 07/14/24	12/02/24 13:11:12		05/31/25 13:11:12	14MB	✓ Listo
Reporte por defecto de estado de m... 07/11/24	12/02/24 13:10:50		05/31/25 13:10:50	780.05KB	✓ Listo
Reporte por defecto de estado de m... 07/13/24	12/02/24 13:09:30		05/31/25 13:09:30	13MB	✓ Listo

**Figura 31** Extracción de Mediciones de Motor

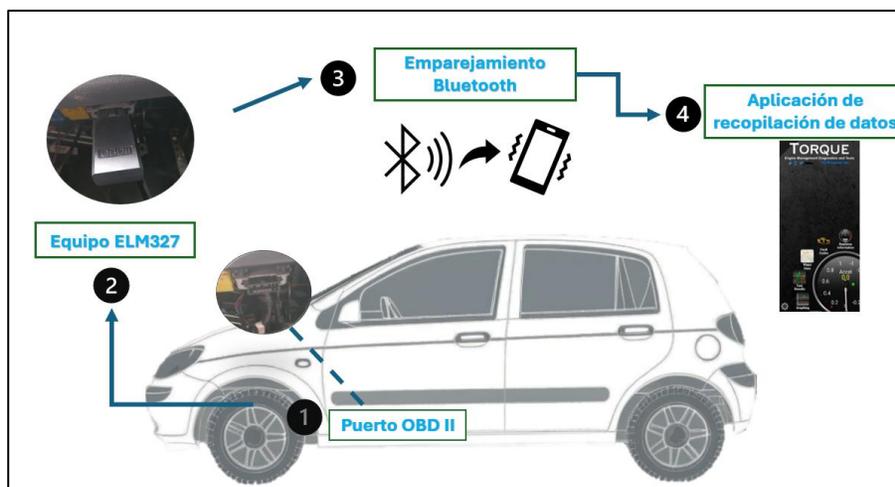
(Autoría propia)

## 3.4.2. Prueba Piloto Interfaz ELM 327.

### 3.4.2.1. Instalación de la Interfaz ELM 327

La Figura 32 indica el esquema de instalación de la interfaz ELM 327. De igual forma que el dispositivo GO9-GEOTAB, la interfaz ELM 327 se conectó a través del puerto de entrada OBD II y así poder extraer los diferentes datos de la ECU. Posteriormente, se estableció un emparejamiento Bluetooth entre el equipo ELM 327 con un dispositivo móvil. Como se mencionó anteriormente, el equipo ELM 327 tiene la capacidad de obtener datos de operación del vehículo, sin embargo,

para poder registrar esta información, es necesario utilizar un software instalado en un dispositivo móvil. La aplicación utilizada en el presente trabajo es Torque Pro donde finalmente, se establece una conexión con la aplicación.



**Figura 32.** *Instalación Interfaz ELM 327*

(Autoría propia)

### 3.4.2.2. Configuración de Torque PRO para la Interfaz ELM 327.

Inicialmente fue necesario realizar una configuración del programa acorde a las especificaciones del vehículo, entre ellas podemos mencionar: el desplazamiento del motor en litros, peso bruto vehicular, tipo de combustible y la capacidad del tanque de combustible, como se muestra en la Figura 33. Estas especificaciones fueron necesarias para diversos cálculos realizados por la aplicación.



**Figura 33.** *Especificaciones Iniciales del vehículo*

(Autoría propia)

Posteriormente, se realizó la selección de las variables de registro, es decir, la elección de PIDs de los datos a monitorizar que sean relevantes para el desarrollo del trabajo de investigación (por ejemplo, velocidad, aceleración, posición GPS, carga del motor y combustible utilizado). Los PIDs seleccionados se presentan en la Tabla 9.

**Tabla 9.** *Variables de Registro Torque Pro*

<b>Registro</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>
Acceleration sensor (X axis)	Aceleración en el eje X	g
Acceleration sensor (Y axis)	Aceleración en el eje Y	g
Acceleration sensor (Z axis)	Aceleración en el eje Z	g
GPS Altitude	Registro de altitud GPS	m
GPS Longitude	Registro de longitud GPS	°
GPS Latitude	Registro de latitud GPS	°
Average trip speed (whilst stopped or moving)	Velocidad promedio de viaje	km/h
Engine load	Carga del motor	%
Fuel used	Combustible utilizado	L
Trip Distance	Distancia de viaje	km

(Autoría propia)

#### **3.4.2.3. Exportación de Datos.**

Para poder realizar el procesamiento de los registros obtenidos, fue necesario realizar un viaje de prueba de 10 minutos para la validación de la configuración realizada. Una vez terminado este viaje, desde la aplicación Torque Pro, se debió acceder al apartado “Real Time Information” en el menú principal, posteriormente, se seleccionó en el apartado de ajustes, la opción de “Registros por Correo Electrónico”. A continuación, se muestra una ventana donde se encuentran todos los registros realizados en la aplicación. Aquí, se procede a exportar los registros necesarios en formato “CSV” con los datos grabados. En la Figura 34, se observa el archivo “.CSV” con los datos obtenidos de la prueba realizada.

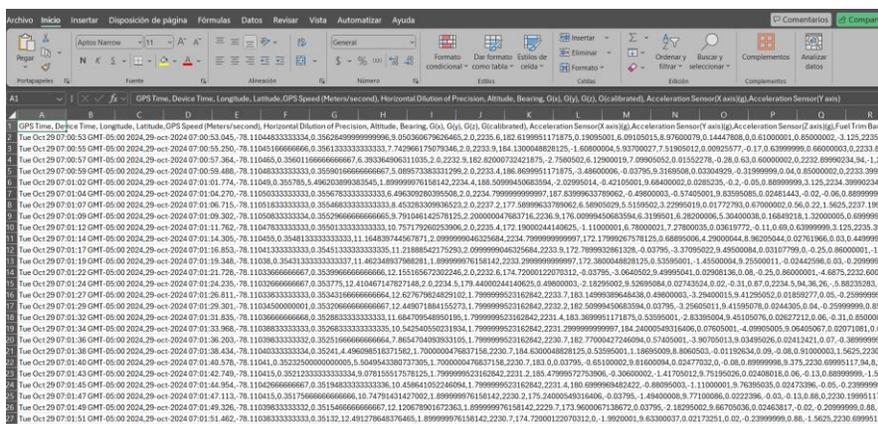


Figura 34. Visualización de Registros Obtenidos de la Interfaz ELM 327

(Autoría propia)

### 3.5. Campañas Experimentales.

Para el desarrollo de la campaña experimental fue de suma importancia la verificación del estado mecánico y de seguridad de los diferentes vehículos seleccionados. Además, estos vehículos disponían de la respectiva documentación de matrícula y revisión técnica vehicular vigente. Previo a la correcta inspección, se ejecutaron dos campañas experimentales. La primera campaña se desarrolló con el dispositivo GO9-GEOTAB en 3 vehículos, con el objetivo de captar el consumo de combustible, mientras que la segunda campaña se realizó con la interfaz ELM 327 en un vehículo, para la extracción de datos cinemáticos del vehículo. En la Tabla 10 se detallan los vehículos evaluados, junto con los dispositivos utilizados y las fechas en las que se llevó a cabo en cada campaña experimental.

Tabla 10. Campaña Experimental

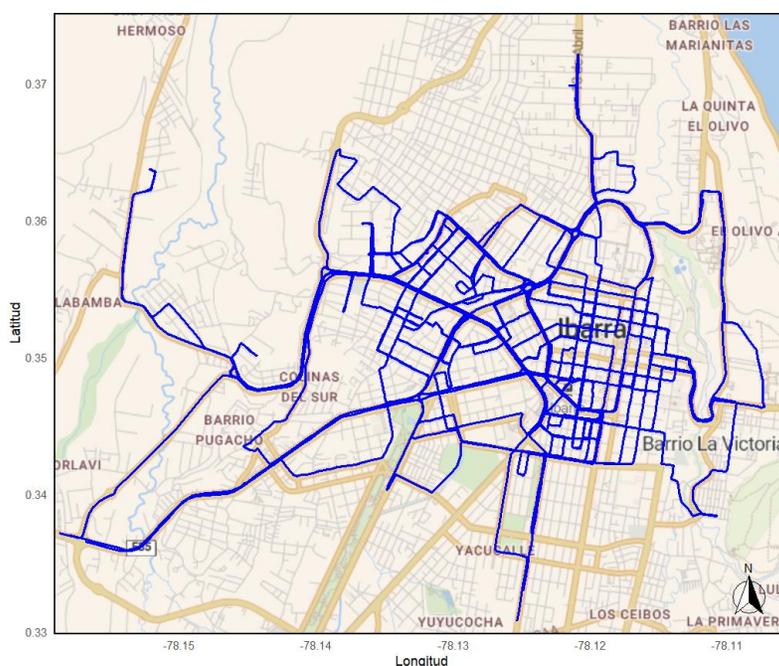
Campaña	Dispositivo	Vehículos	Fechas de ejecución		Distancia Recorrida (km)
			Fecha Inicio	Fecha Fin	
1	GO9-GEOTAB	Hyundai Accent	23/09/2024	29/09/2024	1 122.7
		Kia Rio	08/07/2024	14/07/2024	1 511.4
		Kia Soluto	14/10/2024	20/10/2024	1 428.7
2	ELM 327	Hyundai Getz	29/10/2024	30/10/2024	198.3

(Autoría propia)

#### 3.5.1. Ejecución de la Campaña Experimental con el Dispositivo GO9-GEOTAB.

La primera campaña experimental se realizó con el dispositivo GO9 – GEOTAB en los tres taxis antes mencionados en la sección 3.5. Esta se llevó a cabo en el mes de julio, septiembre y octubre del 2024 durante dos semanas para cada vehículo. Los vehículos estuvieron operando bajo

condiciones normales de trabajo dando el servicio de transporte de personas y carga, y circulando en tráfico real en diferentes zonas de la ciudad Ibarra, como se muestra en la Figura 35, con la finalidad de captar datos de consumo de combustible e información del motor y sus sensores en condiciones reales. Posteriormente, estos datos se reciben en la plataforma de MyGeotab para continuar con las fases del pre-procesamiento y post-procesamiento de datos.

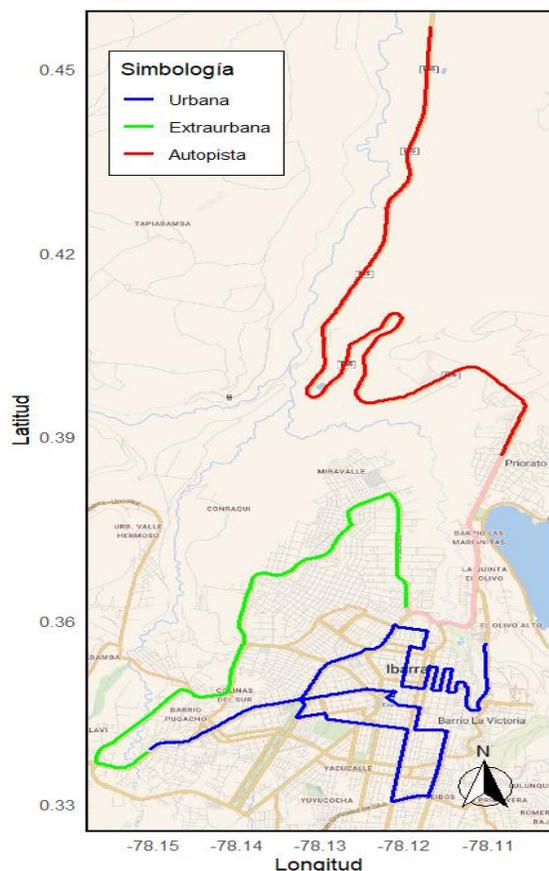


**Figura 35.** *Circulación en Tráfico Real en Diferentes Zonas de la Ciudad Ibarra.*

(Autoría propia)

### 3.5.2. Ejecución de la Campaña Experimental con la Interfaz ELM 327.

La segunda campaña experimental se desarrolló con el vehículo Hyundai Getz en el mes de octubre del año 2024. Se llevó a cabo tres pruebas en diferentes horarios utilizando una Ruta de Ensayo de Emisiones de Conducción Real (RDE), diseñada con un tiempo promedio de 90 minutos de viaje específicamente en la ciudad de Ibarra, como se muestra en la Figura 36. La ruta ya establecida cuenta con 3 diferentes zonas (urbana, extraurbana y autopista). Los ensayos realizados fueron realizados con el fin de obtener diferentes condiciones de tráfico (alto, medio y bajo), buscando así, variaciones de las emisiones de  $CO_2$  con condiciones reales de viaje. De este modo, los horarios establecidos fueron a las 7 y 10 de la mañana y a las 3 de la tarde.



**Figura 36.** Ruta de Estudio RDE en la Ciudad de Ibarra  
(Autoría propia)

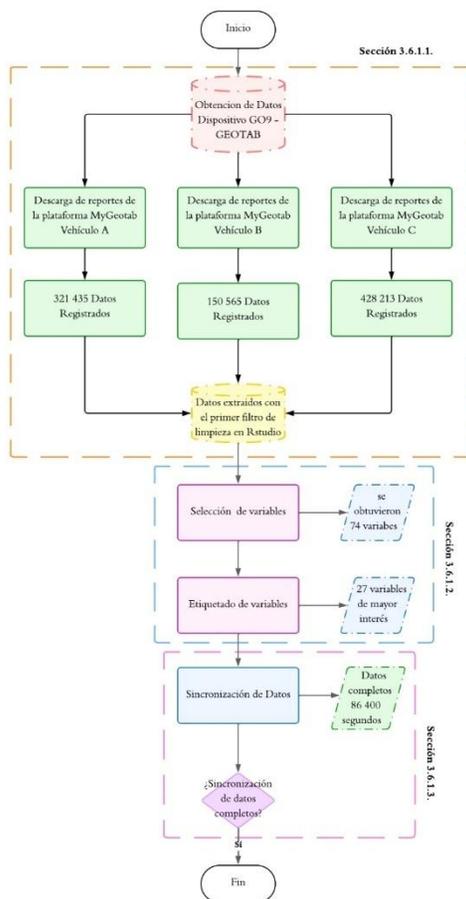
### 3.6. Procesamiento de Datos Dispositivo GO9-GEOTAB.

El procesamiento de datos para el dispositivo GO9 - GEOTAB se comprende en tres fases fundamentales: pre – procesamiento, procesamiento y post – procesamiento. En el pre-procesamiento, se realizó limpieza, sincronización, clasificación y obtención de resultados de toda la información de cada vehículo proporcionada por la plataforma MyGeotab. En la segunda fase de procesamiento, se ejecutó en el software de análisis de datos Rstudio los cálculos necesarios; y, por último, en el post - procesamiento se realizó gráficas para analizar y evaluar los resultados.

#### 3.6.1. Pre-Procesamiento de Datos Dispositivo Telemático GO9-GEOTAB.

Una vez ejecutada la campaña experimental con el dispositivo GO9 – GEOTAB, se llevó a cabo la primera fase del tratamiento de datos. Esta fase consistió de cinco operaciones fundamentales: extracción, filtrado, etiquetado, selección y sincronización de los datos vehiculares. Para el procesamiento de la información obtenida, se emplearon las siguientes librerías del software

Rstudio: readxl para importar archivos en formato “xlsx”, dplyr para transformar, filtrar y resumir datos de manera más eficiente, tidyr para reorganizar datos entre formatos anchos y largos, stringr para la manipulación y limpieza de texto en variables o columnas, lubridate para el manejo intuitivo de fechas y horas, y openxlsx para exportar los data frames resultantes a archivos “xlsx”. En la Figura 37, se detalla el diagrama correspondiente a la primera fase del pre - procesamiento de datos.



**Figura 37.** Diagrama de Pre-procesamiento de datos

(Autoría propia)

### 3.6.1.1. Extracción de Datos y Filtros

Para la extracción de datos, se obtuvieron informes en versión “Estándar” y en formato “xlsx”, como se indica en la Figura 38 para todos los vehículos. Además, se cambió el formato inicial de cada reporte a formato “csv” o “xlsx” con el fin de eliminar datos innecesarios y ajustar la zona

horaria. Finalmente, la información de cada vehículo fue organizada en una sola carpeta común, para luego ser procesada en el software de análisis de datos Rstudio.

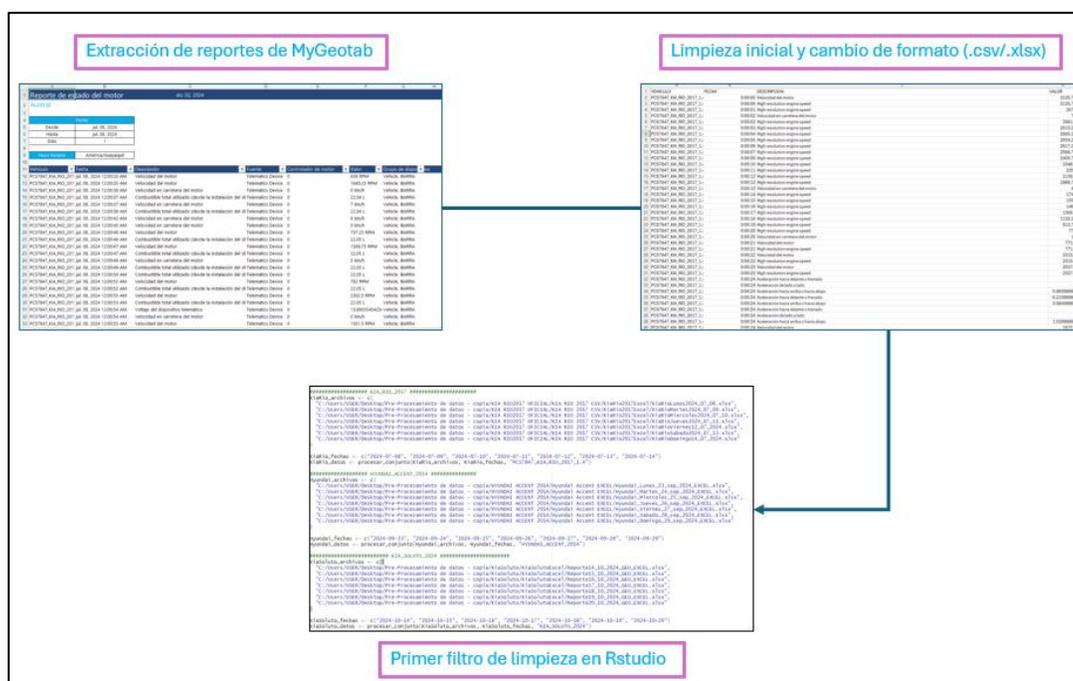


Figura 38. Formato Reportes MyGeoTab

(Autoría propia)

Posteriormente, en Rstudio se aplicaron filtros utilizando la librería “tidyr”. Con la función “pivot\_wider()”, se transformaron los datos de formato largo a formato ancho, con el fin de evitar variables repetidas en diferentes filas. Asimismo, con la función “mutate()” de la librería de dplyr, se incluyó una columna con la fecha ordenada y específica para cada vehículo. En la Tabla 11 se detalla el registro de cada vehículo, incluyendo su fecha de inicio y fin, las horas totales registradas y el total de datos recopilados.

Tabla 11. Selección de Vehículos y Fechas de Registro

Selección de vehículos	Nombre asignado	Fecha Inicio	Fecha Fin	Horas totales registradas	Datos Registrados
Kia Rio 2017	PCS7847_KIA_RIO_2017_1.4	08/07/2024	14/07/2024	168 h	321 435
Hyundai Accent 2014	IAA1619_HYUNDAI_ACCENT_2014_1.6	23/09/2024	29/09/2024	168 h	150 565
Kia Soluto 2024	IAI3508_KIA_SOLUTO_2024_1368cc	14/10/2024	20/10/2024	168 h	428 213

(Autoría propia)

### 3.6.1.2. Selección y Etiquetado de Variables

Para la selección de variables, se identificaron aquellas que podrían ser de mayor utilidad para este caso de estudio. Se obtuvieron 74 variables en total a partir de los reportes proporcionados por la plataforma MyGeotab, de las cuales se seleccionaron 27 de mayor interés y con datos numéricos. Con la función “select()” de la librería de dplyr, se seleccionaron del data frame inicial las variables de interés hacia un nuevo data frame; posteriormente, con la función “rename()”, se etiquetaron dichas variables utilizando la nomenclatura de camello, como se observa en la Tabla 12.

**Tabla 12. Variables Renombradas Dispositivo GO9-GEOTAB.**

<b>VARIABLES DEL DISPOSITIVO MYGEO TAB</b>	<b>RENOMBRAR VARIABLES</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>
Vehículo activo (ralentí o en movimiento)	VehiculoActivo	-
Distancia incremental basada en la velocidad en carretera del motor	DistanciaIncremental	kilómetros (km)
Raw odometer	OdometroOriginal	kilómetros (km)
Odómetro	Odometro	kilómetros (km)
Velocidad del motor	VelocidadMotor	Revoluciones por Minuto (rpm)
High resolution engine speed	VelocidadMotorAltaResolucion	Revoluciones por Minuto (rpm)
Velocidad en carretera del motor	VelocidadCarretera	kilómetros/hora (km/h)
Combustible total utilizado (desde la instalación del dispositivo de telemática)	CombustibleUtilizado	Litros (L)
Trip fuel accumulator	CombustibleAcumuladoTrayecto	Litros (L)
Trip distance with tracked fuel accumulator	DistanciaCombustibleAcumulado	kilómetros (km)
Acumulación de combustible usado en ralentí durante el viaje	AcumulacionCombustibleRalenti	Litros (L)
Altitude above mean sea level	AltitudNivelMar	metros (m)
Temperatura del refrigerante del motor	TemperaturaRefrigerante	grados centígrados (°C)
Aceleración hacia delante o frenado	AceleracionFrontal	G FORCE
Aceleración de lado a lado	AceleracionLateral	G FORCE
Aceleración hacia arriba o hacia abajo	AceleracionVertical	G FORCE
Temperatura exterior	TemperaturaExterior	grados centígrados (°C)
Nivel de combustible	NivelCombustible	Litros (L)
Generic accelerometer-based gear (0 = neutral / -1 = reverse)	CambioPorAcelerometro	-
Combustible total utilizado en ralentí (desde la instalación del dispositivo de telemática)	CombustibleTotalUtilizadoRalenti	Litros (L)
Combustible de viaje utilizado	CombustibleViajeUtilizado	Litros (L)
Combustible de viaje utilizado en ralentí	CombustibleRalenti	Litros (L)
Trip distance with tracked fuel	DistanciaCombustibleRegistrado	kilómetros (km)
Trip distance with tracked fuel source (1 = odometer / 2 = GPS / 3 = road speed)	FuenteDistanciaCombustible	-
Estado de conexión continua (1 = Activado, 0 = Apagado). Esto solo se muestra si Conexión continua está activada o desactivada debido a la fluctuación de voltaje.	ConexionContinuaEstado	-
Aceleración longitudinal basada en GPS	AceleracionGPS	G FORCE
PositionValid	PositionValid	-

(Autoría propia)

### 3.6.1.3. Sincronización de Datos

Para la sincronización de datos, se identificó los registros de cada vehículo, los cuales eran menores a 86 400, valor que corresponde a la cantidad de segundos que comprenden un día completo (24 horas). Por lo tanto, fue necesario sincronizar los datos y completar los días de trabajo para un estudio completo. Para ello, se utilizó la función “left\_join()” de la librería dplyr, como se muestra en la Figura 39 del código para sincronización de datos, la cual permitió optimizar grandes volúmenes de información en un data frame y mantuvo un orden cronológico.

```
# Crear un dataframe con TODOS los segundos del día
todos_los_segundos <- tibble(
  FECHA = seq.POSIXt(
    from = as.POSIXct(paste(fecha_dia, "00:00:00")),
    to = as.POSIXct(paste(fecha_dia, "23:59:59")),
    by = "sec"
  )
)

# Unir datos con la secuencia completa (sincronización)
datos_sincronizados <- left_join(todos_los_segundos, datos_transformados, by = "FECHA")

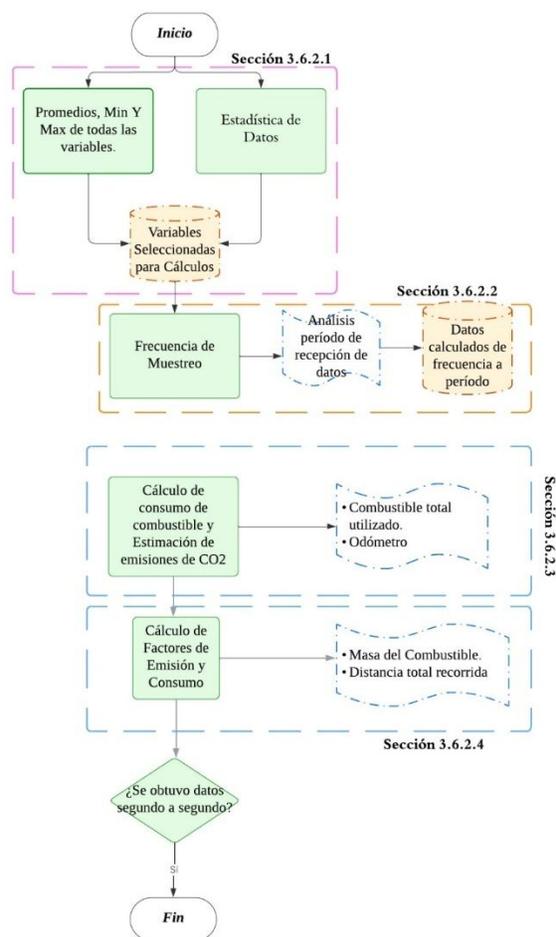
return(datos_sincronizados)
}
```

**Figura 39.** Código para Sincronización de Datos.

(Autoría propia)

### 3.6.2. Procesamiento de Datos Dispositivo Telemático GO9-GEOTAB.

En la segunda fase del tratamiento de datos, se realizó un resumen estadístico, frecuencia de muestreo y cálculos de las variables previamente seleccionadas en la primera fase del tratamiento de datos. En la Figura 40, se detalla el diagrama correspondiente a la segunda fase del procesamiento de datos.



**Figura 40.** Diagrama del Procesamiento de datos

(Autoría propia)

### 3.6.2.1. Resumen Estadístico de Variables Telemáticas.

Para el análisis estadístico de datos, se utilizó la función “summarise()” de la librería de dplyr, la cual permite calcular de manera más eficiente estadísticas descriptivas como valores máximos, mínimos y promedios de cada variable, como se muestra en el código de la Figura 41. Esta herramienta resulta especialmente útil al trabajar con grandes volúmenes de datos, ya que realiza cálculos precisos y rápidos, facilitando el análisis e identificación de posibles valores erróneos.

```

# Calcular el promedio, máximo y mínimo para cada variable
resumen_variables <- dfsoluto %>%
  pivot_longer(cols = c(VelocidadMotor, VelocidadCarretera, CombustibleUtilizado,
    AceleracionFrontal, AceleracionLateral, AceleracionVertical, OdometroCrudo, Odometro,
    DistanciaIncremental, TemperaturaRefrigerante, CambioPorAcelerometro, CombustibleViaje,
    CombustibleViajeRalenti, CombustibleTotalRalenti, VehiculoActivo, CombustibleAcumuladoTrayecto,
    CombustibleRalentiAcumulado, DistanciaConCombustibleAcumulado, DistanciaConCombustible,
    FuenteDistanciaCombustible, AceleracionGPS, TemperaturaExterior, VelocidadMotorAltaResolucion,
    Altitud, NivelCombustible, PositionValid, ConexionContinuaEstado),
    names_to = "Variable", values_to = "Valor") %>%
  group_by(Vehiculo, Variable) %>%
  summarise(
    Promedio = mean(Valor, na.rm = TRUE),
    Maximo = max(Valor, na.rm = TRUE),
    Minimo = min(Valor, na.rm = TRUE)
  ) %>%
  ungroup()

```

**Figura 41.** Código para Función Estadística Summarise

(Autoría propia)

El cálculo del promedio también fue realizado de forma automática en Rstudio. Sin embargo, este tipo de análisis puede ejecutarse manualmente. La media aritmética o promedio, se obtiene al sumar todos los valores de una variable y dividir el resultado entre el número total de datos, como se presenta en la Ecuación 2. Esta medida es útil para obtener una representación general del comportamiento de cada variable.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad \text{Ecuación 2}$$

### 3.6.2.2. Frecuencia de Muestreo

En la frecuencia de muestreo se consideró que el dispositivo no registraba datos segundo a segundo. Sin embargo, mediante el uso de las librerías dplyr y tidyr, como se muestra en el código de la Figura 42. El proceso inició con la función “pivot\_longer()”, la cual transforma los datos de formato ancho a formato largo, facilitando el análisis de múltiples variables. Luego se utilizó “mutate()” para crear o modificar columnas sin necesidad de agrupar previamente los datos. Posteriormente, se aplicó la función “group\_by()” para agrupar los datos por una o más columnas. Finalmente, se utilizó “summarise()” en conjunto con “mean()” para calcular la frecuencia promedio de muestreo de cada variable.

```

# Calcular la frecuencia de muestreo por variable
frecuencia_por_variable <- dfsoluto %>%
  pivot_longer(cols = c(VelocidadMotor, VelocidadCarretera, CombustibleUtilizado,
                        AceleracionFrontal, AceleracionLateral, AceleracionVertical, OdometroCrudo, Odometro,
                        DistanciaIncremental, TemperaturaRefrigerante, CambioPorAcelerometro, CombustibleViaje,
                        CombustibleViajeRalenti, CombustibleTotalRalenti, VehiculoActivo, CombustibleAcumuladoTrayecto,
                        CombustibleRalentiAcumulado, DistanciaConCombustibleAcumulado, DistanciaConCombustible,
                        FuenteDistanciaCombustible, AceleracionGPS, TemperaturaExterior, VelocidadMotorAltaResolucion,
                        Altitud, NivelCombustible, PositionValid, ConexionContinuaEstado),
               names_to = "Variable", values_to = "Valor") %>%
  filter(!is.na(Valor)) %>%
  group_by(Vehiculo, Variable) %>%
  mutate(DiffTime = as.numeric(difftime(Fecha, lag(Fecha), units = "secs"))) %>%
  summarise(FrecuenciaPromedio = 1 / mean(DiffTime, na.rm = TRUE), .groups = "drop")

```

**Figura 42.** Código para Frecuencia de Muestreo

(Autoría propia)

La frecuencia se define como la cantidad de ciclos completos que ocurren en un segundo, y su unidad de medida es el Hertz (Hz). Por otro lado, el período representa el tiempo que tarda en completarse un ciclo, y se mide en segundos (s). Ambas magnitudes son inversamente proporcionales, es decir que, a mayor frecuencia, menor periodo y viceversa. A partir de la Ecuación 3 correspondiente.

$$\text{Periodo } (T) = \frac{1}{\text{Frecuencia}} = \frac{1}{f} \text{ [s]} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde (T) es el periodo y (F) es la frecuencia, se calculó el periodo para cada una de las variables seleccionadas durante la primera fase del tratamiento de datos. Este análisis permitió estimar con mayor precisión el intervalo de tiempo entre registros y coherencia en la toma de datos por parte del dispositivo GO9 – GEOTAB.

### 3.6.2.3. Cálculo de Consumo de Combustible y Estimación de Emisiones de CO<sub>2</sub>

Para los cálculos necesarios, se seleccionaron las variables “Odómetro” y “CombustibleUtilizado”. El cálculo de la tasa de consumo se inició considerando la densidad de la gasolina Extra, utilizada en todos los vehículos. Dicha gasolina, de 80 octanos, tiene una densidad de 735.36 g/l. A partir de esta densidad y del volumen derivado de la variable “CombustibleUtilizado”, se aplicó la Ecuación 4, obteniéndose así el flujo de combustible instantáneo.

$$m_i = d \cdot V_i \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

$m_i$ : masa de gasolina instantanea (kg)

$d$  : densidad de la gasolina (kg/m<sup>3</sup>)

$V_i$ : volumen de la gasolina instantanea (m<sup>3</sup>)

### 3.6.2.4. Cálculo de Factores de Emisión y Consumo

Seguidamente, para calcular la tasa de emisiones de  $CO_2$ , se utilizó la Ecuación 5. En esta ecuación, el hidrocarburo  $C_xH_y$  reacciona en presencia de oxígeno y nitrógeno para formar dióxido de carbono. Además, se consideró la relación hidrógeno-carbono (H/C) del hidrocarburo empleado en esta investigación.

$$C_xH_y = \frac{kgCO_2}{kgCombustible} = \frac{44}{12 + \frac{y}{x}} \quad \text{Ecuación 5}$$

El resultado de la constante es multiplicado por la masa de combustible instantánea como se indica en la Ecuación 6.

$$m_{CO_2} = m_i \cdot C_xH_y \cdot 1000 \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

$m_{CO_2}$  = masa de  $CO_2$  instantánea (g)

$m_i$  = masa de gasolina instantánea (kg)

$C_xH_y$  = Gasolina Extra

Los factores de emisión se determinaron en función de la masa total de  $CO_2$  emitida en relación con la distancia total recorrida, tal como se observa en la Ecuación 7. A partir de este cálculo, se obtuvieron resultados expresados en gramos por kilómetro (g/km) para cada vehículo, considerando una semana completa de trabajo.

$$FE_{CO_2}^{Distancia} = \frac{gCO_2}{Distancia\ total\ recorrida} = \left[ \frac{g}{km} \right] \quad \text{Ecuación 7}$$

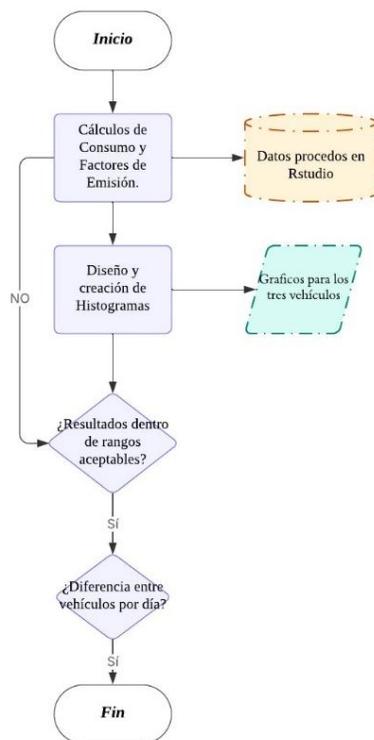
Y para finalizar con el procesamiento de datos, se calculó el factor de consumo de combustible total por kilómetro recorrido como se detalla en la Ecuación 8.

$$FC_{Consumo}^{Distancia} = \frac{masa\ total\ de\ combustible\ consumido}{Distancia\ total\ recorrida} = \left[ \frac{g}{km} \right] \quad \text{Ecuación 8}$$

### 3.6.3. Post-Procesamiento de Datos Dispositivo Telemático GO9-GEOTAB.

Para la última fase del tratamiento de datos, se realizaron histogramas utilizando la librería ggplot2, con el objetivo de visualizar la distribución de valores por variable y vehículo. Los histogramas son gráficos de barras que permiten identificar la frecuencia de los datos dentro de distintos rangos.

Este proceso se muestra en el diagrama de la Figura 43, donde se detallan las actividades realizadas. Se trabajó con las variables destinadas a los cálculos antes mencionados en la segunda fase del tratamiento de datos.



**Figura 43.** Diagrama del Post-procesamiento de datos

(Autoría propia)

Los histogramas se clasificaron de manera individual por vehículo y también de forma grupal para el análisis total de los tres vehículos en diferentes fechas como se muestra en la Figura 44. Además, se ejecutó la función “mutate()” para el porcentaje correspondiente de cada día, y las funciones “geom\_bar()” y “geom\_text()” para agrupar los tres vehículos y etiquetar sus porcentajes. De esta manera, los cálculos obtenidos permitieron comprender y analizar los resultados de una forma más clara. Con el paquete de ggplot2, se establecieron graficas de emisiones de  $CO_2$  en relación con la distancia (kg  $CO_2$ /km).

```

# Calcular el porcentaje de cada valor respecto al total semanal
resumen_datos_combustible <- resumen_datos_combustible %>%
  group_by(DiaSemana) %>%
  mutate(Porcentaje = (FECO2dist / sum(FECO2dist)) * 100) # % respecto al total de cada día

# Crear el gráfico de barras con etiquetas de porcentaje
grafico_FECO2dist <- ggplot(resumen_datos_combustible, aes(x = DiaSemana, y = FECO2dist, fill = Vehiculo)) +
  geom_bar(stat = "identity", position = "dodge") + # Barras agrupadas
  geom_text(aes(label = paste0(round(Porcentaje, 1), "%")), # Etiqueta con porcentaje
            position = position_dodge(width = 0.9), vjust = -0.5, size = 3.5) +
  labs(title = "Factor de Emisión de CO2 por Día y Vehículo",
       x = "Día de la Semana",
       y = "Factor de Emisión (gCO2/km)",
       fill = "Vehículo") +
  theme_minimal() +
  theme(axis.text.x = element_text(angle = 45, hjust = 1)) # Rotar etiquetas del eje X

# Mostrar el gráfico
print(grafico_FECO2dist)

```

**Figura 44.** Código de Clasificación Individual por Vehículo

(Autoría propia)

En la Figura 45, se muestra el script unificado con las gráficas de barras de los tres vehículos y la identificación de cada uno por color y etiquetado. Sin embargo, el análisis de datos se interpretó conociendo los factores que influyeron en la obtención de resultados; es decir, que pueden estar en rangos correctos permisibles o no, tomando en cuenta que el presente estudio se realizó en condiciones reales de operación.

```

plot.title = element_text(hjust = 0.5, size = 16, face = "bold"), # Centrar y formatear el título
axis.text.x = element_text(angle = 45, hjust = 1) # Rotar etiquetas del eje X para mejor legibilidad
)

# Guardar el dataframe final en un archivo Excel
write.xlsx(promedio_por_dia, "C:/Users/USER/Desktop/Pre-Procesamiento de datos - copia/promedioSolut.xlsx")
#####graficaescrita#####
library(ggplot2)
library(dplyr)

# Asegúrate de que los días de la semana estén en el orden correcto
datos <- promedio_por_dia %>%
  mutate(DiaSemana = factor(DiaSemana, levels = c("LUNES", "MARTES", "MIÉRCOLES", "JUEVES", "VIERNES", "SÁBADO", "DOMINGO")))

# Crear el gráfico de barras con etiquetas
ggplot(datos, aes(x = DiaSemana, y = Promedio_FECO2dist)) +
  geom_bar(stat = "identity", fill = "orange") + # Barras con valores específicos
  geom_text(aes(label = round(Promedio_FECO2dist, 2)), vjust = -0.5, color = "black", size = 4) + # Agregar etiquetas
  labs(
    title = "Emisiones de CO2/ Kia Soluta 2024",
    x = "Día de la Semana",
    y = "Emisiones de CO2 (g/km)",
    caption = "Fuente: Datos de combustible"
  ) +
  theme_minimal() + # Estilo minimalista
  theme(
    plot.title = element_text(hjust = 0.5, size = 16, face = "bold"), # Centrar y formatear el título
    axis.text.x = element_text(angle = 45, hjust = 1) # Rotar etiquetas del eje X para mejor legibilidad
  )

```

**Figura 45.** Ejecución de gráficos en Rstudio

(Autoría propia)

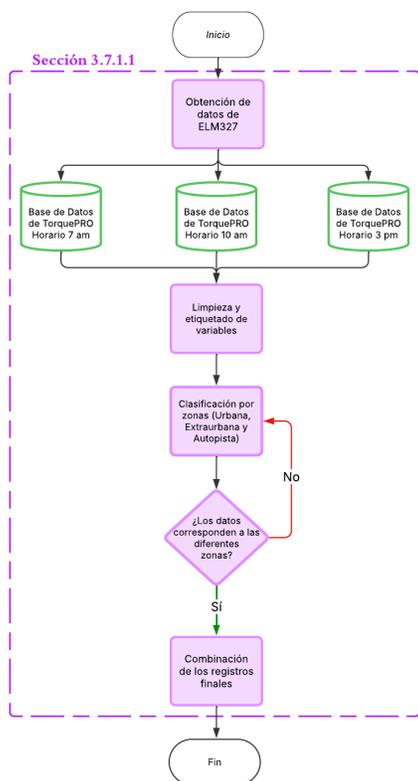
### 3.7. Procesamiento de Datos Interfaz ELM327.

De igual forma que el dispositivo GO9-Geotab, para la interfaz ELM 327, el procesamiento de datos se desarrolló en tres etapas. Siendo la primera el pre - procesamiento de datos, donde se importó, limpió y clasificó en zonas los diferentes datos obtenidos. En la segunda etapa se desarrolló el procesamiento de datos donde se lleva a cabo los diferentes cálculos necesarios para el cumplimiento del trabajo de investigación. Finalmente, en el post - procesamiento de datos se creó los gráficos de modos de operación y los diferentes mapas de variabilidad espacial. A

continuación, se detalla en cada sección los diferentes procesos desarrollados en cada etapa de procesamiento.

### 3.7.1. Pre - Procesamiento de Datos Interfaz ELM 327.

Para el desarrollo del pre - procesamiento de datos, se utilizó el software R mediante RStudio. A continuación, en la Figura 46, se presenta el diagrama de flujo de actividades correspondiente a esta etapa. En el diagrama, se muestra el único proceso llevado a cabo, el cual consistió en importar, limpiar y clasificar las diferentes zonas de la ruta planteada.



**Figura 46.** Diagrama de flujo del Pre - Procesamiento de datos

(Autoría propia)

#### 3.7.1.1. Limpieza y Clasificación de Datos

El primer paso realizado después de realizar la campaña experimental fue la importación de cada registro obtenidos desde la aplicación Torque Pro en formato CSV, en este caso siendo 3 registros realizados de los 3 diferentes horarios planteados. Posteriormente, se realizó la limpieza y etiquetado de las variables obtenidas como se muestra en la Tabla 13. Las librerías utilizadas como

Dplyr y Lubridate fueron indispensables para la manipulación de datos y el tratamiento de fechas y horas.

**Tabla 13.** *Variables Renombradas Interfaz ELM 327*

Variables de la Interfaz ELM 327	Renombrar Variables	Unidad de Medida
Longitude	Longitud	°
Latitude	Latitud	°
GPS Speed (meters/second)	Velocidad(m/s)	m/s
Fuel used (trip) (l)	CombustibleUsadoLitros	L
GPS Time	Tiempo	s

En la Figura 47, se presenta un extracto de las diferentes líneas de código realizadas para la limpieza y renombramiento de variables. Para la limpieza se seleccionó las variables indispensables para el desarrollo del trabajo de investigación, a continuación, se renombró las diferentes variables utilizando una nomenclatura tipo camello (no se utilizan espacios y cada inicio de palabra es con mayúscula). Seguido de esto, se utilizó la función “`parse_date_time()`” para poder transformar la variable de Tiempo en formato de tipo fecha y poder trabajar con la misma.

```
#Renombrar variables
df_7am <- df_7am %>%
  rename(
    Longitud = Longitude,
    Latitud = Latitude,
    CombustibleUsadoLitros = "Fuel used (trip)(l)",
    Tiempo = "GPS Time",
    "Velocidad(m/s)" = "GPS Speed (Meters/second)"
  )

# Limpieza de la zona horaria
df_7am$Tiempo <- gsub("GMT.*", "", df_7am$Tiempo)# Remueve"GMT-05:00"

# Eliminar espacios adicionales
df_7am$Tiempo <- trimws(df_7am$Tiempo)

# Agregar un año explícito a las fechas
df_7am$Tiempo <- paste(df_7am$Tiempo, "2024")

#datos transformados
df_7am <- df_7am %>%
  mutate(Tiempo = parse_date_time(Tiempo, orders = "abdhMSY", locale = "en"))
```

**Figura 47.** *Extracto de código de limpieza y renombramiento de variables*

(Autoría propia)

Para la clasificación por zonas, se importó cada registro de los tres diferentes horarios planteados y se procedió a realizar manualmente la clasificación para cada una. Utilizando la función “`slice()`”, se seleccionaron las filas correspondientes a cada zona, es decir, se filtraron las filas que contenían los datos de zona urbana, extraurbana y autopista. Posteriormente, se procedió a combinar los registros por medio de la función “`bind_rows()`”. En la Figura 48, se presenta un extracto del código para la clasificación por zonas.

```

#### Ruta 7am #####
df_7am <- read_csv("C:/Users/paula/OneDrive/Escritorio/Metodología/ELM 327/7 am/Codigor/df_modos_7am.csv")
#filtrar solo ruta urbana
df_urbano_7am <- df_7am %>% slice(1:1559)
df_urbano_7am <- df_urbano_7am %>%
  mutate(Zona = "Urbano")

#filtrar solo ruta extraurbana
df_extraurbano_7am <- df_7am %>% slice(1676:2018)
df_extraurbano_7am <- df_extraurbano_7am %>%
  mutate(Zona = "Extraurbano")

#filtrar solo ruta autopista
df_autopista_7am <- df_7am %>% slice(2187:2489)
df_autopista_7am <- df_autopista_7am %>%
  mutate(Zona = "Autopista")

#### Ruta 10 am #####
df_10am <- read_csv("C:/Users/paula/OneDrive/Escritorio/Metodología/ELM 327/10 am/Codigor/df_modos_10am.csv")
#filtrar solo ruta urbana
df_urbano_10am <- df_10am %>% slice(1:1231)
df_urbano_10am <- df_urbano_10am %>%
  mutate(Zona = "Urbano")

#filtrar solo ruta extraurbana
df_extraurbano_10am <- df_10am %>% slice(1356:1663)
df_extraurbano_10am <- df_extraurbano_10am %>%
  mutate(Zona = "Extraurbano")

#filtrar solo ruta autopista
df_autopista_10am <- df_10am %>% slice(1801:2102)
df_autopista_10am <- df_autopista_10am %>%
  mutate(Zona = "Autopista")

##### Ruta 3pm #####
df_3pm <- read_csv("C:/Users/paula/OneDrive/Escritorio/Metodología/ELM 327/3 pm/Codigor/df_modos_3pm.csv")
#filtrar solo ruta urbana
df_urbano_3pm <- df_3pm %>% slice(1:1707)
df_urbano_3pm <- df_urbano_3pm %>%
  mutate(Zona = "Urbano")

#filtrar solo ruta extraurbana
df_extraurbano_3pm <- df_3pm %>% slice(1771:2071)
df_extraurbano_3pm <- df_extraurbano_3pm %>%
  mutate(Zona = "Extraurbano")

#filtrar solo ruta autopista
df_autopista_3pm <- df_3pm %>% slice(2211:2524)
df_autopista_3pm <- df_autopista_3pm %>%
  mutate(Zona = "Autopista")

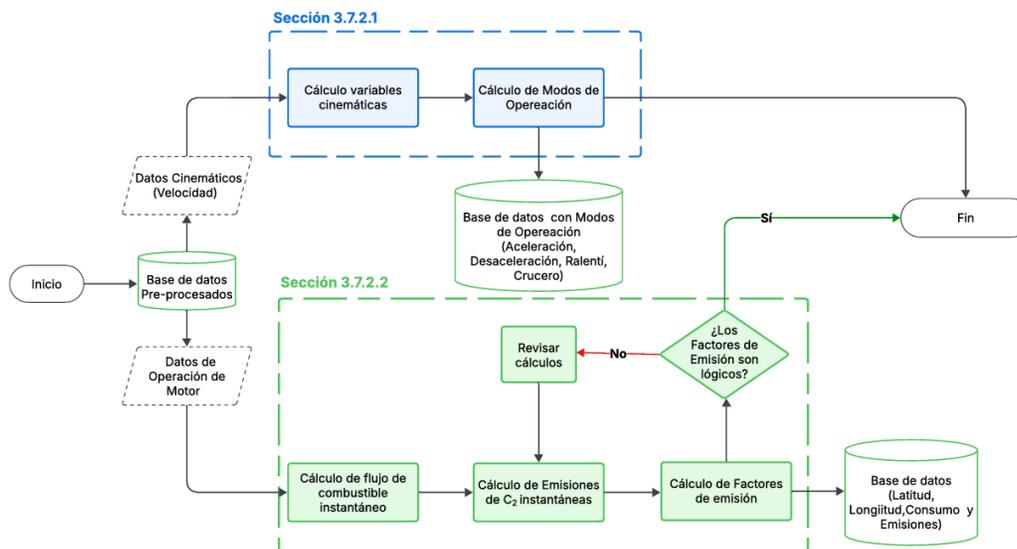
```

**Figura 48.** Extracto de código de clasificación por zonas

(Autoría propia)

### 3.7.2. Procesamiento de Datos Interfaz ELM 327.

En el procesamiento de datos, se desarrolló el cálculo de variables adicionales. Como se muestra en la Figura 49, correspondiente al diagrama de flujo del procesamiento de datos, se obtuvieron dos procesos principales: el primero fue el desarrollo de cálculos cinemáticos y modos de operación, y el segundo fue el cálculo de consumo de combustible y emisiones. A continuación, se describe con detalle el desarrollo de cada proceso.



**Figura 49.** Diagrama de flujo del Procesamiento de datos

(Autoría propia)

### 3.7.2.1. Cálculo de Variables Cinemáticas y Modos de Operación.

Debido a que solo se disponía de la variable de velocidad instantánea, fue necesario calcular la aceleración instantánea para aplicar los criterios de la Tabla 3, los cuales corresponden a la metodología para definir los modos de operación descritos en un apartado anterior. Para ello, se utilizó la Ecuación 8, la cual permitió obtener esta variable adicional.

$$Aceleración_{inst} = \frac{\Delta Velocidad}{\Delta Tiempo} \quad \text{Ecuación 8}$$

El extracto de código para la clasificación de los modos de operación mostrado en la Figura 50, describe cómo mediante el uso de la función “case\_when()”, RStudio divide los diferentes modos según las condiciones previamente asignadas. Esta función permitió categorizar de manera eficiente los datos en función de los criterios establecidos, facilitando así el análisis posterior de los modos de operación del vehículo.

```

#MODOS DE OPERACION
modos_unificados <- modos_unificados %>%
  mutate(
    Aceleracion = round(Aceleracion, 2),
    ModoOperacion = case_when(
      # Ralenti
      `Velocidad(km/h)` <= 2 & Aceleracion == 0 ~ "Ralenti",

      # Crucero
      `Velocidad(km/h)` > 2 & Aceleracion > -0.1 & Aceleracion < 0.1 ~ "Crucero",

      # Aceleración
      `Velocidad(km/h)` > 2 & Aceleracion >= 0.1 ~ "Aceleración",

      # Desaceleración
      `Velocidad(km/h)` > 2 & Aceleracion <= 0.1 ~ "Desaceleración",

      # Otro (por si no cumple ninguna condición)
      TRUE ~ "Sin clasificar"
    )
  )

```

**Figura 50.** Extracto de código para la clasificación de los modos de operación

(Autoría propia)

### 3.7.2.2. Cálculo de Tasa de Combustible Instantáneo y Estimación de Emisiones de $CO_2$ .

En este procedimiento, fue fundamental calcular el consumo de combustible instantáneo, ya que los datos registrados por Torque PRO correspondían al consumo acumulado. Para cumplir con el objetivo planteado, era necesario obtener esta variable de forma instantánea. La Figura 51 muestra el código utilizado para calcularla. Además, se realizó una conversión de unidades de litros a metros cúbicos.

```

#combustible utilizado instantáneo
dfPrincipal <- dfPrincipal %>%
  mutate(CombustibleInstantáneo = CombustibleUsadoLitros - lag(CombustibleUsadoLitros))

#transformar de litros a m3
dfPrincipal <- dfPrincipal %>%
  mutate(CombustibleUsadoM3 = CombustibleUsadoLitros/1000)

```

**Figura 51.** Extracto de código Combustible Instantáneo

(Autoría propia)

Posteriormente, para la estimación de la tasa de emisiones de  $CO_2$ , se aplicaron los mismos métodos utilizados previamente con el dispositivo GO9-GEOTAB, descritos en la sección 3.6.2.2. Finalmente, con el fin de simplificar el proceso posterior para el desarrollo del análisis espacial de las emisiones, se seleccionaron las columnas correspondientes a las variables de Latitud, Longitud y Emisiones de  $CO_2$ . La figura 52 presenta un extracto del código del cálculo de masa de  $CO_2$ .

```

#####Calculo de CO2#####
##Datos
#Densidad Combustible (kg/m3)
DensidadCombustible <- 720

##Masa de combustible##
dfPrincipal <- dfPrincipal %>%
  mutate(MasaCombustibleKg = CombustibleUsadoM3 * DensidadCombustible )

#Constante de kgCO2/kgCombustible
Constante <- 44/(12+(18/8))

#KgCO2
dfPrincipal <- dfPrincipal %>%
  mutate(KgCO2 = (MasaCombustibleKg * Constante) / 1)

#gCO2
dfPrincipal <- dfPrincipal %>%
  mutate(gCO2 = KgCO2*1000)

#CO2 cada segundo
dfPrincipal <- dfPrincipal %>%
  mutate(gCO2CadaSegundo = gCO2 - lag(gCO2))

#####datos para raster#####
df_ruta <- select(dfPrincipal, "Longitud", "Latitud", "gCO2CadaSegundo")

write_csv(df_ruta, "C:/Users/paula/OneDrive/Escritorio/Metodologia/ELM 327/7 am/CodigoR/df_ruta_7am.csv")

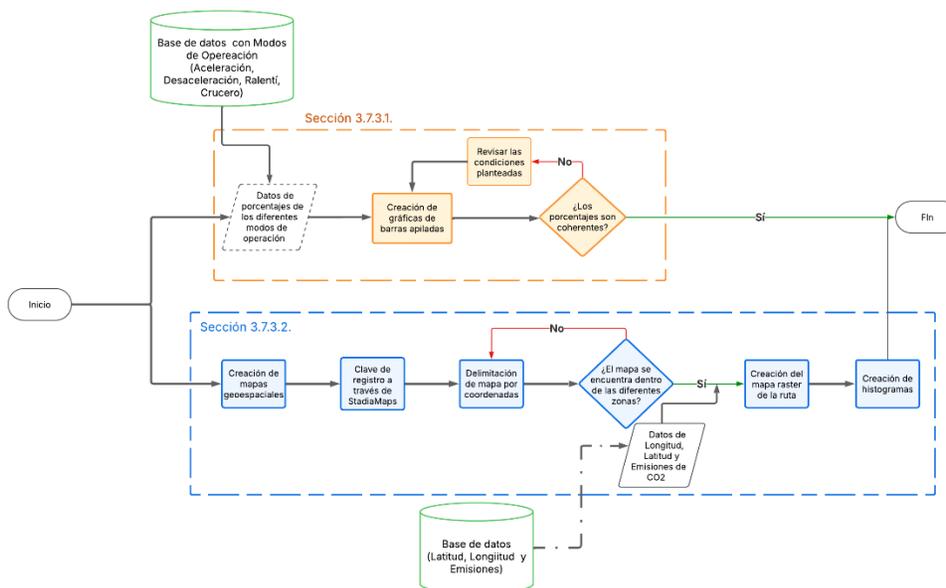
```

**Figura 52.** Extracto de Código para el Cálculo de Masa de CO<sub>2</sub>

(Autoría Propia)

### 3.7.3. Post - Procesamiento de Datos Interfaz ELM 327.

En la etapa final, se desarrolló los diferentes gráficos que se analizarán en el capítulo de resultados. Como se muestra la Figura 53, en el diagrama de flujo del de post - procesamiento de datos, principalmente se llevó a cabo dos procesos: el primero donde se obtuvo las gráficas de los modos de operación y el segundo proceso fue la realización de los mapas geoespaciales.



**Figura 53.** Diagrama de flujo del Post - Procesamiento de datos

(Autoría propia)

### 3.7.3.1. Gráficos de Modos de Operación

Para el desarrollo de los gráficos de modos de operación, fue necesario clasificar los diferentes modos (aceleración, desaceleración, cruce y ralentí) en las distintas zonas de la ruta (urbana, extraurbana y autopista). Posteriormente, utilizando RStudio y el paquete ggplot2, se elaboró un gráfico de barras apiladas que representa los porcentajes de los modos de operación para cada zona, empleando una escala de colores apropiada. De este modo, poder visualizar de manera clara la distribución de los modos de operación en las diferentes zonas de la ruta. La Figura 54 presenta el código para creación de gráficos de Modos de Operación.

```
# Crear el gráfico de barras con posición "apiladas"
ggplot(resultados_filtrados, aes(x = Hora, y = Porcentaje, fill = ModoOperacion)) +
  geom_bar(stat = "identity", position = "fill") + # Barras apiladas
  facet_grid(~ Zona, switch = "x") + # Separar por Zona en columnas
  geom_text(aes(label = percent(Porcentaje/100)), # Agregar el valor de Porcentaje como texto
            position = position_fill(vjust = 0.5), # Centrar el texto en cada segmento
            size = 4, # Tamaño del texto
            color = "black") + # Color del texto
  scale_fill_manual(values = colores) + # Aplicar colores personalizados
  scale_y_continuous(labels = percent) +
  labs(
    x = "",
    y = "Porcentaje de Conducción",
    fill = "Modo de Operación"
  ) +
  theme_minimal() +
  theme(
    legend.position = "bottom", # Mover la leyenda a la parte inferior
    strip.placement = "outside", # Mover las etiquetas de Zona fuera del gráfico
    strip.text.x = element_text(size = 12, face = "bold", vjust = 1), # Formato de texto para Zona
    strip.background = element_blank() # Fondo transparente para los títulos de Zona
  )
```

**Figura 54.** Extracto de código para creación de gráficos de Modos de Operación

(Autoría propia)

### 3.7.3.2. Gráficos de Mapas Geoespaciales.

La metodología empleada se basó en el uso de datos ráster, los cuales permiten representar de manera espacio - temporal las variaciones de las emisiones de  $CO_2$  analizadas. Este enfoque facilita la división del área de estudio (un mapa en este caso), en cuadrículas o grids de igual tamaño, definidas según intervalos de latitud y longitud. Además, permite ubicar de manera acumulada los valores de la variable estudiada, asignando cada valor a su posición correspondiente mediante coordenadas.

Principalmente para la visualización de las distribuciones geoespaciales de  $CO_2$  en diferentes condiciones de tráfico, se llevó a cabo cuatro pasos esenciales: la obtención del mapa de la ciudad, el cálculo de los valores acumulados de consumo de combustible y emisiones, la visualización del mapa de concentraciones de consumo y emisiones y, por último, la extracción de la información generada en los mapas geoespaciales. Para ello, se utilizó los paquetes ggplot y ggmap (Kahle & Wickham, 2013) en RStudio. A continuación, se detalla a profundidad los diferentes pasos realizados.

El primer paso consistió en obtener el mapa de la zona de estudio, lo cual se logró mediante los servidores de Stadia Maps. Para ello, se generó un código tipo llave que permitió acceder al mapa sin costo alguno. Una vez ingresada la llave, se utilizó la función “get\_stadiamap()” para delimitar los márgenes requeridos en las diferentes zonas de trabajo. Esto se realizó especificando las coordenadas de latitud y longitud de los extremos inferior izquierdo y superior derecho, lo que permitió definir la capa de imagen a obtener. En la Figura 55, se presenta el código empleado para obtener el mapa de las diferentes zonas a través de Stadia Maps.

```
# Registrar la clave de Stadia
register_stadiamaps(key = "17b00695-91b0-4eac-bed6-3e655324af71", write = FALSE)

# Obtener el mapa de Ibarra (Ejemplo Zona Urbana)
ibarra_map <- get_stadiamap(
  bbox = c(left = -78.138132, bottom = 0.329836,
           right = -78.108147, top = 0.362976),
  maptype = "outdoors",
  zoom = 14
)
```

**Figura 55.** Extracto de código para obtener el mapa de las diferentes zonas

(Autoría propia)

Para delimitar las diferentes zonas dentro de los márgenes requeridos, se utilizaron las coordenadas presentadas en la Tabla 13, las cuales sirvieron como base para el desarrollo de los mapas correspondientes. La metodología empleada consistió en observar y analizar los límites de cada zona a través de Google Maps, lo que permitió seleccionar coordenadas que abarcaran adecuadamente los límites de las zonas urbanas, extraurbanas y de autopista.

**Tabla 14.** Coordenadas para Graficar.

Zona	Límite izquierdo.	Limite parte inferior.	Límite derecho.	Límite parte superior.
Urbana	-78.138132	0.329836	-78.108147	0.362976
Extraurbana	-78.158389	0.335226	-78.117109	0.381679
Autopista	-78.134805	0.383794	-78.100888	0.461157

(Autoría propia)

En el segundo paso, se calculó los valores de consumo de combustible y las emisiones de  $CO_2$  acumuladas, utilizando la base de datos procesada con las variables Latitud, Longitud, Consumo de Combustible y Emisiones de  $CO_2$  instantáneas. Para ello, se utilizó la función “stat\_summary\_2d()”, que permite resumir datos estadísticos a través de operaciones algebraicas. Esta función calculó los diferentes valores acumulados de las dos variables en áreas de concentración de 40m x 40m, es decir, cada grid corresponde a un área de 160 m<sup>2</sup>, donde el total de emisiones acumuladas (EA), se representa mediante la Ecuación 9.

$$EA_{CO_2}^{GRIDS} = \sum_{t=1}^{T_i} TE$$

**Ecuación 9**

Donde:

$TE$  = Tasa de Emisiones instantáneas (g/s)

$T_i$  = Tiempo Total en (s).

Como tercer paso, los datos acumulados obtenidos de consumo y emisiones de  $CO_2$  se asignaron a los diferentes puntos (Latitud y Longitud) correspondientes a la ruta establecida. Se utilizó una escala progresiva de color para representar los resultados, de modo que, dependiendo de la intensidad del color, se pueda identificar visualmente las zonas con mayor concentración de consumo y emisiones. En la Figura 56 se presenta el extracto de código para la representación raster de las emisiones de  $CO_2$ .

```
### Importar los datos de la ruta URBANA 7 AM ####
df_rutaA <- read_csv("C:/Users/paula/OneDrive/Escritorio/Metodología/ELM 327/7 am/CodigoR/df_ruta_urbana_7am.csv")

# Graficar el mapa y superponer los puntos de emisiones de CO2 a lo largo de la ruta
factor_dist <- 10
a <- ggmap(ibarra_map)+
  stat_summary_2d(
    data = df_rutaA,
    aes(x = Longitud, y = Latitud, z = gCO2CadaSegundo),
    fun = "sum",
    binwidth = c(0.000048 * factor_dist, 0.000036 * factor_dist)
  ) +
  scale_fill_stepsn(
    colors = c("#0baed6", "#08306b", "black"),
    breaks = c(7,14,21,35)
  ) +
  theme_bw() +
  labs(x = "", y = "", fill = expression('CO'[2] * ' [g]'))+
  labs(title = "Ruta 7 am")+
  theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5))
```

**Figura 56.** Extracto de código para representación ráster de emisiones de  $CO_2$

(Autoría propia)

Y como último paso, se muestra en la Figura 57, el código para la extracción de los datos obtenidos de las gráficas generadas. Para ello, se empleó la función “ggplot\_build()”, la cual permitió extraer información interna del objeto gráfico creado y así, estos datos fueron convertidos en un data.frame, del cual se seleccionaron las variables “x”, “y” y “value”, que representan la longitud, latitud y los valores de “gCO<sub>2</sub>\_grid”, respectivamente. Esto se lo realizó con el fin de poder generar un histograma utilizando la función “ggplot()”, para poder analizar los resultados obtenidos.

```

#Extracción de datos numéricos de statsummary
grid_CO2 <- ggplot_build(a)$data[[1]]
grid_CO2 <-select(grid_CO2,c(x,y,value))
grid_CO2 <-rename(grid_CO2,Longitude=x,Latitude=y,CO2_grid=value)

#graficar histograma
grid_CO2 <- grid_CO2 %>%
  filter(CO2_grid != 0)

# Graficar el histograma
A <- ggplot(freq_data1, aes(x = CO2_interval, y = count)) +
  geom_bar(stat = "identity", fill = "skyblue") +
  geom_text(aes(label = count), vjust = -0.5, color = "black", size = 2.5) +
  labs(
    title = "Ruta 7am",
    x = "CO2 acumulado por Grid",
    y = "Cantidad de Grids"
  ) +
  theme_minimal()+
  theme(
    plot.title = element_text(hjust = 0.5)
  )
print(A)

```

**Figura 57.** Código para Extracción de Datos de statsummary.

(Autoría propia)

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de las campañas experimentales realizadas con el Dispositivo Telemático y la Interfaz ELM 327 en vehículos tipo taxi de la ciudad de Ibarra. En primer lugar, con el Dispositivo Telemático GO9 GEOTAB, se realizó un análisis de los registros obtenidos en los tres vehículos. Seguidamente, se presenta un resumen estadístico de los datos obtenidos de las variables de motor y cinemáticas. Asimismo, se realizó el análisis de los factores de consumo de combustible y emisión de  $CO_2$  de los tres vehículos en función de la distancia recorrida. Luego, con la Interfaz ELM 327, se realizó un análisis de la cinemática del cuarto vehículo, además de los resultados obtenidos de los modos de operación. Finalmente, se presentó el mapeo de las concentraciones del consumo de combustible y las emisiones de  $CO_2$  en diferentes zonas.

#### **4.1. Análisis Registro de Datos del Dispositivo Telemático GO9-GEOTAB.**

En la primera campaña experimental, se utiliza el Dispositivo Telemático GO9 GEOTAB junto con la plataforma MyGeotab. Se emplearon tres vehículos cuyas especificaciones técnicas se detallan en la Sección 3.3.2. Al realizar la recopilación de datos se identifican diferencias significativas en la cantidad de variables obtenidas entre los distintos vehículos. La plataforma MyGeotab tiene una capacidad de almacenamiento aproximadamente de 249 variables relacionadas con parámetros de operación del motor y del vehículo, además de 685 variables correspondientes a códigos de falla.

Estas variables se aplican a vehículos híbridos, eléctricos, a gas natural, diésel y gasolina; sin embargo, su disponibilidad depende del modelo y año de fabricación del vehículo. A continuación, se presenta un análisis de la cantidad de variables y la frecuencia de muestreo correspondiente para cada vehículo.

##### **4.1.1. Análisis Vehículo A: Hyundai Accent.**

El primer análisis corresponde al vehículo Hyundai Accent, modelo 2014, con una cilindrada de 1600 c.c. En la plataforma MyGeotab se registraron aproximadamente 70 variables relacionadas con parámetros de operación del motor y del vehículo, las cuales son exportadas en formato “xlsx” o “csv” en el software de Rstudio.

De la totalidad de las variables obtenidas, 50 variables están relacionadas con el estado operativo tanto del vehículo como del dispositivo, con valores binarios (0 y 1) donde muestran su actividad o inactividad. Sin embargo, únicamente 20 contaban con unidades de medida definidas. Es importante señalar que la frecuencia de muestreo de las variables no fue segundo a segundo. La frecuencia específica para cada variable se detalla en la Tabla 15.

**Tabla 15.** *Frecuencia de Muestreo Vehículo A: Hyundai Acent.*

Variable	Unidad de Medida	Vehículo A	
		Muestreo	
		Frecuencia (Hz)	Periodo (s)
Velocidad del Motor	Revoluciones por Minuto (rpm)	0.0434	23.03
Velocidad en Carretera	kilómetros / hora (km/h)	0.0546	18.30
Combustible Utilizado	Litros (L)	0.0193	51.72
Aceleración Frontal	G Force	0.0184	54.39
Aceleración Lateral	G Force	0.0183	54.74
Aceleración Vertical	G Force	0.0211	47.38
Odómetro Crudo	Kilómetros (km)	0.0027	368.46
Odómetro	Kilómetros (km)	0.0027	368.46
Distancia Incremental	Kilómetros (km)	0.0017	586.16
Temperatura del Refrigerante	Grados centígrados (°C)	0.0010	1000.80
Cambio por Acelerómetro	-	0.0017	602.37
Combustible Viaje	Litros (L)	0.0004	2659.68
Combustible de Viaje en Ralentí	Litros (L)	0.0003	3081.16
Combustible Total en Ralentí	Litros (L)	0.0010	1022.60
Vehículo Activo	-	0.0009	1156.71
Combustible Acumulado Trayecto	Litros (L)	0.0009	1140.35
Combustible en Ralentí Acumulado	Litros (L)	0.0007	1538.07
Distancia con Combustible Acumulado	Kilómetros (km)	0.0011	895.99
Distancia con Combustible	Kilómetros (km)	0.0004	2659.68
Fuente Distancia con Combustible	Kilómetros (km)	0.0004	2659.68
Aceleración GPS	G Force	0.0002	4304.45
Temperatura Exterior	Grados centígrados (°C)	0.0001	8963.18
Conexión Continua	-	0.0004	2310.87

(Autoría propia)

La Tabla 15 detalla la frecuencia y el periodo de muestreo de 23 variables seleccionadas del vehículo A. Entre las variables analizadas, “Velocidad en Carretera” fue la que indicó mayor

frecuencia de muestreo, con 0.0546 Hz, lo que significa que se registró datos aproximadamente cada 18.30 segundos. En cambio, la variable “Temperatura Exterior” presento la frecuencia más baja, con 0.0001 Hz, equivalente a un registro aproximado cada 2.5 horas. Esta diferencia presenta una limitación al momento de realizar análisis más detallados o segundo a segundo.

#### 4.1.2. Análisis Vehículo B: Kia Soluto.

El segundo análisis corresponde al vehículo Kia Soluto, modelo 2024, con una cilindrada de 1400 cc. Para este vehículo, la plataforma MyGeotab registra un total aproximado de 74 variables, correspondientes a parámetros de operación del motor y del vehículo. Al igual que el análisis anterior, la información fue exportada en formatos “xlsx” o “csv” para su posterior procesamiento. De las variables obtenidas, al igual que en el caso anterior, 50 variables están relacionadas con el estado operativo tanto del vehículo como del dispositivo, con valores binarios (0 y 1) donde muestran su actividad o inactividad. Sin embargo, únicamente 20 contaban con unidades de medida definidas. La frecuencia de muestreo de cada variable se presenta en la Tabla 16.

**Tabla 16.** *Frecuencia de Muestreo Vehículo B: Kia Soluto.*

Variable	Unidad de Medida	Vehículo B	
		Muestreo	
		Frecuencia (Hz)	Periodo (s)
<b>Velocidad del Motor</b>	Revoluciones por Minuto (rpm)	0.0499	20.03
<b>Velocidad en Carretera</b>	kilómetros / hora (km/h)	0.0554	18.04
<b>Combustible Utilizado</b>	Litros (L)	0.0233	42.84
<b>Aceleración Frontal</b>	G Force	0.0269	37.23
<b>Aceleración Lateral</b>	G Force	0.0245	40.82
<b>Aceleración Vertical</b>	G Force	0.0286	35.01
<b>Odómetro Crudo</b>	Kilómetros (km)	0.0029	340.55
<b>Odómetro</b>	Kilómetros (km)	0.0029	340.55
<b>Distancia Incremental</b>	Kilómetros (km)	0.0017	599.92
<b>Temperatura del Refrigerante</b>	Grados centígrados (°C)	0.0007	1433.70
<b>Cambio por Acelerómetro</b>	-	0.0010	969.69
<b>Combustible de Viaje</b>	Litros (L)	0.0003	3791.26
<b>Combustible de Viaje en Ralentí</b>	Litros (L)	0.0003	3791.26
<b>Combustible Total en Ralentí</b>	Litros (L)	0.0009	1106.13
<b>Vehículo Activo</b>	-	0.0005	1881.49
<b>Combustible Acumulado Trayecto</b>	Litros (L)	0.0008	1275.53

(Continúa)

<b>Combustible en Ralentí Acumulado</b>	Litros (L)	0.0007	1371.27
<b>Distancia con Combustible Acumulado</b>	Kilómetros (km)	0.0010	1009.51
<b>Distancia con Combustible</b>	Kilómetros (km)	0.0003	3791.26
<b>Fuente Distancia con Combustible</b>	Kilómetros (km)	0.0003	3791.26
<b>Aceleración GPS</b>	G Force	0.0002	4263.05
<b>Temperatura Exterior</b>	Grados centígrados (°C)	0.0002	4637.14
<b>Posición Valid</b>	-	0.0000	108648.33
<b>Velocidad del Motor a Alta Resolución</b>	Revoluciones por Minuto (rpm)	0.4160	2.40
<b>Altitud</b>	Metros (m)	0.0065	154.17
<b>Nivel de Combustible</b>	Litros (L)	0.0005	1835.09
<b>Conexión Continua</b>	-	0.0003	3791.26

(Autoría propia)

La Tabla 16 muestra la frecuencia y el periodo de muestreo de 27 variables seleccionadas para el vehículo B. La variable con mayor frecuencia de registro fue “Velocidad del Motor en Alta Resolución”, con un valor de 0.4160Hz, equivalente a un muestreo aproximadamente cada 2.40 segundos. Por otro lado, la variable “Position Valid” registró la frecuencia más baja con un valor cercano a 0.0000 Hz, equivalente a un registro aproximadamente cada 30.18 horas, lo cual limita considerablemente su utilidad. Cabe mencionar que, debido a esta baja frecuencia y a su escasa relevancia para los objetivos planteados, dicha variable no fue considerada en el análisis del presente estudio.

#### 4.1.3. Análisis Vehículo C: Kia Rio.

Finalmente, el tercer análisis corresponde al vehículo Kia Rio, modelo 2017, con una cilindrada de 1400 cc. En este vehículo se identificaron en la plataforma MyGeotab, aproximadamente 74 variables relacionados con parámetros de operación del motor y del vehículo, al igual que el caso anterior. Tras exportar los datos en formato “xlsx” o “csv”, se determinó que 48 variables presentaban valores nulos, únicamente 22 tenían unidades de medida definidas, mientras que las 4 variables restantes, al igual que en los dos casos anteriores, están asociadas al estado operativo del vehículo y del dispositivo, indicando su actividad o inactividad durante el registro de datos. Es importante destacar que, al igual que en los anteriores casos, la frecuencia de muestreo no fue registrada segundo a segundo, lo que limita el análisis temporal de los datos. La frecuencia de muestreo se detalla en la Tabla 17.

**Tabla 17. Frecuencia de Muestreo Vehículo C: Kia Rio.**

Variable	Unidad de Medida	Vehículo C	
		Muestreo	
		Frecuencia (Hz)	Periodo (s)
Velocidad del Motor	Revoluciones por Minuto (rpm)	0.0544	18.38
Velocidad en Carretera	kilómetros / hora (km/h)	0.0561	17.81
Combustible Utilizado	Litros (L)	0.0182	54.91
Aceleración Frontal	G Force	0.0296	33.74
Aceleración Lateral	G Force	0.0280	35.69
Aceleración Vertical	G Force	0.0336	29.77
Odómetro Crudo	Kilómetros (km)	0.0022	459.57
Odómetro	Kilómetros (km)	0.0022	459.57
Distancia Incremental	Kilómetros (km)	0.0012	865.48
Temperatura del Refrigerante	Grados centígrados (°C)	0.0004	2426.29
Cambio por Acelerómetro	-	0.0018	552.91
Combustible Viaje	Litros (L)	0.0001	11557.08
Combustible Viaje en Ralentí	Litros (L)	0.0001	11557.08
Combustible Total en Ralentí	Litros (L)	0.0002	4060.61
Vehículo Activo	-	0.0003	3992.55
Combustible Acumulado Trayecto	Litros (L)	0.0002	4484.85
Combustible en Ralentí Acumulado	Litros (L)	0.0002	5513.49
Distancia con Combustible Acumulado	Kilómetros (km)	0.0004	2225.81
Distancia con Combustible	Kilómetros (km)	0.0001	11557.08
Fuente Distancia con Combustible	Kilómetros (km)	0.0001	11557.08
Aceleración GPS	G Force	0.0001	14308.76
Temperatura Exterior	Grados centígrados (°C)	0.0001	19439.21
Position Valid	-	0.0001	15312.40
Velocidad del Motor a Alta Resolución	Revoluciones por Minuto (rpm)	0.4645	2.15
Altitud	Metros (m)	0.0067	149.66
Conexión Continua	-	0.0001	11557.06

(Autoría propia)

La Tabla 17 presenta la frecuencia y el periodo de muestreo de 26 variables seleccionadas para el vehículo C. La variable que presentó mayor frecuencia de muestreo fue “Velocidad del Motor a Alta Resolución”, con un valor de 0.4645 Hz, lo que equivale a un registro aproximadamente cada 2.15 segundos. Por último, la variable “Temperatura Exterior” mostro una frecuencia más baja,

alrededor de 0.0001 Hz, lo cual presenta un registro aproximadamente cada 5.4 horas. Esta baja tasa de muestreo puede estar relacionada con la compatibilidad entre el dispositivo, el sistema electrónico del vehículo y factores como el modelo, el año de fabricación entre otros para estos tres casos de estudio.

#### 4.2. Análisis Operación del Motor con el Dispositivo Telemático GO9-GEOTAB.

En la presente sección se analiza el comportamiento operativo del motor de los tres vehículos evaluados mediante variables relacionadas con el consumo de combustible, temperatura y la velocidad del motor. Para cada vehículo se analizaron valores promedios, máximos y mínimos de las variables detalladas en la Tabla 18.

**Tabla 18.** Resultados Operación del Motor de los Vehículos.

Vehículo	Variable	Unidad de Medida	Promedio	Valor Max	Valor Min
<b>Vehículo A</b> <b>Hyundai</b> <b>Accent</b>	<b>Combustible Utilizado</b>	Litros (L)	76.78	121.42	27.25
	<b>Temperatura del Refrigerante</b>	Grados centígrados (°C)	86.80	101.00	17.00
	<b>Velocidad del Motor</b>	Revoluciones por minuto (rpm)	1798.84	4388.50	518.75
	<b>Temperatura Exterior</b>	Grados centígrados (°C)	21.56	28.00	11.00
<b>Vehículo B</b> <b>Kia Soluto</b>	<b>Combustible Utilizado</b>	Litros (L)	250.74	394.55	122.82
	<b>Temperatura del Refrigerante</b>	Grados centígrados (°C)	84.08	98.00	15.00
	<b>Velocidad del Motor a Alta Resolución</b>	Revoluciones por Minuto (rpm)	1613.00	4743.00	505.00
	<b>Temperatura Exterior</b>	Grados centígrados (°C)	16.00	25.00	5.00
<b>Vehículo C</b> <b>Kia Rio</b>	<b>Nivel de Combustible</b>	Litros (L)	15.53	34.50	4.00
	<b>Combustible Utilizado</b>	Litros (L)	64.51	120.10	22.00
	<b>Temperatura del Refrigerante</b>	Grados centígrados (°C)	84.62	96.00	21.00
	<b>Velocidad del Motor a Alta Resolución</b>	Revoluciones por Minuto (rpm)	2129.41	5425.80	504.25
	<b>Temperatura Exterior</b>	Grados centígrados (°C)	23.21	28.00	17.00

(Autoría propia)

En la Tabla 18 se puede destacar que en el vehículo B registro el mayor consumo de combustible, alcanzando un valor máximo de 394.55 L, lo que puede explicarse por varios factores como mayor carga operativa, rutas más extensas, o un patrón de conducción más exigente. En cambio, el vehículo C, también evaluado durante una semana operativa presentó un consumo máximo de 120.1 L, lo cual podría reflejar en trayectos más cortos y menor exigencia del motor.

La temperatura del refrigerante se encuentra dentro de rangos operativos normales en los tres vehículos, con promedios aproximados entre 86.80 °C y 84.62 °C. Sin embargo, se registraron temperaturas mínimas de 15°C en el vehículo B y 17 °C en el vehículo A, las cuales podrían deberse a condiciones de arranque en frío o posiblemente al inicio de los trayectos registrados.

#### 4.3. Análisis Cinemática del Vehículo con el Dispositivo Telemático GO9-GEOTAB.

En esta sección se analizó las variables cinemáticas de los tres vehículos evaluados, con el fin de caracterizar su comportamiento dinámico bajo condiciones reales de operación. Se consideraron parámetros clave como "Velocidad en Carretera", "Aceleración" en los tres ejes frontal, lateral y vertical, "aceleración GPS", "Altitud" y "odómetro". El estudio de estas variables es fundamental para entender como interactúan el conductor, el vehículo y el entorno, permitiendo identificar patrones de uso. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada vehículo en la Tabla 19, incluyendo promedios, valores máximos y mínimos registrados a lo largo de una semana operativa.

**Tabla 19.** Resultados Cinemáticos de los Vehículos.

Vehículo	Variable	Unidad de Medida	Promedio	Valor Max	Valor Min
<b>Vehículo A</b> <b>Hyundai Accent.</b>	<b>Velocidad en Carretera</b>	kilómetros / hora (km/h)	21.41	102.00	1.00
	<b>Aceleración Frontal</b>	G Force	0.01	0.42	-0.50
	<b>Aceleración Lateral</b>	G Force	0.00	0.59	-0.50
	<b>Aceleración Vertical</b>	G Force	0.95	1.46	0.50
	<b>Odómetro</b>	Kilómetros (km)	-	641837.80	640715.10
	<b>Aceleración GPS</b>	G Force	-0.01	0.36	-0.50
<b>Vehículo B</b> <b>Kia Soluta</b>	<b>Velocidad en Carretera</b>	kilómetros / hora (km/h)	22.64	113.00	1.00
	<b>Aceleración Frontal</b>	G Force	-0.01	0.41	-0.59

(Continúa)

	<b>Aceleración Lateral</b>	G Force	0.00	0.54	-0.57
	<b>Aceleración Vertical</b>	G Force	0.95	1.66	0.54
	<b>Odómetro</b>	Kilómetros (km)	-	8509.50	7080.80
	<b>Aceleración GPS</b>	G Force	-0.01	0.29	-0.60
	<b>Altitud</b>	Metros (m)	2320.77	3122.00	1952.00
	<b>Velocidad en Carretera</b>	kilómetros / hora (km/h)	22.14	106.00	1.00
<b>Vehículo C Kia Rio</b>	<b>Aceleración Frontal</b>	G Force	-0.01	0.50	-0.60
	<b>Aceleración Lateral</b>	G Force	0.00	0.70	-0.60
	<b>Aceleración Vertical</b>	G Force	1.00	1.90	0.40
	<b>Odómetro</b>	Kilómetros (km)	-	137340.90	135829.50
	<b>Aceleración GPS</b>	G Force	0.02	0.40	-0.30
	<b>Altitud</b>	Metros (m)	2250.45	2756.00	2183.00

(Autoría propia)

En la Tabla 19 en términos de “Velocidad en Carretera”, los valores promedio se mantuvieron dentro de un rango urbano – moderado, con el vehículo B registro una velocidad media más alta de 22.64 km/h, seguido por el vehículo C con 22.14 km/h y el vehículo A con 21.41 km/h. Las aceleraciones frontal y lateral fueron bajas en los tres casos, con promedios cercanos a cero y sin valores máximos extremos, lo indica una conducción controlada y sin maniobras bruscas.

Respecto a la “Aceleración Vertical”, los tres vehículos mantuvieron valores promedios aproximadamente de 0.95G. la “Aceleración GPS” también evidencio estabilidad, con promedios muy bajos y sin cambios bruscos. En cuanto al “Odómetro”, el vehículo A registro mayor kilometraje, mientras que el vehículo B presento menor kilometraje. Finalmente, la “Altitud” promedio de operación en los dos vehículos B y C fue aproximadamente a los 2300 m s.n.m., esta condición puede estar relacionada con una baja densidad de aire.

#### 4.4. Factores de Consumo de Combustible y Emisiones de $CO_2$ Dispositivo Telemático.

Esta sección tiene como finalidad analizar y comparar los factores de consumo de combustible y emisiones de  $CO_2$  generadas por los tres vehículos monitoreados durante una semana operativa. Para ello, se utilizaron variables medidas y calculadas, entre ellas: Masa del combustible (kg), Emisiones de  $CO_2$  en distintas unidades ( $gCO_2$ ) y Factores de emisión y consumo de combustible

en términos de distancia recorrida ( $gCO_2/km$  y  $gCombustible/km$ ). Esta última variable es clave para identificar el impacto ambiental en función del uso diario del vehículo.

#### 4.4.1. Vehículo A: Hyundai Accent.

Durante el registro de datos, el Vehículo A: Hyundai Accent presentó un comportamiento moderadamente eficiente en cuanto al consumo de combustible y emisiones de  $CO_2$  por kilómetro recorrido como indica la Tabla 20. Se evidencia una mayor distancia acumulada los días miércoles con 234.8 km y sábado con 289.3 km, mientras que el viernes presentó la menor actividad con un recorrido de 50.6 km.

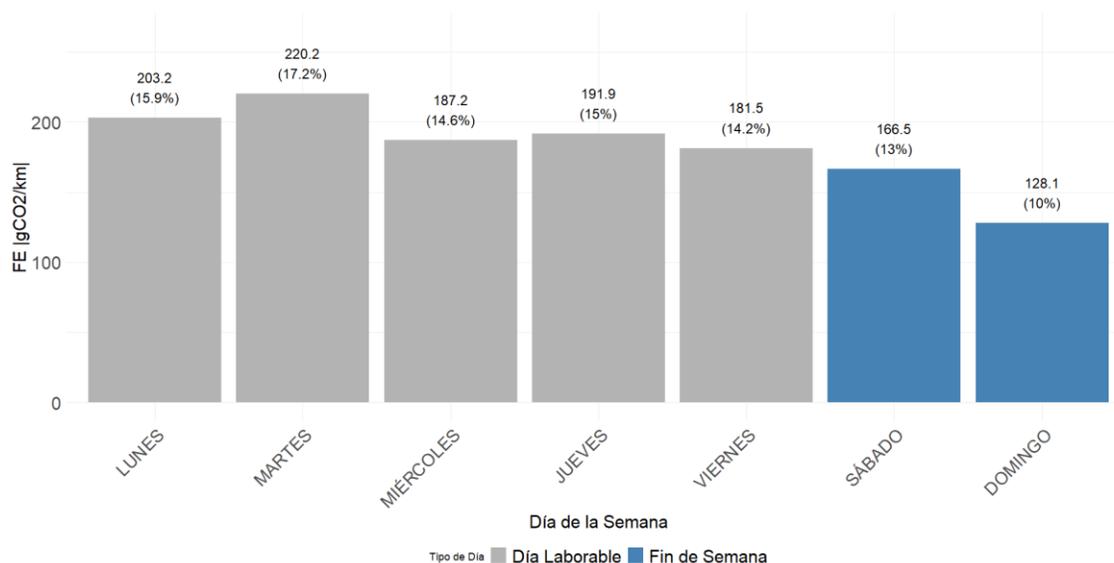
El factor de consumo de combustible se evidencia con un valor más alto el día martes con 71.32 g/km. En términos de emisiones, el factor de emisión ( $gCO_2/km$ ) en términos de distancia mostró valores más elevados al inicio de la semana, especialmente el martes con 220.22  $gCO_2/km$ , reduciéndose progresivamente hacia el fin de semana, donde el domingo registró el valor más bajo de 128.07  $gCO_2/km$ .

**Tabla 20.** Factores de Consumo y  $CO_2$  Vehículo A: Hyundai Accent.

Dato	Unidad	Tipo de Dato	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>Distancia Acumulada.</b>	[km]	Medido	86.10	148.60	234.80	224.10	50.60	289.30	86.10
<b>Masa de Combustible.</b>	[kg]	Calculado	5.67	10.60	14.23	13.92	2.97	15.60	3.57
<b>Masa de <math>CO_2</math>.</b>	[ $gCO_2$ ]	Calculado	17496.25	32724.88	43951.83	42995.87	9181.64	48175.83	11026.86
<b>Factor de Emisión de <math>CO_2</math> por Distancia.</b>	[ $gCO_2/km$ ]	Calculado	203.21	220.22	187.19	191.86	181.46	166.53	128.07
<b>Factor de Consumo de Combustible por Distancia.</b>	[g/km]	Calculado	65.81	71.32	60.62	62.14	58.77	53.93	41.48

(Autoría propia)

La Figura 58 del vehículo A detalla un patrón parcialmente equilibrado durante una semana, con factores de emisión en términos de distancia altos al inicio y mitad de semana, y una disminución al fin de semana. Esta variación puede relacionarse con el tipo de trayecto, la densidad del tráfico y la duración de uso del vehículo.



**Figura 58.** Factor de Emisión - Distancia Vehículo A: Hyundai Accent.

(Autoría propia)

#### 4.4.2. Vehículo B: Kia Soluto.

En el caso del Vehículo B: Kia Soluto, como se detalla en la Tabla 21 fue el que registró las emisiones más altas entre los tres vehículos analizados. Su distancia diaria era considerable y relativamente constante, superando los 170 km en la mayoría de los días. Sin embargo, el consumo de combustible fue significativamente elevado al inicio de la semana, con valores cercanos a los 37 kg por día.

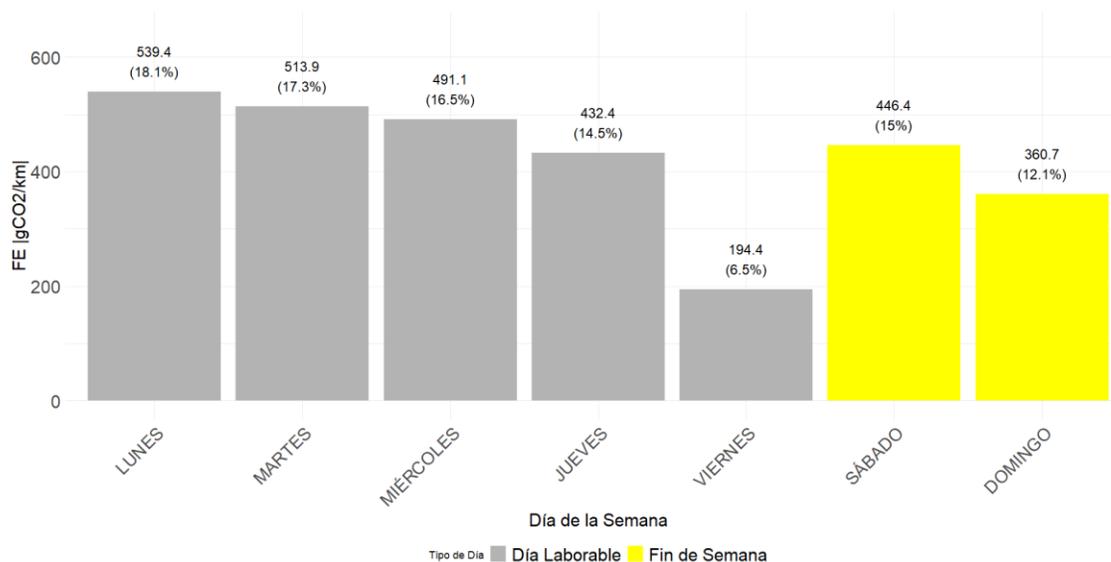
El factor de emisión de  $CO_2$  en términos de distancia fue especialmente alto entre lunes y miércoles, con un pico de 539.4 g/km el lunes. Aunque se observó una reducción hacia el fin de semana con 194.42 g/km el viernes, los niveles permanecieron por encima de los otros dos vehículos. Este comportamiento puede estar asociado a condiciones operativas más exigentes, una conducción más agresiva, mayor carga o condiciones topográficas.

**Tabla 21.** Factores de Consumo y CO<sub>2</sub> Vehículo B: Kia Soluto.

Dato	Unidad	Tipo de Dato	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>Distancia Acumulada.</b>	[km]	Medido	206.20	224.10	184.60	177.60	228.70	216.00	191.50
<b>Masa de Combustible.</b>	[kg]	Calculado	36.02	37.30	29.40	24.87	14.40	31.23	22.37
<b>Masa de CO<sub>2</sub>.</b>	[gCO <sub>2</sub> ]	Calculado	111224.59	115159.58	90660.38	76787.87	44463.13	96418.36	69073.52
<b>Factor de Emisión de CO<sub>2</sub> por Distancia.</b>	[gCO <sub>2</sub> /km]	Calculado	539.40	513.88	491.12	432.36	194.42	446.38	360.70
<b>Factor de Consumo de Combustible por Distancia.</b>	[g/km]	Calculado	174.70	166.43	159.10	140.03	62.96	144.57	116.82

(Autoría Propia)

La Figura 59 del vehículo B presenta un perfil elevado de factores de emisión en términos de distancia recorrida durante los días laborables. El lunes destaca como el día más contaminante, seguido por martes y miércoles. La diferencia entre los días laborables y fines de semana es menos notoria que en los otros vehículos. Incluso sábado y domingo mantuvo niveles elevados.

**Figura 59.** Factor de Emisión - Distancia Vehículo B: Kia Soluto.

(Autoría propia)

#### 4.4.3. Vehículo C: Kia Rio.

Por último, del Vehículo C: El Kia Rio, demostró ser el vehículo con mejor desempeño en términos de eficiencia y emisiones durante los días laborables. Como se detalla en la Tabla 22 su distancia

acumulada fue estable, con excepción del jueves con 95 km. Durante los días miércoles y jueves, el factor de emisión de  $CO_2$  en términos de distancia se mantuvo en niveles muy bajos con 55.73 y 49.85 g/km respectivamente, reflejando un comportamiento eficiente en el consumo de combustible.

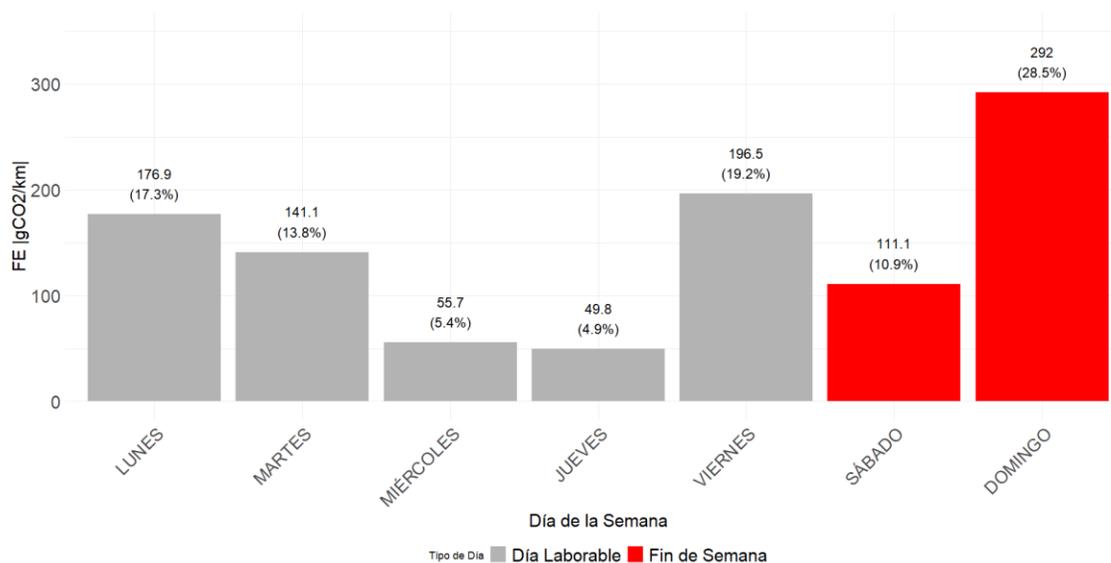
No obstante, el domingo se evidenció un cambio significativo, alcanzando un factor de emisión de 292.02 g $CO_2$ /km, el más alto de toda la semana para este vehículo. Esta variación podría atribuirse a condiciones en alto tráfico, trayectos cortos o conducción a baja velocidad, lo cual afecta directamente la eficiencia del motor.

**Tabla 22.** Factores de Consumo y  $CO_2$  Vehículo C: Kia Rio.

Dato	Unidad	Tipo de Dato	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>Distancia Acumulada.</b>	[km]	Medido	229.10	219.50	222.60	95.00	166.00	227.80	238.90
<b>Masa de Combustible.</b>	[kg]	Calculado	13.13	10.03	4.02	1.53	10.56	8.19	22.60
<b>Masa de <math>CO_2</math>.</b>	[g $CO_2$ ]	Calculado	40528.17	30968.60	12405.22	4735.33	32613.73	25299.54	69762.70
<b>Factor de Emisión de <math>CO_2</math> por Distancia.</b>	[g $CO_2$ /km]	Calculado	176.90	141.09	55.73	49.85	196.47	111.06	292.02
<b>Factor de Consumo de Combustible por Distancia.</b>	[g/km]	Calculado	57.30	45.70	18.05	16.14	63.63	35.97	94.57

(Autoría propia)

La Figura 60 del vehículo C demuestra un perfil más bajo de emisiones que los otros dos vehículos. Se observa un patrón más estable en los días laborables. El fin de semana, especialmente el domingo, hubo un incremento puntual de emisiones por kilómetro, lo que podría relacionarse a condiciones específicas de conducción, como tráfico, tipo de ruta o carga.



**Figura 60.** Factor de Emisión - Distancia Vehículo C: Kia Rio.

(Autoría propia)

#### 4.4.4. Comparación de Rendimiento de Vehículo.

##### 4.4.4.1. Comparación de Combustible

En la Tabla 23 muestra el análisis del consumo de combustible en gramos por kilómetro de los tres vehículos seleccionados durante una semana de estudio, incluyendo los valores diarios y un porcentaje de consumo semanal.

**Tabla 23.** Factor de Consumo de Combustible de los tres Vehículos.

Vehículos	Tipo de Dato	Factor Consumo de Combustible [g/km]							%
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	
<b>Vehículo A:</b> Hyundai Accent	Calculado	65.81	71.32	60.62	62.14	58.77	53.93	41.48	22.86
<b>Vehículo B:</b> Kia Soluto	Calculado	174.70	166.43	159.10	140.03	62.96	144.57	116.82	191.13
<b>Vehículo C:</b> Kia Rio	Calculado	57.30	45.70	18.05	16.14	63.63	35.97	94.57	0.00

(Autoría propia)

El Hyundai Accent presenta un consumo relativamente estable, con valores aproximados entre 41.48 g/km del domingo y 71.32 g/km del martes, representando un 24.22% del total semanal. El Kia Soluto registra el consumo más alto de los tres vehículos, con valores que van aproximadamente desde 62.96 g/km el viernes hasta 174.70 g/km el lunes, acumulando el 56.41% del total. Por su parte, el Kia Rio muestra diferencias significativas a lo largo de la semana, con

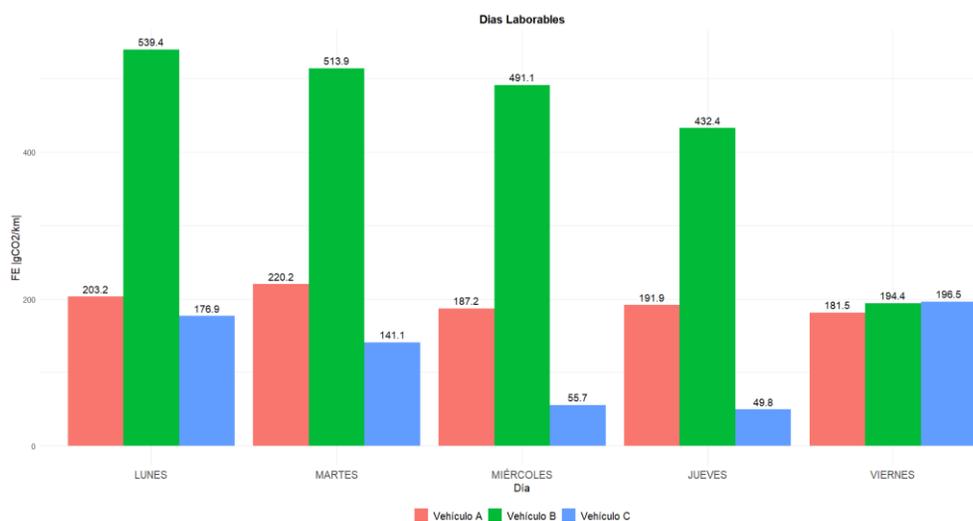
valores que van aproximadamente desde los 16.14 g/km el jueves hasta los 94.57 g/km del domingo, representando un 19.38% del total semanal.

Este análisis permite observar que el Kia Soluta tiene el mayor consumo de combustible en el periodo analizado, mientras que el Hyundai Accent y el Kia Rio presentan consumos más moderados y, en el caso del Kia Rio, con diferencias elevadas entre días. Los resultados sirven como base para evaluar la eficiencia de los vehículos y analizar posibles factores que influyen en su rendimiento.

#### ***4.4.4.2. Comparación Factores de Emisión de CO<sub>2</sub> en los Tres Vehículos***

A continuación, desde la Figura 61 a la 63 se presenta un análisis comparativo de los tres vehículos evaluados, considerando su comportamiento durante los días laborables, fin de semana, un promedio semanal general. Esta comparación permite evidenciar las variaciones en los niveles de emisiones de CO<sub>2</sub> por kilómetro recorrido según las condiciones de operación a lo largo de la semana.

En la Figura 61 se muestra durante los días laborables de lunes a viernes, el Vehículo B: Kia Soluta presentó el factor de emisión de CO<sub>2</sub> en términos de distancia más elevado entre los tres vehículos evaluados. Su promedio semanal en este período fue superior constantemente, superando los 500 gCO<sub>2</sub>/km en varios días, lo que refleja un desempeño poco eficiente en la gestión del combustible. Este comportamiento posiblemente este asociado a tiempos prolongados en ralentí, mayor carga o condiciones topográficas exigentes. Sin embargo, cabe la posibilidad de que estos valores se vean afectados por errores en el registro de datos, debido a fallos momentáneos del dispositivo telemático o pérdida de señal.

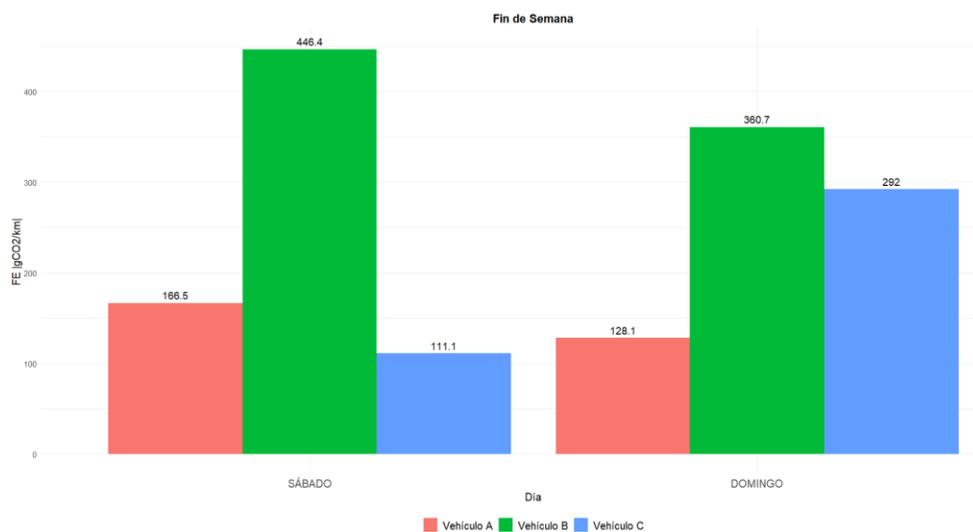


**Figura 61.** Comparación entre Vehículos Factor de Emisión – Distancia en días laborables.

(Autoría propia)

Por otro lado, el Vehículo C: Kia Rio mostró el mejor desempeño, con valores de factores de emisión de  $CO_2$  considerablemente más bajos, especialmente entre miércoles y jueves, donde sus emisiones cayeron por debajo de 60 gCO<sub>2</sub>/km. El Vehículo A: Hyundai Accent se ubicó en una posición intermedia, con un patrón de emisiones más estable, aunque con una ligera tendencia descendente conforme avanzaba la semana.

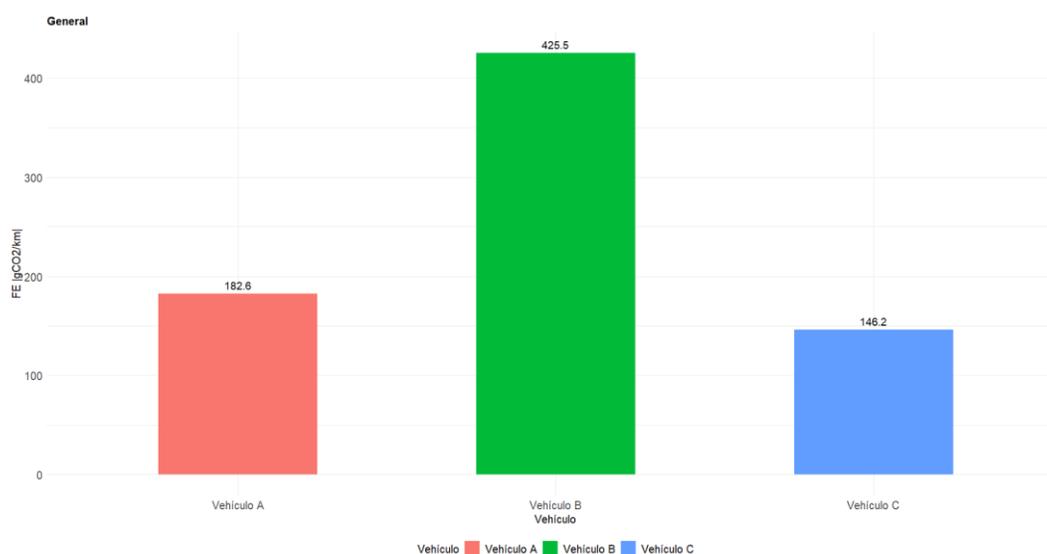
El análisis del fin de semana en la Figura 62 se evidencia un cambio en el comportamiento de los vehículos. El Vehículo A: Hyundai Accent mantuvo su tendencia descendente y alcanzó su nivel más bajo de emisiones el domingo, lo que podría asociarse a condiciones de conducción más fluidas o menos exigentes. El Vehículo C: Kia Rio, en cambio, experimentó un aumento significativo en su factor de emisión del domingo, alcanzando su pico semanal, lo que sugiere una alteración en las condiciones de operación, posiblemente por mayor tráfico o rutas más cortas y con mayor número de paradas. En cuanto al Vehículo B: Kia Soluto, si bien mostró una leve mejora respecto a los días laborables, sus emisiones continuaron siendo altas en comparación con los otros modelos.



**Figura 62.** Comparación entre Vehículos Factor de Emisión – Distancia Fin de Semana.

(Autoría propia)

En la Figura 63 se muestra la gráfica comparativa semanal permite concluir que el Vehículo C: Kia Rio es el vehículo más eficiente en términos de emisiones de  $CO_2$  por kilómetro recorrido, especialmente en contextos de conducción regular durante la semana laboral. El Vehículo A: Hyundai Accent presentó un desempeño intermedio y estable, sin variaciones extremas. Por otro lado, el Vehículo B: Kia Soluto registró el mayor impacto ambiental, con un promedio semanal elevado de emisiones, lo que evidencia una menor eficiencia.



**Figura 63.** Comparación General entre Vehículos Factor de Emisión – Distancia.

(Autoría propia)

#### 4.5. Análisis Cinemático Interfaz ELM 327.

Dentro de la presente sección se muestran los resultados obtenidos en la segunda campaña experimental realizada con el vehículo Hyundai Getz, modelo 2007, con cilindrada 1600 c.c. con el uso de la Interfaz de diagnóstico ELM 327 y el software Torque Pro. Además, se realizó una clasificación de las diferentes zonas que atraviesa durante el recorrido como son: Urbano, Extraurbano y Autopista. A continuación, se presenta un análisis cinemático del vehículo y de los diferentes modos de operación (Aceleración, Desaceleración, Crucero y Ralentí).

##### 4.5.1. Cinemática del Vehículo Hyundai Getz.

La Tabla 24 muestra resumen de los datos cinemáticos obtenidos para los diferentes ensayos realizados donde cada ensayo fue desarrollado en una franja horaria diferente. En general, la velocidad promedio del vehículo en toda la ruta fue aproximadamente de 47 km/h en los diferentes ensayos. En el caso del tramo urbano del ensayo 2, la velocidad promedio fue mayor que los otros ensayos siendo en promedio de 19 km/h indicando que hubo menor tráfico. En el caso del tramo extraurbano, no existen diferencias significativas entre los tres ensayos teniendo en promedio una velocidad de 50 km/h. Finalmente, en el caso del tramo de autopista, el ensayo 2 presenta una velocidad promedio menor de 70 km/h.

**Tabla 24.** Resultados Cinemáticos en los Diferentes Horarios

	Ensayo 1				Ensayo 2				Ensayo 3			
	Urbano	Extraurbano	Autopista	Ruta Total	Urbano	Extraurbano	Autopista	Ruta Total	Urbano	Extraurbano	Autopista	Ruta Total
<b>Duración (min)</b>	58.05	12.52	11.07	81.64	47.88	12.72	12.56	73.16	63.92	11.35	11.43	86.73
<b>Distancia (km)</b>	16.05	7.02	16.68	39.75	16.07	7.030	16.80	39.90	16.40	6.83	16.70	39.93
<b>Velocidad Máxima (km/h)</b>	52.62	72.11	106.26	106.26	50.73	67.25	110.64	110.64	51.62	73.22	102.70	102.70
<b>Velocidad Promedio (km/h)</b>	15.98	48.63	78.63	47.74	18.69	47.86	70.05	45.53	15.25	53.17	77.15	48.52
<b>Aceleración Positiva Promedio (m/s<sup>2</sup>)</b>	0.44	0.25	0.18	0.29	0.51	0.30	0.20	0.34	0.49	0.25	0.18	0.31
<b>Altitud Inicial (m)</b>	2235.66	2239.45	2250.71	2235.67	2244.59	2247.03	2250.01	2244.56	2238.68	2236.71	2237.13	2238.61
<b>Altitud Final (m)</b>	2234.17	2228.39	1738.47	1738.44	2238.61	2230.54	1741.12	1741.15	2236.17	2224.21	1724.92	1734.91

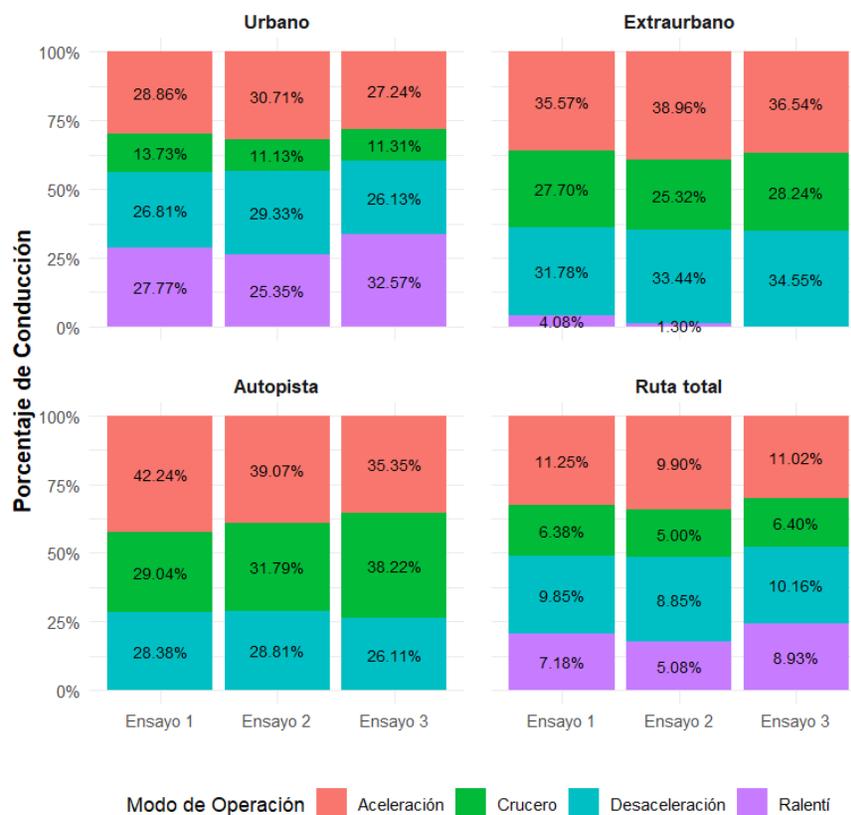
(Autoría propia)

En el caso de la velocidad máxima registrada en los diferentes ensayos, en promedio fue de aproximadamente 106 km/h, debido a tramos de alta velocidad como es el caso de la autopista. En el caso del tramo urbano, los valores de velocidad máxima fueron consistentes entre los ensayos, con variaciones alrededor de los 51–53 km/h, lo cual es acorde a los límites y condiciones del tránsito urbano. En el tramo extraurbano, el segundo ensayo presentó la menor velocidad máxima aproximadamente de 67 km/h, lo que podría indicar puntos de congestión en comparación con los otros horarios. Por su parte, en el tramo de autopista, se evidencian velocidades significativamente más altas, siendo el ensayo de las 10 am el que alcanzó la mayor velocidad máxima de 110 km/h.

Para la aceleración positiva promedio, en el tramo urbano, se observaron las mayores aceleraciones, como es el caso del ensayo 2, donde se alcanzó un valor de  $0.51 \text{ m/s}^2$ . Este valor se debe a un manejo entre aceleraciones y detenciones, posiblemente por la necesidad de reiniciar el movimiento con frecuencia debido a semáforos o tráfico. Sin embargo, los tramos de autopista presentan las aceleraciones más bajas, entre  $0.18$  y  $0.20 \text{ m/s}^2$ , debido a una conducción continua y sin interrupciones. El tramo extraurbano mostró valores intermedios y relativamente estables en los tres ensayos, alrededor de  $0.25$ – $0.30 \text{ m/s}^2$ , reflejando una transición entre el tráfico urbano y la conducción de alta velocidad en autopistas.

#### **4.5.2. Modos de Operación Vehículo Hyundai Getz.**

La Figura 64 presenta los diferentes modos de operación siendo clasificados en: aceleración, desaceleración, ralentí y crucero, del vehículo Hyundai Getz distribuido a lo largo de la ruta presentada en la ciudad de Ibarra en tres diferentes ensayos. Además, se muestra el porcentaje de permanencia del vehículo en los diferentes modos de operación para cada zona de la ruta, en los tres ensayos realizados.



**Figura 64. Modos de Operación**

(Autoría propia)

En la zona urbana, en los tres ensayos el porcentaje de operación del vehículo no varía significativamente. El modo ralentí destaca en el tercer ensayo aproximadamente con un 32.57%, significando un mayor tiempo detenido con el vehículo encendido en comparación con los otros ensayos. En el caso de los modos de operación de aceleración y desaceleración, el segundo ensayo presenta los valores más altos, de 31% y 29% respectivamente, reflejando un mayor estado en movimiento. Finalmente, el modo de operación crucero representa menos del 15% en todos los ensayos, esto se justifica por las condiciones de conducción en la zona urbana, impidiendo mantener una velocidad constante en períodos prolongados.

Para la zona extraurbana, en general para los tres ensayos, se observa la ausencia del modo de operación ralentí, debido a que el vehículo estuvo casi siempre en movimiento, ya que para el ensayo 1 obtuvo apenas un 4%, debido a la presencia de semáforos en el tramo final de la ruta. Además, se observa porcentajes más altos para el modo de operación de crucero con porcentajes

entre 25% y 28%, esto ya que esta zona permite condiciones de velocidades constantes sin frenadas bruscas.

En la zona de autopista, el modo de ralentí quedó completamente obsoleto para los tres ensayos debido a la nula presencia de semáforos o detenciones del vehículo. Además, en el caso del modo de operación de aceleración, predomina el ensayo 1, con un porcentaje aproximado del 42%. Para el caso del modo de operación de cruce, existe un incremento del porcentaje en todos los ensayos, siendo el mayor en el ensayo 3 con un valor cercano de 38%, esto se debe a que en la zona de autopista permite un mayor estado de velocidad constante.

Finalmente, considerando la ruta total, el modo de operación de ralentí del ensayo 3 predomina con un 9% indicando que existió más tráfico en esta prueba. Además, no se observan diferencias significativas entre los tres ensayos en el modo cruce con porcentajes entre 5% y 6%.

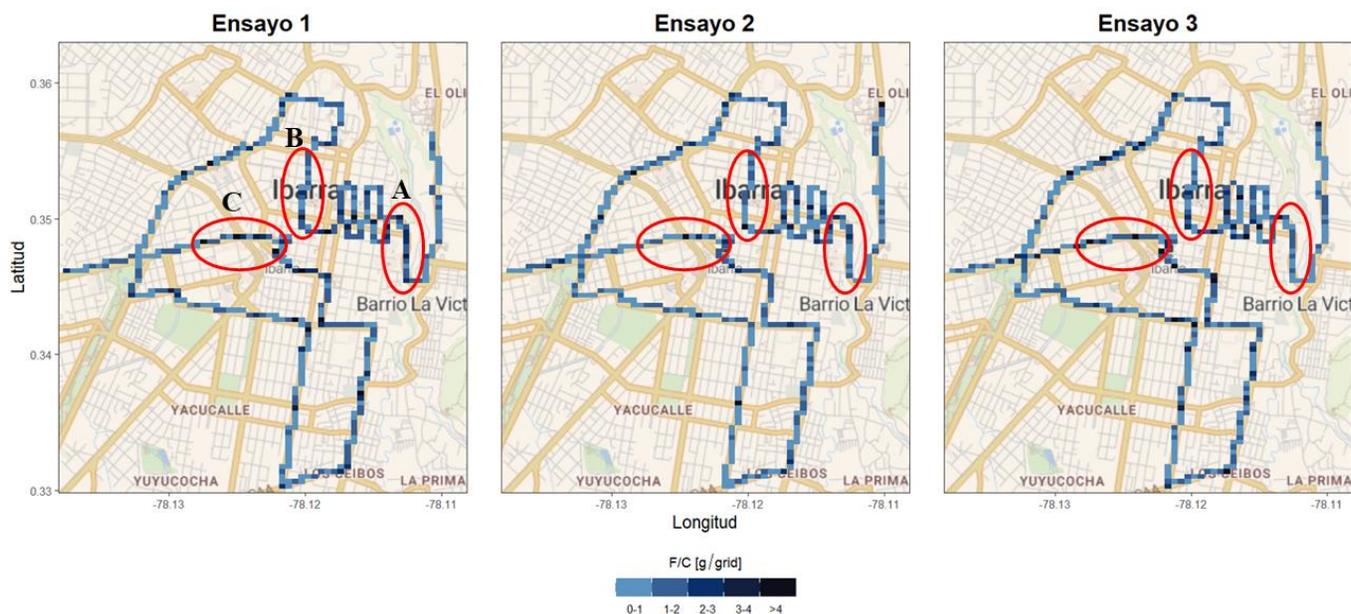
#### **4.6. Mapeo de $CO_2$ basado en la Interfaz ELM 327.**

A continuación, se realiza un análisis del Consumo de Combustible y las Emisiones de  $CO_2$  para las diferentes zonas establecidas a lo largo de la ruta (Urbana, Extraurbana, Autopista y Ruta Total), en áreas de concentración (grids) de 40m x 40m. Para ello se plantea los principales puntos de mayor concentración observados en el mapa. Además, se analiza la cantidad de grids en diferentes intervalos de las diferentes rutas mostrados en histogramas.

##### **4.6.1. Análisis en la Zona Urbana.**

###### ***4.6.1.1. Mapeo Consumo de Combustible***

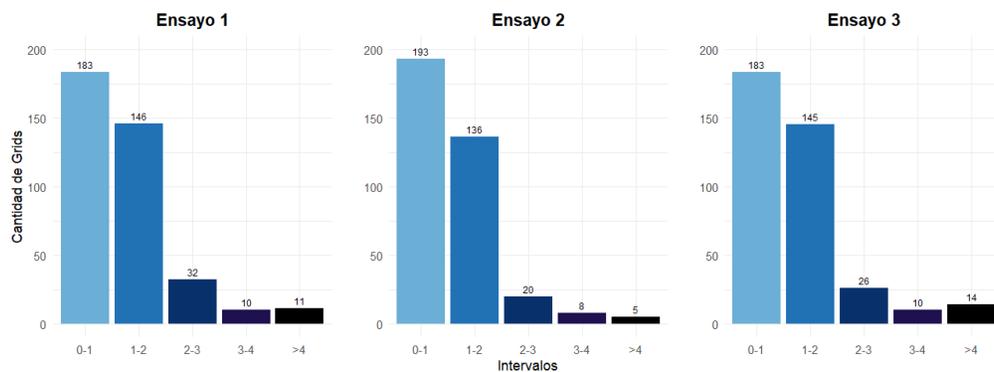
En la Figura 65 se muestra la representación geoespacial del Consumo de Combustible acumulado a través de la zona urbana. En general, los principales puntos de mayor concentración a lo largo de la ruta se encuentran en los siguientes puntos: el primer punto “A” es en la Avenida 17 de Julio en el sector de los colegios “San Francisco” y “Oviedo”, donde el ensayo 1 alcanza mayores niveles de concentración en intervalos mayores a 4 g de combustible; el segundo punto “B” es en la calle Sanches y Cifuentes donde existe alto nivel comercial, en este punto, el ensayo 3 muestra mayores concentraciones con niveles que superan los 4 g de combustible; seguidamente se encuentra el punto “C”, en la Avenida Mariano Acosta en el sector del colegio “Ibarra”, el centro comercial “Laguna Mall” hasta la “Estación del Ferrocarril”, aquí el ensayo 2 es el que obtiene menos concentraciones de emisiones con intervalos entre 1-2 g de combustible.



**Figura 65.** Mapeo Consumo de Combustible Zona Urbana.

(Autoría Propia)

La Figura 66 presenta tres histogramas de cada ensayo con la cantidad de grids por intervalos del Consumo de Combustible en la zona urbana. En general, los tres ensayos presentaron una distribución similar de consumo de combustible sin tener variaciones significativas. En el caso del ensayo 3, este presenta mayores concentraciones con un total de 14 grids con intervalos mayores a 4 g de combustible, mostrando una mayor presencia de tráfico. Seguidamente se encuentra el ensayo 1 que obtuvo 11 grids mayores a 4 g de combustible, significando un tráfico medio. Finalmente, el ensayo 2 es el que menos concentraciones con intervalos mayores a 4 g de combustible presenta, indicando bajo tráfico.

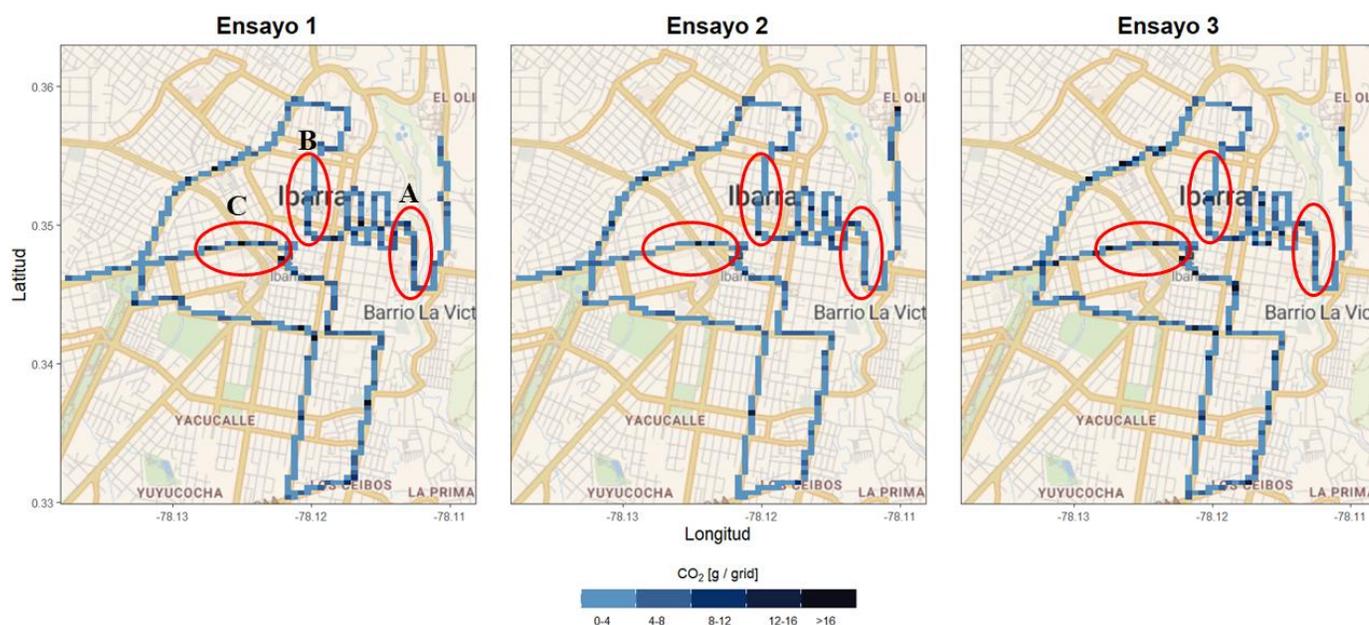


**Figura 66.** Cantidad de Grids por Intervalos de Consumo de Combustible Urbano

(Autoría propia)

#### 4.6.1.2. Mapeo Emisiones de $CO_2$

La Figura 67 muestra la representación geoespacial de las emisiones de  $CO_2$  acumuladas a través de la zona urbana en los tres diferentes ensayos. En general, los puntos donde existen mayores emisiones son en los momentos que el vehículo se encuentra detenido, como en los semáforos donde se presenta acumulación de emisiones ya que el vehículo se encuentra en ralentí. Por lo tanto, estos puntos se encuentran a lo largo de toda la ruta. Sin embargo, se seleccionaron los mismos puntos de concentración que en el análisis del consumo de combustible. Donde en el caso de “A”, el ensayo 1 presenta la mayor concentración en intervalos mayores a 16 g de  $CO_2$  por grid, esto se debió a la presencia de colegios cercanos y la hora de entrada de estudiantes. Para el punto “B”, el ensayo 3 es el que muestra mayores emisiones con intervalos entre 12 y 16 g de  $CO_2$ , esto debido a la zona comercial. En el caso del punto “C”, el ensayo 2 es el que presenta menores acumulaciones con intervalos bajos entre 0 y 8 g de  $CO_2$ .

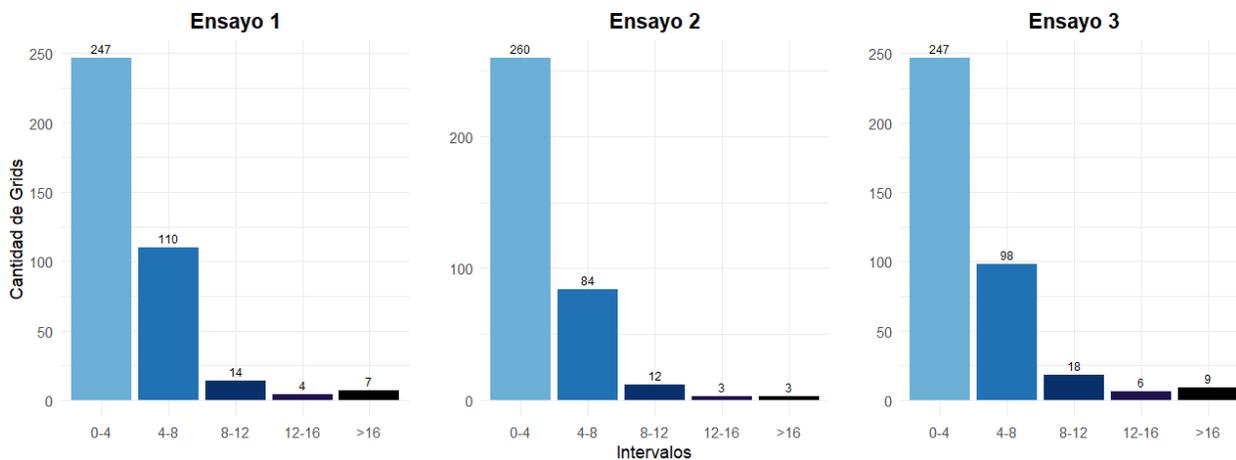


**Figura 67.** Mapeo Emisiones de  $CO_2$  Zona Urbana

(Autoría propia)

En la Figura 68 se presentan tres histogramas con la cantidad de grids acumulados de emisiones de  $CO_2$  en la zona urbana. Los intervalos que se muestra en el histograma acumulan valores que van entre: (0-4; 4-8; 8-12; 12-16; >16) g de  $CO_2$ . Donde no existen diferencias significativas entre los ensayos, sin embargo, para el caso del ensayo 3, este presenta mayores concentraciones de emisiones elevadas en intervalos mayores a 16 g de  $CO_2$ . Seguidamente se encuentra el ensayo 1

con 7 grids que acumulan concentraciones mayores a 16 g de  $CO_2$ . Finalmente, el ensayo 2 es el que dispone de apenas 3 grids con concentraciones mayores a 16 g de  $CO_2$ .



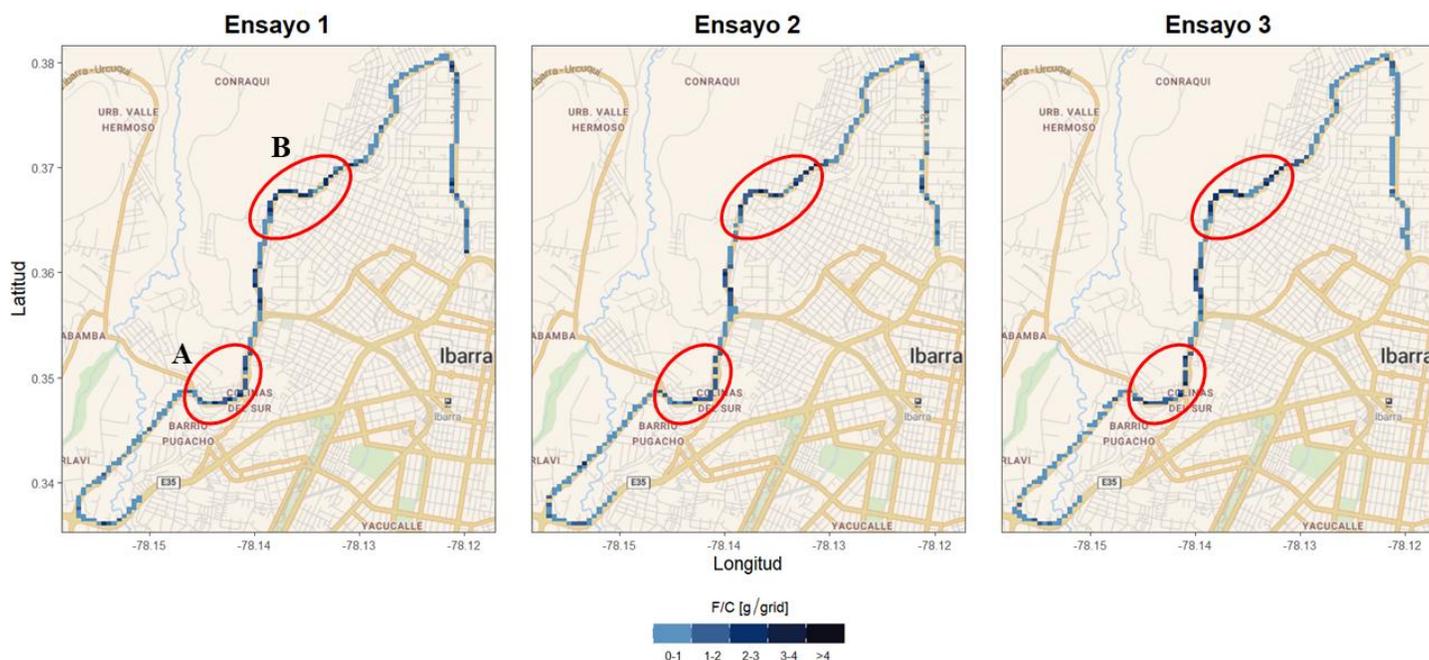
**Figura 68.** Cantidad de Grids por Intervalos de  $CO_2$  Urbano

(Autoría propia)

#### 4.6.2. Análisis en la Zona Extraurbana.

##### 4.6.2.1. Mapeo Consumo de Combustible

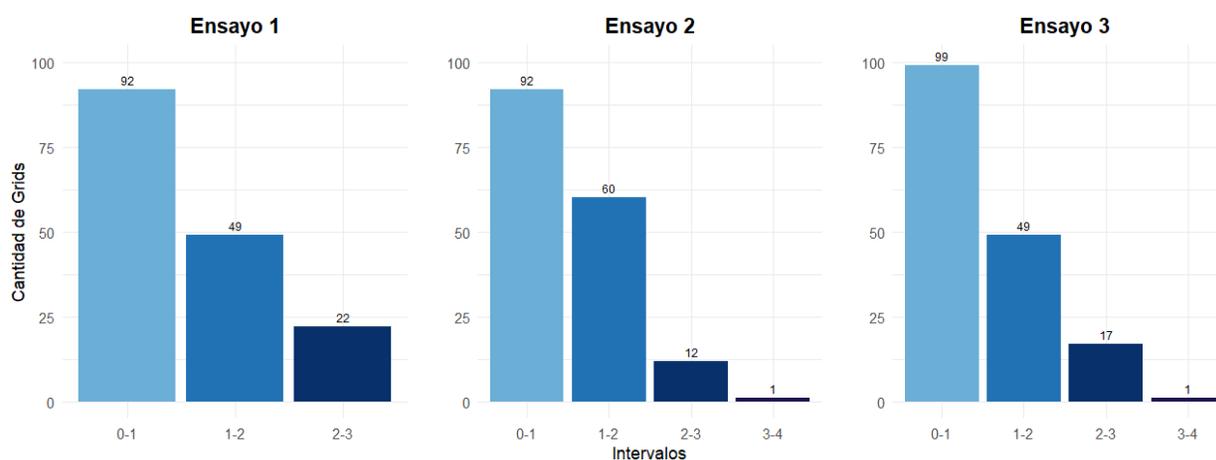
En la Figura 69 se muestra la representación geoespacial del Consumo de Combustible acumulados a través de la zona extraurbana. El primer punto “A” es en el inicio de la Avenida Fray Vacas Galindo, con concentraciones de 0 a 4 g de combustible; el segundo punto “B” es en la Avenida Monseñor Leonidas Proaño con concentraciones entre 0 a 4 g de combustible. En estos dos puntos es donde se destaca mayor consumo de combustible en los tres ensayos realizados, esto debido a la presencia de una subida considerable que indica mayor exigencia al motor en comparación con todo el recorrido extraurbano.



**Figura 69.** Mapeo Consumo de Combustible Zona Extraurbana

(Autoría propia)

En la Figura 70 se muestran los histogramas de la cantidad de grids obtenidos en intervalos del Consumo de Combustible en la zona extraurbana. En general, a lo largo de esta zona no se presentan diferencias considerables entre los ensayos. Esto se debe a que en la zona extraurbana no existió momentos de alto tráfico. De este modo, solo se observa que en los ensayos 2 y 3 apenas existe un grid con acumulaciones de 3-4 g de combustible.

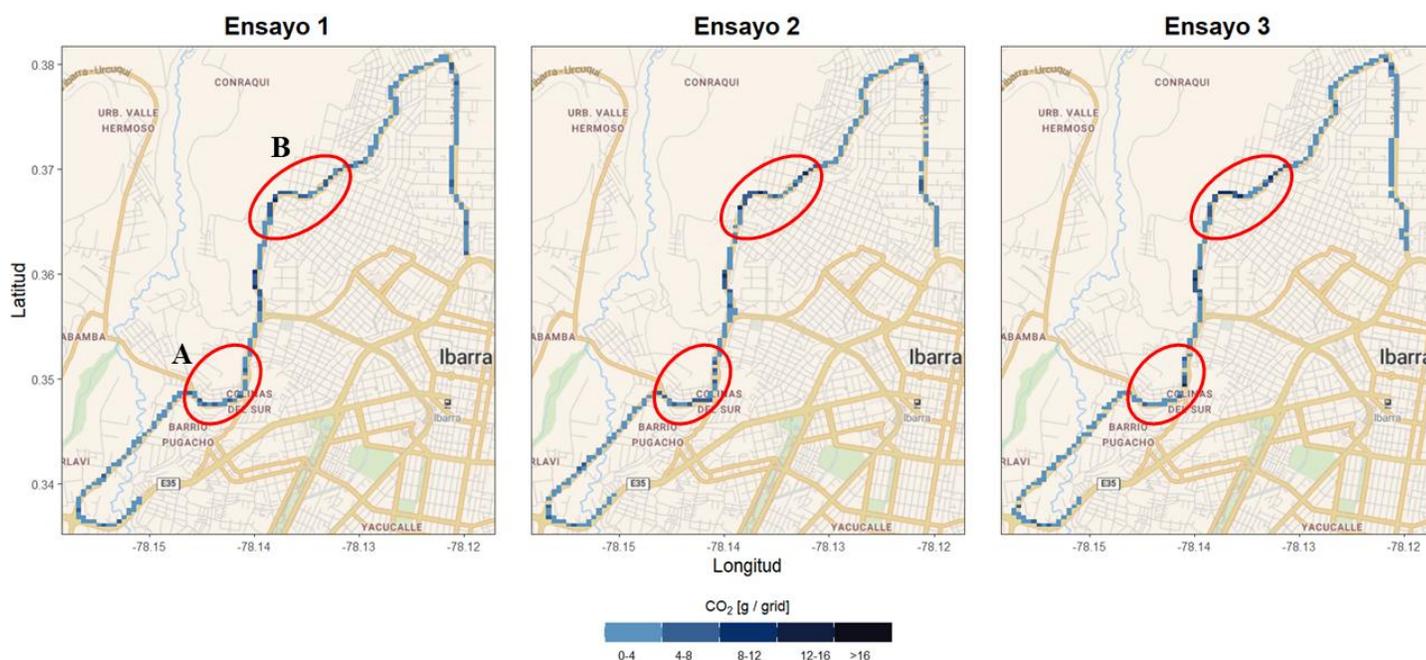


**Figura 70** Cantidad de Grids por Intervalos de Consumo de Combustible Extraurbano

(Autoría propia)

#### 4.6.2.2. Mapeo Emisiones de $CO_2$

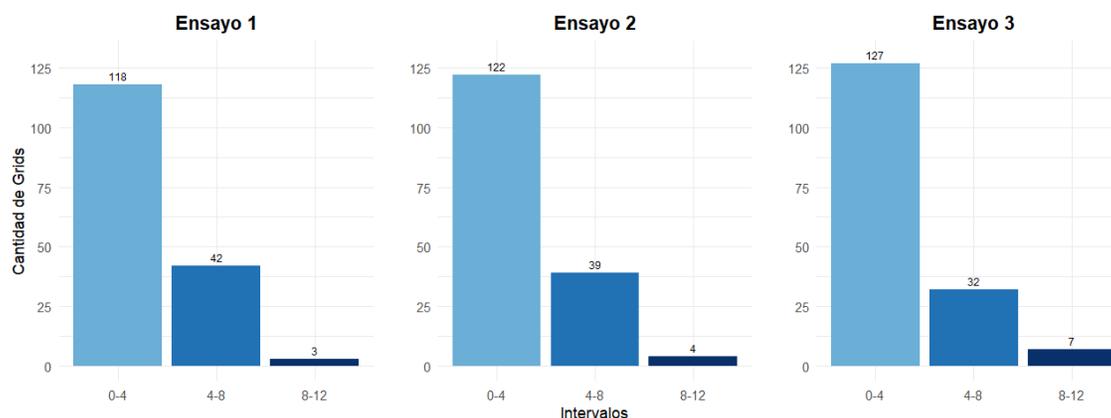
La Figura 71 muestra la representación geoespacial de las emisiones de  $CO_2$  acumuladas en la zona extraurbana en los tres diferentes horarios. De igual forma que en el análisis del consumo de combustible, los puntos analizados “A” y “B”, en todos los ensayos, presentan concentraciones entre 8 a 12 g de  $CO_2$ , esto debido a que en ese punto se presenta una subida considerable, aumentando las emisiones. Cabe mencionar que si bien estos son los puntos de mayor concentración de g de  $CO_2$ , se observa que, al ser una zona extraurbana, las emisiones tienden a ser bajas.



**Figura 71.** Mapeo Emisiones de  $CO_2$  Zona Extraurbana

(Autoría propia)

En la Figura 72 se presenta tres histogramas con la cantidad de grids acumulados de emisiones de  $CO_2$  en la zona extraurbana. Aquí se muestran intervalos que acumulan los valores entre: (0-4; 4-8; 8-12) g de  $CO_2$ . En general, no presentan cambios entre los diferentes ensayos. En el caso del ensayo 3, presenta un mayor número de grids con acumulaciones de 8 a 16 g de  $CO_2$  con una cantidad de 7 grids, mientras que el ensayo 1 y 2 tienen una cantidad de 3 y 4 grids respectivamente.



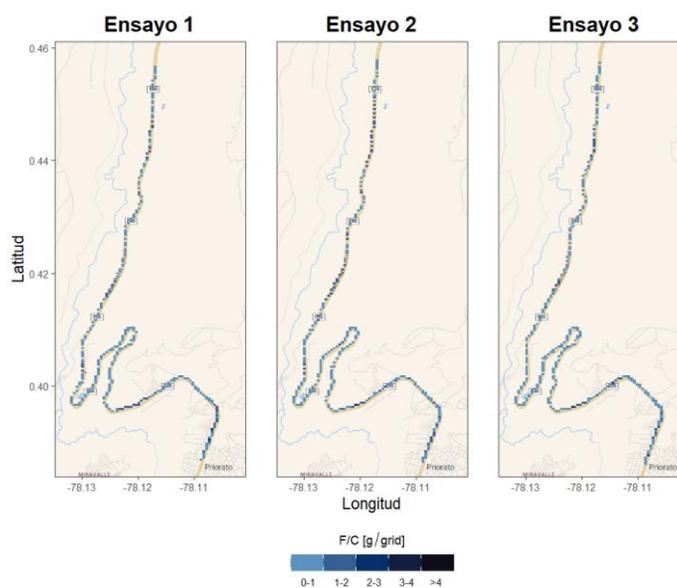
**Figura 72.** Cantidad de Grids por Intervalos de CO<sub>2</sub> Extraurbano

(Autoría propia)

### 4.6.3. Análisis en la Zona de Autopista.

#### 4.6.3.1. Mapeo Consumo de Combustible

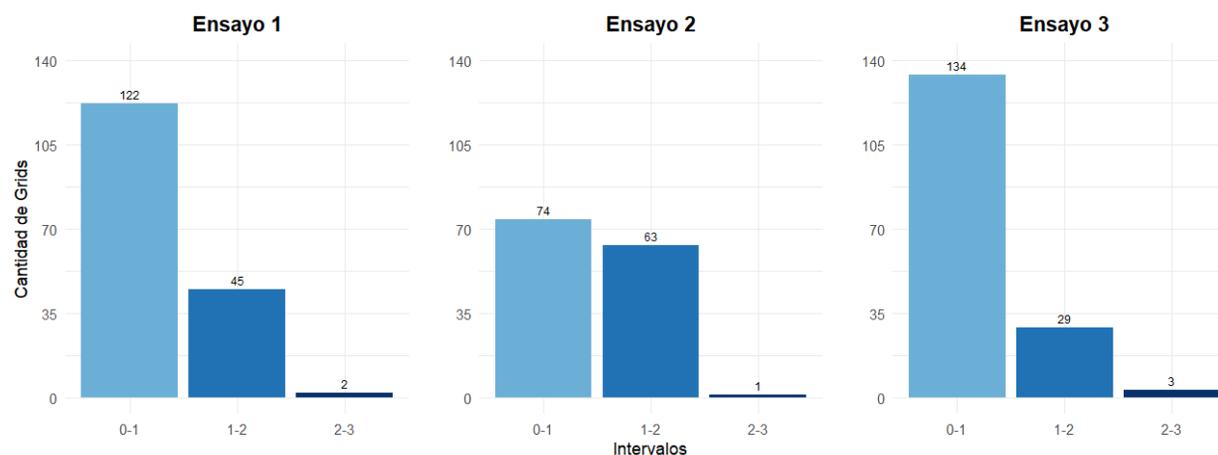
La Figura 73 muestra la representación geoespacial del Consumo de Combustible acumulados a través de la zona de Autopista para los diferentes ensayos. No se observan diferencias entre los horarios ya que el recorrido fue realizado en la autopista E35 sentido sur-norte. Debido a esto, en todos los ensayos, se observan concentraciones entre 0 y 2 g de combustible. Además, debido a que las velocidades promedio de la autopista fue de 75 km/h se observan espacios donde no se registraron grabaciones por parte de la Interfaz ELM 327.



**Figura 73.** Mapeo Consumo de Combustible Zona Autopista

(Autoría propia)

En la Figura 74 se muestran los histogramas de la cantidad de grids obtenidos en intervalos de Consumo de Combustible. Los intervalos presentados en el histograma son entre: (0-1; 1-2; 2-3) g de combustible. En general para los tres ensayos, el 99% de datos corresponde a concentraciones de 0 a 2 g de combustible, el 1% restante contiene concentraciones de 2 a 3 g de combustible.

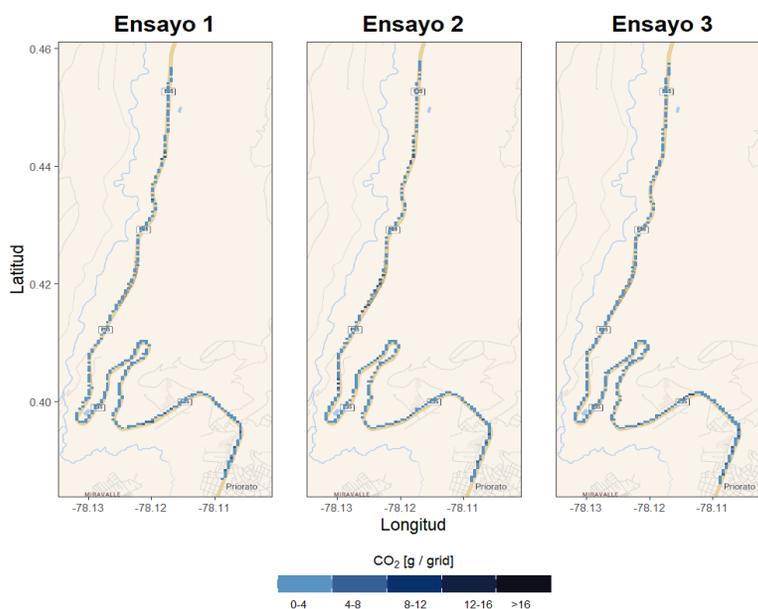


**Figura 74.** *Cantidad de Grids por Intervalos de Consumo de Combustible Autopista*

(Autoría propia)

#### 4.6.3.2. Mapeo Emisiones de $CO_2$

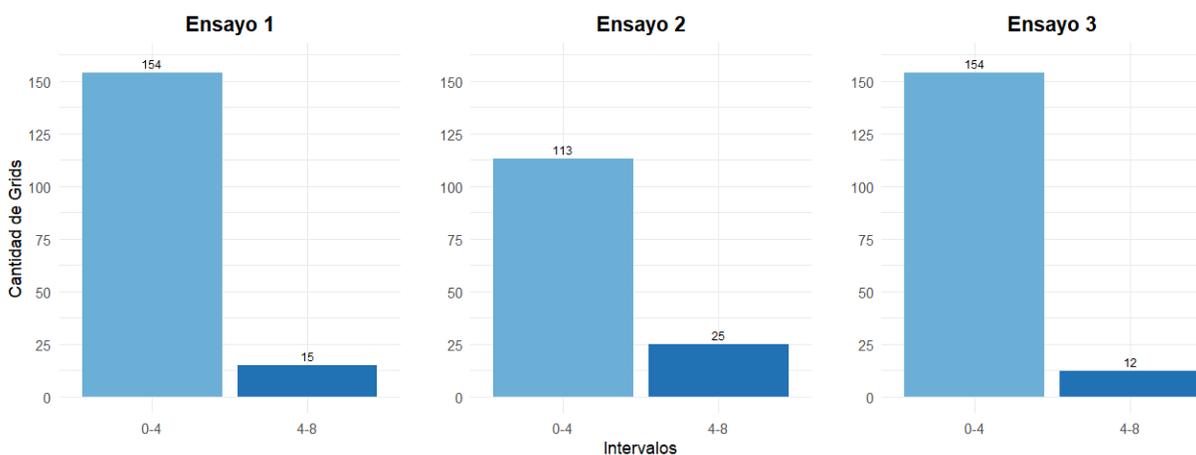
La Figura 75 muestra la representación geoespacial de las emisiones de  $CO_2$  acumuladas en la zona de autopista en los tres diferentes ensayos. Entre ellas, no se observan puntos de concentraciones máximas debido a las características cinemáticas que presenta una carretera como la velocidad promedio. Además, las concentraciones de emisiones en toda la ruta tienen valores de 0 a 4 g de  $CO_2$ .



**Figura 75.** Mapeo Emisiones de  $CO_2$  Zona Autopista

(Autoría propia)

La Figura 76 muestra tres histogramas correspondientes a los tres ensayos de estudio, con la cantidad de grids acumulados de emisiones de  $CO_2$  en la zona de autopista. En ella se observa que existen intervalos entre: (0-4 y 4-8) g de  $CO_2$ . Como se mencionó previamente, al estar en la zona de autopista, las emisiones del vehículo en general son bajas, con concentraciones de 0 a 4 g de  $CO_2$ . Además, para los tres ensayos se observan concentraciones entre 4 a 8 g de  $CO_2$ .

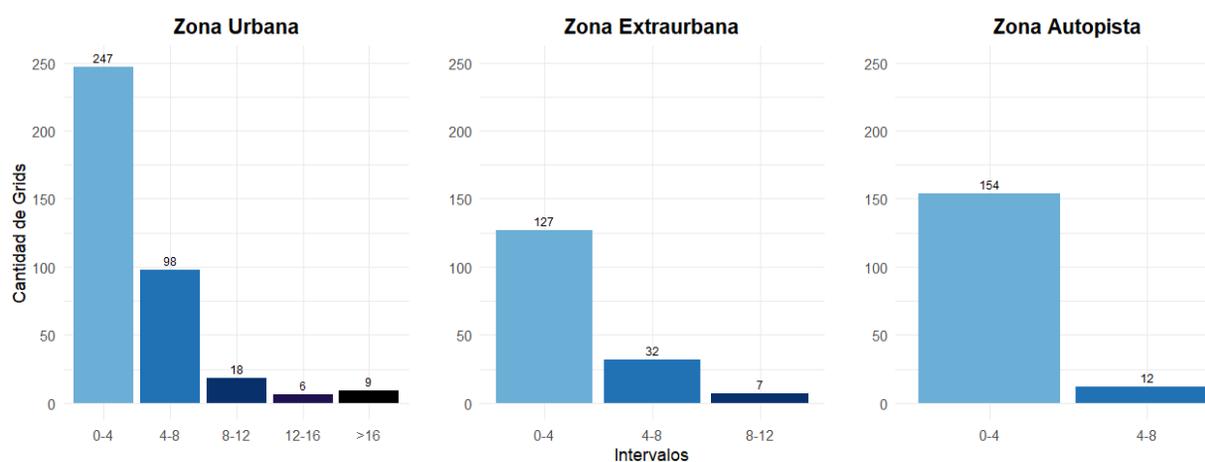


**Figura 76.** Cantidad de Grids por Intervalos de  $CO_2$  Autopista

(Autoría propia)

#### 4.6.4. Análisis entre Zonas.

En la Figura 77, se muestran tres histogramas correspondientes al ensayo 3 con la cantidad de grids acumulados de emisiones de  $CO_2$  a lo largo de toda la ruta. En general, se observa que en la zona urbana es donde se encuentran mayores niveles de emisión de  $CO_2$  con un total de 33 grids en concentraciones desde 8 a  $>16$  g de  $CO_2$ , esto se debe a que en esta zona, el vehículo se encuentra en mayores tiempos de ralentí con el vehículo detenido. A diferencia de la zona extraurbana que dispone de 7 grids con acumulaciones entre 8 a 12 g de  $CO_2$  y de la autopista donde apenas existen 12 grids en intervalos de 4 a 8 g de  $CO_2$ , donde apenas existen detenciones y tienen circulaciones fluidas.



**Figura 77.** Cantidad de Grids por Intervalos de  $CO_2$  Ruta Total.

(Autoría Propia)

#### 4.7. Factores de Consumo y $CO_2$ .

En la Tabla 25 se muestra los Factores de Consumo y Emisión del vehículo Hyundai Getz de los tres ensayos realizados. En la Tabla no se observan diferencias significativas de consumo de combustible o emisiones entre los ensayos. El que presentó el factor de emisión de  $CO_2$  en términos de distancia más elevado fue el Ensayo 3, teniendo un valor cercano a 167  $gCO_2/km$ . Esto representa un 6% de diferencia con respecto al Ensayo 2, el cual obtuvo el menor factor de emisión con un valor aproximado de 157  $gCO_2/km$ . El Ensayo 1 tiene una diferencia de 4% con respecto al Ensayo 2 y apenas un 2% de diferencia respecto al Ensayo 3, teniendo así un factor de emisión de 163  $gCO_2/km$ .

**Tabla 25.** *Factores y Diferencia Porcentual.*

<b>Ensayo</b>	<b>FC<sub>distancia</sub></b>	<b>Dif(%)</b>	<b>FE<sub>CO<sub>2</sub></sub><sup>Distancia</sup></b>	<b>Dif(%)</b>
Ensayo 1	52.92	4%	163.41	4%
Ensayo 2	50.85	0%	157.02	0%
Ensayo 3	54.05	6%	166.88	6%

(Autoría propia)

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones.

- La presente investigación se desarrolló de manera satisfactoria, logrando cuantificar el consumo de combustible, estimar las emisiones de  $CO_2$  y obtener variables necesarias para cálculos cinemáticos, con el dispositivo GO9 – GEOTAB, de forma telemática en tres vehículos tipo taxi: Hyundai Accent, Kia Soluto y Kia Rio, los cuales operaron en condiciones normales de trabajo, prestando servicio de transporte de personas y carga, y circulando en tráfico real por distintas zonas de la ciudad de Ibarra. No obstante, la baja frecuencia de muestreo y la limitada compatibilidad del dispositivo con los vehículos afectaron la calidad de los resultados en este último aspecto. A pesar de estas limitaciones, la investigación demostró la viabilidad del uso de tecnologías telemáticas en flotas de taxis, realizando un aporte valioso para futuras investigaciones en el ámbito automotriz.
- Mediante el uso de la plataforma MyGeotab y el dispositivo GO9-GEOTAB, se obtuvo la principal variable de análisis, denominada “Combustible Utilizado”, medida en litros, la cual fue empleada para realizar cálculos y obtener los factores de consumo de combustible [ $g/km$ ] y factores de emisión [ $gCO_2/km$ ]. No obstante, el dispositivo telemático presentó limitaciones significativas que influyeron en la estimación de estos factores, en particular su baja frecuencia de muestreo, con un promedio aproximado de una señal cada 50 segundos, lo que redujo la resolución y precisión de los datos, especialmente en condiciones de tráfico real.
- Durante el análisis comparativo se identificaron diferencias notables entre los vehículos. Uno de ellos presentó valores elevados, posiblemente debido a una señal defectuosa del dispositivo, generando registros no coherentes con los rangos reportados en estudios previos sobre factores de consumo de combustible y emisiones de  $CO_2$ . A pesar de ello, se consideró que el Kia Soluto tuvo un factor de consumo de combustible de 191,13% y emisiones de  $CO_2$  superiores, aproximadamente 500 [ $gCO_2/km$ ], en comparación con el Kia Rio. Por otro lado, el Hyundai Accent presentó un incremento del 22,86% y valores aproximados a los 220 [ $gCO_2/km$ ], también superiores respecto al Kia Rio, el cual registro

el valor más bajo, con aproximadamente  $49.85 [gCO_2/km]$ . Estas diferencias podrían estar asociadas a condiciones de operación, estado mecánico o limitaciones del sistema de medición, aspectos a considerar en futuras investigaciones.

- Debido a las limitaciones descritas del dispositivo telemático y el propósito de analizar la variabilidad espacial de las emisiones de  $CO_2$ , en el presente estudio, adicionalmente, se debió desarrollar una segunda campaña experimental para registrar datos cinemáticos y de consumo de un vehículo en alta resolución (1 Hz), para ello, se utilizó la Interfaz ELM 327 junto con la aplicación TorquePro. Esta campaña fue realizada en un taxi Hyundai Getz y consistió en tres ensayos desarrollados en diferentes franjas horarias. El recorrido seleccionado correspondió a una Ruta de Ensayo de Emisiones de Conducción Real (RDE), la cual cuenta con tres diferentes zonas; urbana, extraurbana y autopista.
- Para desarrollar el análisis espacial en alta resolución del consumo de combustible y las emisiones de  $CO_2$  del vehículo, fue necesario aplicar una metodología basada en datos ráster. Esta metodología permitió representar de manera espacio – temporal, las variaciones de consumo y  $CO_2$ . El enfoque consistió en dividir el área de estudio (un mapa en este caso), en cuadrículas o grids de igual tamaño, definidas según intervalos de latitud y longitud. Cada cuadrícula representó un área de concentración de 40 m x 40 m, es decir, una superficie de  $160 m^2$ . Para aplicar esta metodología, se utilizó el software libre Rstudio junto con los paquetes ggplot y ggmap.
- Se observó que en la zona urbana es donde se encuentran mayores niveles de emisión de  $CO_2$  con un total de 33 grids en concentraciones desde 8 a  $>16 g$  de  $CO_2$ , a diferencia de la zona extraurbana que dispone de 7 grids con acumulaciones entre 8 a 12 g de  $CO_2$  y de la autopista donde apenas existen 12 grids en intervalos de 4 a 8 g de  $CO_2$ . Esto se debe a que en esta zona, el vehículo se encuentra en mayores tiempos de ralenti con el vehículo detenido.

## 5.2. Recomendaciones.

- Se recomienda aprovechar todas las funciones que ofrecen las plataformas telemáticas como MyGeotab, no solo para monitorear el consumo de combustible y las emisiones de  $CO_2$ , sino también para la gestión de mantenimientos preventivos, optimización de rutas y administración eficiente de flotas. Su implementación puede contribuir significativamente a reducir costos operativos, mejorar el rendimiento vehicular y fomentar movilidad urbana más sostenible.
- Para investigaciones futuras, se sugiere utilizar dispositivos telemáticos con mayor frecuencia de muestreo ( $\geq 1$  Hz), que permitan registrar datos de forma más detallada y precisa sobre el consumo de combustible y las emisiones de  $CO_2$  en condiciones de tráfico real. Asimismo, se recomienda respaldar el monitoreo con una plataforma que permita configurar y ajustar la frecuencia de muestreo, de acuerdo con los requerimientos del estudio. Esto facilitará cálculos más exactos de los factores de consumo y emisión. Además, es importante verificar previamente la compatibilidad técnica del dispositivo con los sistemas electrónicos del vehículo, así como contar con soporte técnico adecuado para resolver posibles inconvenientes de conexión o sincronización de datos.
- En vista de las limitaciones encontradas en el dispositivo GO9-GEOTAB, especialmente en lo referente a la frecuencia de muestreo y la confiabilidad de los datos de consumo de combustible, es recomendable complementar las mediciones con dispositivos como el ELM327 u otras interfaces OBD-II. Estos dispositivos permiten registrar variables de consumo y emisiones con mayor precisión y en tiempo real. Asimismo, se sugiere implementar un proceso de validación de datos para evitar errores que puedan afectar el análisis de eficiencia y emisiones.
- La metodología basada en datos ráster podría ser aplicada para vehículos de rutas frecuentes como el sistema de autobuses urbanos o autobuses provinciales. Además, podría identificar los diferentes “puntos calientes” de la ciudad con una metodología de ruta llamada “vehículo flotante”, la cual consiste en la circulación de un vehículo por toda la ciudad e identificar estos puntos de mayores emisiones, esto con el fin de poder diseñar estrategias para reducir la contaminación en el aire.

## REFERENCIAS.

- 365, M. (n.d.). *Software de hojas de cálculo Microsoft Excel | Microsoft 365*.  
<https://www.microsoft.com/es-es/microsoft-365/excel>
- Adachi, M., & Nakamura, H. (2014). Engine Emissions Measurement Handbook. In *Engine Emissions Measurement Handbook* (pp. i–xvi). SAE. <http://ieeexplore.ieee.org/document/8505265>
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2024, May 30). *Emisiones de dióxido de carbono | US EPA*. <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-dioxido-de-carbono>
- Alexander, F., Obando, R., María, J., Martínez, L., & Fonseca González, N. E. (2021). *Understanding the effects of traffic congestion on emissions from urban buses. An integrated approach incorporating real-world emissions, naturalistic driving profiles, and city traffic sensor data*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.67390>
- Amorim, M. L. M., Lima, J. G., Torres, N. N. S., Afonso, J. A., Lopes, S. F., Carmo, J. P. P. do, Hartmann, L. V., Souto, C. R., Salvadori, F., & Ando Junior, O. H. (2024). Open-Source Data Logger System for Real-Time Monitoring and Fault Detection in Bench Testing. *Inventions*, 9(6).  
<https://doi.org/10.3390/inventions9060120>
- Analytics, E. O. S. D. (2022). *Análisis Espacial: Tipos Y Prácticas De Aplicación*.  
<https://eos.com/es/blog/analisis-espacial/>
- Arena, F., Collotta, M., Luca, L., Ruggieri, M., & Termine, F. G. (2021). Predictive Maintenance in the Automotive Sector: A Literature Review. *Mathematical and Computational Applications*, 27(1), 2.  
<https://doi.org/10.3390/mca27010002>
- Campos-Ferreira, A. E., Lozoya-Santos, J. de J., Tudon-Martinez, J. C., Mendoza, R. A. R., Vargas-Martínez, A., Morales-Menendez, R., & Lozano, D. (2023). Vehicle and Driver Monitoring System Using On-Board and Remote Sensors. *Sensors*, 23(2). <https://doi.org/10.3390/s23020814>
- Chang, K.-Tsun. (2019). *Introduction to geographic information systems*. McGraw-Hill Education.
- de Antonio, A. R., & Munoz Dominguez, M. (2016). *Motores de combustion interna*. UNED - Universidad Nacional de Educacion a Distancia. <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/48846>
- Dhayarkar, A., & Nangare, P. (2970). SOFTWARE APPLICATION FOR VEHICLE OBD PROTOCOL DETECTION AND DATA EXTRACTION. *Www.Irjmets.Com @International Research Journal of Modernization in Engineering*. [www.irjmets.com](http://www.irjmets.com)
- DieselNet. (n.d.-a). *Emission Standards: Europe: Cars GHG*. Retrieved January 17, 2024, from <https://dieselnet.com/standards/eu/ghg.php>
- DieselNet. (n.d.-b). *Emission Standards: European Union*. Retrieved January 17, 2024, from <https://dieselnet.com/standards/eu/index.php>
- DieselNet. (n.d.-c). *Emission Standards: USA: California: Cars GHG*. Retrieved January 17, 2024, from [https://dieselnet.com/standards/us/ca\\_ghg.php](https://dieselnet.com/standards/us/ca_ghg.php)
- DieselNet. (n.d.-d). *Emission Standards: USA: Cars and Light-Duty Trucks—Tier 1*. Retrieved January 17, 2024, from <https://dieselnet.com/standards/us/ld.php>

- DieselNet. (n.d.-e). *Emission Standards: USA: Cars GHG Emissions and Fuel Economy*. Retrieved January 17, 2024, from [https://dieselnet.com/standards/us/fe\\_ghg.php](https://dieselnet.com/standards/us/fe_ghg.php)
- EcuRed. (n.d.). *Ibarra (Ecuador)*. Retrieved January 27, 2024, from [https://www.ecured.cu/Ibarra\\_\(Ecuador\)](https://www.ecured.cu/Ibarra_(Ecuador))
- European Environment Agency. (2023, May 11). *Transport and environment report 2022 — European Environment Agency*. <https://www.eea.europa.eu/publications/transport-and-environment-report-2022/transport-and-environment-report/view>
- FinalTest. (n.d.). *¿Que es un Datalogger?* <https://www.finaltest.com.mx/product-p/art-4.htm>
- GEOTAB. (n.d.). *GO9 Support Document*. Retrieved November 4, 2024, from <https://support.geotab.com/go-devices/go9/doc/go9-document#h.uzoupsfsjdpf>
- Ghaffarpasand, O., Burke, M., Osei, L. K., Ursell, H., Chapman, S., & Pope, F. D. (2022). Vehicle Telematics for Safer, Cleaner and More Sustainable Urban Transport: A Review. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 14, Issue 24). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su142416386>
- Gobierno Autónomo, S. M. de I. (n.d.). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial – Ibarra, Ciudad blanca a la que siempre se vuelve*. Retrieved January 27, 2024, from <https://www.ibarra.gob.ec/site/planificacion-estrategica-1/pdyot/>
- Grimaldi, C. N., & Millo, F. (2015). Internal Combustion Engine (ICE) Fundamentals. *Handbook of Clean Energy Systems*, 1–32. <https://doi.org/10.1002/9781118991978.HCES077>
- Guerrero-Ibáñez, J., Zeadally, S., & Contreras-Castillo, J. (2018). Sensor technologies for intelligent transportation systems. In *Sensors (Switzerland)* (Vol. 18, Issue 4). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s18041212>
- Harris, L. (2024). *Telematics and Big Data: Revolutionizing Fleet Management in the Automotive Industry*. <https://www.researchgate.net/publication/386112807>
- Harrison, R. M., Allan, J., Carruthers, D., Heal, M. R., Lewis, A. C., Marner, B., Murrells, T., & Williams, A. (2021). Non-exhaust vehicle emissions of particulate matter and VOC from road traffic: A review. In *Atmospheric Environment* (Vol. 262). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118592>
- Helal, M. (2025). Current developments, applications, challenges and future trends in internet of things: A survey. *International Journal of Data and Network Science*, 9(1), 125–138. <https://doi.org/10.5267/j.ijdns.2024.9.008>
- Intelligis Technologies. (n.d.). *Intelligis - Distribuidor oficial de Geotab | Vehículos eléctricos*. Retrieved November 4, 2024, from <https://intelligisgroup.com/distribuidor-oficial-de-geotab/>
- International Energy Agency. (2022). *CO2 Emissions in 2022 – Analysis - IEA*. <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022>
- International Sustainable Systems Research Center. (2008). *Manual del Usuario del Modelo IVE Versión 2.0*. [www.issrc.org/ive](http://www.issrc.org/ive).
- Iryopogu, J. (2021). *Analisis de datos con Power BI, R-RStudio y Knime: curso practico*. RA-MA Editorial. <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/222665>

- Isizán Bolaños, K. F., & Vallejo Pinchao, D. E. (2023). *Caracterización de los perfiles de conducción y la operación del motor en taxis con el uso de equipos ON-BOARD*.  
<https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14708>
- Jiao, Y., Wang, X., Hurwitz, D., Lei, Y., & Zhou, L. (2024). Revision of the driver behavior questionnaire for bus drivers in China based on in-vehicle monitoring data. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 105, 24–41. <https://doi.org/10.1016/J.TRF.2024.06.021>
- Kabeyi, M. J. B., & Olanrewaju, O. A. (2023). Smart grid technologies and application in the sustainable energy transition: a review. *International Journal of Sustainable Energy*, 42(1), 685–758.  
<https://doi.org/10.1080/14786451.2023.2222298>
- Kahle, D., & Wickham, H. (2013). ggmap: Spatial visualization with ggplot2. *R Journal*, 5(1), 144–161.  
<https://doi.org/10.32614/RJ-2013-014>
- KitoSDev-CMS. (n.d.). *Dispositivo ELM327*. Retrieved March 14, 2025, from <https://obd2-elm327.es/elm327-informacion-dispositivos>
- Komal Shoukat Ali, K., Arif Ali, B., Mihalca, V. O., & Radu Catalin, T. (2018). Automatic fuel tank monitoring, tracking & theft detection system. *MATEC Web of Conferences*, 184.  
<https://doi.org/10.1051/mateconf/201818402011>
- Krishnasamy, R., Aathi, R., Jayapalan, B., K.Karthikeyen, & Nowfal, M. (2019). Automatic Fuel Monitoring System. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(4S2), 348–352.  
<https://doi.org/10.35940/ijrte.d1078.1284s219>
- Król, A., & Rokicki, T. (2021). Telematics in car fleet management. *Ekonomika i Organizacja Logistyki*, 6(4), 49–57. <https://doi.org/10.22630/eiol.2021.6.4.28>
- Longley, P. A. . (1999). *Principles and technical issues*. John Wiley & Sons, Ltd.
- López, D. (2021). *Conoce todo sobre la evolución de gestión de flotas*.  
[https://www.webfleet.com/es\\_mx/webfleet/blog/la-evolucion-de-los-software-de-gestion-de-flotas/](https://www.webfleet.com/es_mx/webfleet/blog/la-evolucion-de-los-software-de-gestion-de-flotas/)
- Mas, J.-F. (n.d.). *Análisis espacial con R: Usa R como un Sistema de Información Geográfica*.  
<https://www.facebook.com/J.CUERDA/>
- MathWorks. (2020). *MATLAB - El lenguaje del cálculo técnico*.  
<https://la.mathworks.com/products/matlab.html>
- Ministerio de Energía y Minas. (2023). *Balance Energético Nacional 2022*. [www.rekursosyenergia.gob.ec](http://www.rekursosyenergia.gob.ec)
- Mohseni, M., Ramezanzadeh, B., Yari, H., & Gudarzi, M. M. (2012). New Advances in Vehicular Technology and Automotive Engineering. In J. P. Carmo & J. E. Ribeiro (Eds.), *New Advances in Vehicular Technology and Automotive Engineering*. InTech. <https://doi.org/10.5772/2617>
- Pardiñas, J., & Feijoo, R. (2023). *Sistemas auxiliares del motor Novedad\_20*.
- Pastorello, C. (2016). *Explaining roadtransport emissions — A non-technical guide*.  
<https://doi.org/10.2800/71804>
- Payri González, F., & Desantes Fernández, J. M. (2011). *Motores de Combustión Interna Alternativos*. Reverté.

- Power BI. (n.d.). *Power BI: visualización de datos | Microsoft Power Platform*.  
<https://www.microsoft.com/es-es/power-platform/products/power-bi>
- Python. (n.d.). *Bienvenido a Python.org*. <https://www.python.org/>
- Quinde, M. (2019). *Estimación de emisiones de CO2 en taxis con cilindrada de 1400cc bajo parámetros de conducción normal en la ciudad de Cuenca, utilizando el modelo IVE*.
- RPubs. (n.d.). *RPubs - Un recorrido por el tratamiento y análisis de datos espaciales con R*.  
<https://rpubs.com/RICARDOROBAYO95/813711>
- Rstudio. (n.d.). *RStudio Desktop - Posicionar*. <https://posit.co/download/rstudio-desktop/>
- Rybityskiy, O., Golian, V., Golian, N., Dudar, Z., Kalynychenko, O., & Nikitin, D. (2023). USING OBD-2 TECHNOLOGY FOR VEHICLE DIAGNOSTIC AND USING IT IN THE INFORMATION SYSTEM. *Bulletin of National Technical University "KhPI". Series: System Analysis, Control and Information Technologies, 1 (9)*, 97–103. <https://doi.org/10.20998/2079-0023.2023.01.15>
- Sanchez, E. (2011). *Sistemas auxiliares del motor*. Macmillan Iberia, S.A.  
<https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/52815>
- Secretaría Nacional de Planificación. (2021). *Plan de Creación de Oportunidades*.  
<https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/09/Plan-de-Creacio%CC%81n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado.pdf>
- Secundino, E. (2011). *Motores*. Macmillan Iberia, S.A. <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/101844>
- Services, A. W. (n.d.). *¿Qué es Python? - Explicación del lenguaje Python - AWS*.  
<https://aws.amazon.com/es/what-is/python/>
- Shabbir, W., & Evangelou, S. A. (2019). Threshold-changing control strategy for series hybrid electric vehicles. *Applied Energy, 235*, 761–775.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.003>
- Sitaraman, H., Yellapantula, S., Henry de Frahan, M. T., Perry, B., Rood, J., Grout, R., & Day, M. (2021). Adaptive mesh based combustion simulations of direct fuel injection effects in a supersonic cavity flame-holder. *Combustion and Flame, 232*, 111531.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2021.111531>
- Technoton. (n.d.). *Control de consumo de combustible - Technoton*. <https://jv-technoton.com/es/control-de-consumo-de-combustible/>
- Tong, H., Hung, W., & Cheung, C. s. (2000). On-Road Motor Vehicle Emissions and Fuel Consumption in Urban Driving Conditions. *Journal of the Air & Waste Management Association (1995), 50*, 543–554. <https://doi.org/10.1080/10473289.2000.10464041>
- Tripathy, B. K., & Anuradha, J. (2017). *Internet of Things(IoT): Technologies, Applications, Challenges and Solutions*. <https://www.researchgate.net/publication/320445442>
- Tu, R., Xu, J., Wang, A., Zhang, M., Zhai, Z., & Hatzopoulou, M. (2022). Real-world emissions and fuel consumption of gasoline and hybrid light duty vehicles under local and regulatory drive cycles. *Science of The Total Environment, 805*, 150407.  
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.150407>

- Tu, R., Xue, L., Meng, C., Xu, L., Li, T., & Chen, H. (2022). Identifying specifications of in-use vehicles failing the inspection/maintenance emission test. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 108, 103327. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103327>
- Valencia, U. I. de. (2018). *Evolución de la red de comunicación móvil, del 1G al 5G | VIU Internacional*. <https://www.universidadviu.com/int/actualidad/nuestros-expertos/evolucion-de-la-red-de-comunicacion-movil-del-1g-al-5g>
- Vallencillos, M. (2017). *UF1216\_Mantenimiento\_de\_sistemas\_auxilia*.
- Wialon. (n.d.). *El sistema de control de combustible de Wialon: digitalice las flotas comerciales*. Retrieved February 5, 2025, from <https://wialon.com/es/fuel-management-system>

## ANEXOS

### ANEXO 1: FICHA TÉCNICA DISPOSITIVO GO9 – GEOTAB

Características	Descripción
Interfaces	<p>Interfaces heredadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interfaces físicas: J1850 PWM, J1850 VPW, J1708, 9141-2 e ISO 14230 (KWP2000) en los pines 2 y 10.</li> <li>• Velocidad: 10,4/41,6 kbaud para J1850, 9141-2 e ISO 14230 y 9600/62500 bps para J1708</li> <li>• Protocolos de paquetes de datos: J1850 PWM, J1850 VPW, J1708, J1708 CAT, ISO Toyota, ISO Vario, ISO Ford, ISO Isuzu</li> <li>• Protocolos de diagnóstico/aplicación: OBD2</li> </ul> <p>Estándar CAN:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interfaces físicas: CAN en los pines 6 y 14, pines 3 y 11, pines 2 y 10.</li> <li>• Velocidad: 125/250/500 kbps</li> <li>• Protocolos de paquetes de datos: ISO 15765 CAN, GMLAN, VW TP 2.0, SAE J1939-21, SAE J1939-FMS</li> <li>• Protocolos de diagnóstico/aplicación: OBD2, WWH-OBD, UDS (ISO 14229)</li> </ul> <p>Cable único CAN:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interfaces físicas: CAN de un solo cable en el pin 1</li> <li>• Velocidad: 33/50/83,3 kbps</li> <li>• Protocolos de paquetes de datos: GMLAN, OEM específico</li> </ul> <p>CAN de velocidad media/baja:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interfaces físicas: J1939-13 Tipo 2, TTL CAN en los pines 3 y 11, pines 2 y 10</li> <li>• Velocidad: 50/125/250 kbps</li> <li>• Protocolos de paquetes de datos: GMLAN, OEM Specific, ISO 15765 CAN, SAE J1939-21, SAE J1939-FMS</li> <li>• Protocolos de diagnóstico/aplicación: Std OBD2, WWH-OBD, UDS (ISO 14229)</li> </ul> <p>* Soporte de instalación de 2 o 3 cables (para vehículos más antiguos/seguimiento de activos)</p>
Receptor GPS	<p>Modelos E1 y superiores: GPS, GLONASS, Galileo y BeiDou simultáneos, además de SBAS y QZSS. Modelos inferiores a E1: GPS y GLONASS simultáneos, además de SBAS y QZSS.</p> <p>Solución de tiempo hasta el primer arranque en menos de 2 segundos para arranques en caliente y con ayuda</p> <p>Modelos E1 y superiores: arranque en frío en menos de 24 s. Modelos inferiores a E1: arranque en frío en menos de 26 s.</p> <p>Sistema de navegación aérea no tripulada (GNSS)</p> <p>Precisión: ~2,0 m CEP</p> <p>Se admiten actualizaciones de firmware OTA</p>
Ambiental	<p><b>Temperatura de funcionamiento</b> -40 a +85 °C</p> <p><b>SAE J1455</b></p> <p>Temperatura</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Choque térmico</li> <li>• Ciclo de temperatura</li> </ul> <p>Humedad</p> <p>Vibración mecánica</p> <p>Choque mecánico</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Choque operacional</li> <li>• Caída de tránsito</li> <li>• Manejo de caídas</li> </ul> <p>Entorno eléctrico general de camiones pesados</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Características eléctricas en estado estacionario</li> </ul>
Acelerómetro y giroscopio	<p>Acelerómetro 3D y giroscopio 3D. Rango de aceleración a escala completa de <math>\pm 8</math> g y rango de velocidad angular de <math>\pm 250</math> dps</p> <p>Velocidad de datos de salida de aceleración y velocidad angular de 1,66 kHz</p>
Mecánico	<p><b>Peso:</b> 70 g (0,15 lb)</p>

Eléctrico	<p><b>Dimensiones:</b> 75 mm de largo × 50 mm de ancho × 23 mm de alto</p> <p><b>Carcasa:</b> PC+ABS</p> <p><b>Voltaje</b></p> <p>Sistemas compatibles de 12 V y 24 V</p>
Soporte por aire (OTA)	<p><b>Actual</b></p> <p>120 mA a 12 V Modo de funcionamiento (consumo de corriente típico/nominal)</p> <p>250 mA a 12 V Modo de funcionamiento (consumo máximo de corriente)</p> <p>24 mA a 12 V (consumo de conexión continuo)</p> <p>4,5 mA a 12 V Modo de suspensión (consumo de corriente mínimo)</p> <p>3,0 mA a 24 V Modo de suspensión (consumo de corriente mínimo)</p>
Zumbador en cabina	<p><b>Actualizaciones de firmware:</b> para mantenimiento, nuevas funciones y aplicaciones personalizadas</p> <p><b>Parámetros:</b> para activar o desactivar funciones adicionales</p> <p><b>Datos de almanaque/efemérides:</b> para una fijación más rápida del GPS</p>
Registro de voltaje	<p><b>Salida de decibelios:</b> &gt;85 dBA a 10 cm</p> <p><b>Comentarios del conductor:</b> Frenado brusco, aceleración brusca, curvas cerradas, exceso de revoluciones, ralenti y exceso de velocidad, infracciones del cinturón de seguridad relacionadas con el motor (cuando estén disponibles) y uso personalizado.</p> <p>Registro de voltaje basado en curvas para detectar baterías débiles, alternadores y arrancadores defectuosos.</p>

---

## ANEXO 2: CÓDIGO SINCRONIZACIÓN Y RENOMBRAMIENTO DE DATOS DISPOSITIVO GO9 – GEOTAB.

### a. Función para procesar un archivo individual

```

procesar_archivo <- function(ruta, fecha_dia) {
  datos <- read_excel(ruta, sheet = 1)
  datos_transformados <- datos %>%
  pivot_wider(
    names_from = DESCRIPCION,
    values_from = VALOR,
    values_fn = list(VALOR = ~ ifelse(length(.) >
1, mean(., na.rm = TRUE), .))
  )
  datos_transformados <- datos_transformados
%>%
  mutate(FECHA =
as.POSIXct(paste(fecha_dia, format(FECHA,
"%H:%M:%S"))))
  todos_los_segundos <- tibble(
    FECHA = seq.POSIXt(from =
as.POSIXct(paste(fecha_dia, "00:00:00")),
to = as.POSIXct(paste(fecha_dia,
"23:59:59")),
by = "sec")
  )
  datos_sincronizados <-
merge(todos_los_segundos,
datos_transformados, by = "FECHA", all.x =
TRUE)
  return(datos_sincronizados)
}

```

### **b.Función para procesar un conjunto de archivos**

```

procesar_conjunto <- function(archivos, fechas, vehiculo) {
  resultados <- lapply(seq_along(archivos), function(i) {
    procesar_archivo(archivos[i], fechas[i])
  })
  df_final <- bind_rows(resultados)
  df_final$VEHICULO <- vehiculo
  return(df_final)
}

```

### **c.Combinar todos los datos**

```

datos_completos <- bind_rows(KiaRio_datos, Hyundai_datos, KiaSolutos_datos)

```

```

datos_completos <- datos_completos %>%
  mutate(DIA_SEMANA = weekdays(FECHA, abbreviate = FALSE)) %>%
  select(DIA_SEMANA, everything())

```

```

datos_completos <- datos_completos %>%
  mutate(DIA_SEMANA = toupper(weekdays(FECHA)))

```

#### d. Selección y renombramiento de variables

```
dfSeleccionado <- datos_completos %>%
select(
  "DIA_SEMANA",
  "FECHA",
  "VEHICULO",
  "Velocidad del motor",
  "Velocidad en carretera del motor",
  "Combustible total utilizado (desde la instalación del dispositivo de telemática)",
  "Aceleración hacia delante o frenado",
  "Aceleración de lado a lado",
  "Aceleración hacia arriba o hacia abajo",
  "Raw odometer",
  "Odómetro",
  "Distancia incremental basada en la velocidad en carretera del motor",
  "Temperatura del refrigerante del motor",
  "Generic accelerometer based gear (0 = neutral / -1 = reverse)",
  "Combustible de viaje utilizado",
  "Combustible de viaje utilizado en ralentí",
  "Combustible total utilizado en ralentí (desde la instalación del dispositivo de telemática)",
  "Vehículo activo (ralentí o en movimiento)",
  "Trip fuel accumulator",
  "Acumulación de combustible usado en ralentí durante el viaje",
  "Trip distance with tracked fuel accumulator",
  "Trip distance with tracked fuel",
  "Trip distance with tracked fuel source (1 = odometer / 2 = GPS / 3 = road speed)",
  "Aceleración longitudinal basada en GPS",
  "Temperatura exterior",
  "PositionValid",
  "High resolution engine speed",
  "Altitude above mean sea level",
  "Nivel de combustible",
  "Estado de conexión continua (1 = Activado, 0 = Apagado). Esto solo se muestra si Conexión
continua está activada o desactivada debido a la fluctuación de voltaje."
) %>%
rename(
  DiaSemana = DIA_SEMANA,
```

### ANEXO 3: Variables Totales Obtenidas

Variables del Dispositivo MyGeoTab	Renombrar Variables	Unidad de Medida
Tensión de arranque	TensionArranque	Voltios (V)
Estado de arranque		-
PositionValidAtDevice		-
Voltaje del dispositivo telemático	VoltajeDispositivo	Voltios (V)
Vehículo activo (ralentí o en movimiento)		-
Distancia incremental basada en la velocidad en carretera del motor	DistanciaIncremental	kilometros (km)
Generic vehicle data contract active		-
Protocolo del motor de 11 bits 500k OBD\CAN detectado		-
Arnés estándar detectado		-
Cinturón de seguridad del conductor (1 = Sin abrochar)		-
Raw odometer	OdometroOriginal	kilometros (km)
Odómetro	Odometro	kilometros (km)
Datos del motor (0 = Inactivo, 1 = Activo)		-
Velocidad del motor	VelocidadMotor	Revoluciones por Minuto (rpm)
High resolution engine speed	VelocidadMotorAltaResolucion	Revoluciones por Minuto (rpm)
Velocidad en carretera del motor	VelocidadCarretera	kilometros/hora (km/h)
Combustible total utilizado (desde la instalación del dispositivo de telemática)	CombustibleUtilizado	Litros (L)
Trip fuel accumulator	CombustibleAcumuladoTrayecto	Litros (L)
Trip distance with tracked fuel accumulator	DistanciaCombustibleAcumulado	kilometros (km)
Acumulación de combustible usado en ralentí durante el viaje	AcumulacionCombustibleRalentí	Litros (L)
Distancia recorrida con luz indicadora de falla (MIL) encendida	Distacia LuzIndicadora	kilometros (km)
Calentamientos desde que se eliminaron los códigos		-
Generic OBD II misfire monitor available		-
Generic OBD II fuel system monitor available (1 = available)		-
Generic OBD II components monitor available (1 = available)		-
Generic OBD II catalyst monitor available (1 = available)		-
Generic OBD II misfire monitor complete (1 = complete)		-
Generic OBD II fuel system monitor complete (1 = complete)		-
Generic OBD II components monitor complete (1 = complete)		-
Generic OBD II catalyst monitor complete (1 = complete)		-
Generic OBD II heated catalyst monitor available (1 = available)		-
Generic OBD II evaporative system monitor available (1 = available)		-
Generic OBD II secondary air system monitor available (1 = available)		-
Generic OBD II AC refrigerant monitor available (1 = available)		-
Generic OBD II oxygen sensor monitor available (1 = available)		-
Generic OBD II oxygen sensor heater monitor available (1 = available)		-
Generic OBD II heated catalyst monitor complete (1 = complete)		-
Generic OBD II evaporative system monitor complete (1 = complete)		-

Generic OBD II secondary air system monitor complete (1 = complete)		-
Generic OBD II AC refrigerant monitor complete (1 = complete)		-
Generic OBD II oxygen sensor monitor complete (1 = complete)		-
Generic OBD II oxygen sensor heater monitor complete (1 = complete)		-
Generic OBD II EGR system monitor available (1 = available)		-
Generic OBD II EGR system monitor complete (1 = complete)		-
Distancia recorrida desde que se eliminaron los códigos	DistanciaCodigos	kilometros (km)
Altitude above mean sea level	AltitudNivelMar	metros (m)
Temperatura del refrigerante del motor	TemperaturaRefrigerante	grados centigrados (°C)
Raw outside air temperature	TemperaturaExteriorCruda	grados centigrados (°C)
Intensidad de la señal del módem celular		-
Acceso a la radio por módem celular		-
Aceleración hacia delante o frenado		G FORCE
Aceleración de lado a lado		G FORCE
Aceleración hacia arriba o hacia abajo		G FORCE
Temperatura exterior	TemperaturaExterior	grados centigrados (°C)
Nivel de combustible	NivelCombustible	Litros (L)
Generic accelerometer based gear (0 = neutral / -1 = reverse)		-
Combustible total utilizado en ralentí (desde la instalación del dispositivo de telemática)	CombustibleTotalUtilizado Ralenti	Litros (L)
Combustible de viaje utilizado	CombustibleViajeUtilizado	Litros (L)
Combustible de viaje utilizado en ralentí	CombustibleRalenti	Litros (L)
Conteo de PID de OBD2 del motor		-
Trip distance with tracked fuel	DistanciaCombustibleRegistrado	kilometros (km)
Trip distance with tracked fuel source (1 = odometer / 2 = GPS / 3 = road speed)		-
Los puntos de datos de combustible de mitad del viaje son válidos (0 = Nunca, 1 = Siempre, 2 = Después del primer punto)		-
Total Lifetime Engine Power Take Off (PTO) Governor Fuel Used	CombustibleVidaUtil	Litros (L)
Estado de conexión continua (1 = Activado, 0 = Apagado). Esto solo se muestra si Conexión continua está activada o desactivada debido a la fluctuación de voltaje.		-
Cambio de energía del dispositivo (1=potenciado)		-
Generic workshop mode enabled		-
Suspected vehicle in workshop		-
Ocupación de pasajeros (1 = Ocupado)		-
Infracción por pasajero sin cinturón de seguridad (1 = sin abrochar)		-
Passthrough Carb		-
Acelerómetro calibrado (1=calibrado)		-
Aceleración longitudinal basada en GPS		G FORCE
PositionValid		-

## ANEXO 4: Frecuencia de Muestreo Dispositivo GO9-GEOTAB

Variable	Vehículo A		Vehículo B		Vehículo C	
	Muestreo		Muestreo		Muestreo	
	Frecuencia (Hz)	Periodo (s)	Frecuencia (Hz)	Periodo (s)	Frecuencia (Hz)	Periodo (s)
VelocidadMotor	0.0434	23.03	0.0499	20.03	0.0544	18.38
VelocidadCarretera	0.0546	18.30	0.0554	18.04	0.0561	17.81
CombustibleUtilizado	0.0193	51.72	0.0233	42.84	0.0182	54.91
AceleracionFrontal	0.0184	54.39	0.0269	37.23	0.0296	33.74
AceleracionLateral	0.0183	54.74	0.0245	40.82	0.0280	35.69
AceleracionVertical	0.0211	47.38	0.0286	35.01	0.0336	29.77
OdometroCrudo	0.0027	368.46	0.0029	340.55	0.0022	459.57
Odometro	0.0027	368.46	0.0029	340.55	0.0022	459.57
DistanciaIncremental	0.0017	586.16	0.0017	599.92	0.0012	865.48
TemperaturaRefrigerante	0.0010	1000.80	0.0007	1433.70	0.0004	2426.29
CambioPorAcelerometro	0.0017	602.37	0.0010	969.69	0.0018	552.91
CombustibleViaje	0.0004	2659.68	0.0003	3791.26	0.0001	11557.08
CombustibleViajeRalenti	0.0003	3081.16	0.0003	3791.26	0.0001	11557.08
CombustibleTotalRalenti	0.0010	1022.60	0.0009	1106.13	0.0002	4060.61
VehiculoActivo	0.0009	1156.71	0.0005	1881.49	0.0003	3992.55
CombustibleAcumuladoTrayecto	0.0009	1140.35	0.0008	1275.53	0.0002	4484.85
CombustibleRalentiAcumulado	0.0007	1538.07	0.0007	1371.27	0.0002	5513.49
DistanciaConCombustibleAcumulado	0.0011	895.99	0.0010	1009.51	0.0004	2225.81
DistanciaConCombustible	0.0004	2659.68	0.0003	3791.26	0.0001	11557.08
FuenteDistanciaCombustible	0.0004	2659.68	0.0003	3791.26	0.0001	11557.08
AceleracionGPS	0.0002	4304.45	0.0002	4263.05	0.0001	14308.76
TemperaturaExterior	0.0001	8963.18	0.0002	4637.14	0.0001	19439.21
PositionValid	-	-	0.0000	108648.33	0.0001	15312.40
VelocidadMotorAltaResolucion	-	-	0.4160	2.40	0.4645	2.15
Altitud	-	-	0.0065	154.17	0.0067	149.66
NivelCombustible	-	-	0.0005	1835.09	-	-
ConexionContinuaEstado	0.0004	2310.87	0.0003	3791.26	0.0001	11557.06

### ANEXO 5: Resultados de todos los vehículos con el dispositivo GO9

Vehículo	Día	consumo_min	consumo_max	odometro_min	odometro_max	Combustible Acumulado	Distancia Acumulada	Combustible Utilizado (m3)	Masa Combustible (kg)	kg CO <sub>2</sub>	g CO <sub>2</sub>	g/km	%
Vehículo A	Lunes	55.35	63.22	641091.50	641177.6	7.87	86.10	0.008	5.666	17.496	17496.253	203.209	22.1
	Martes	63.23	77.95	641177.60	641326.2	14.72	148.60	0.015	10.598	32.725	32724.884	220.221	25.2
	Miércoles	78.06	97.83	641327.20	641562.0	19.77	234.80	0.020	14.234	43.952	43951.832	187.188	25.5
	Jueves	97.83	117.17	641562.10	641786.2	19.34	224.10	0.019	13.925	42.996	42995.874	191.860	28.5
	Viernes	117.30	121.43	641787.20	641837.8	4.13	50.60	0.004	2.974	9.182	9181.642	181.455	31.7
	Sábado	27.04	48.71	640715.10	641004.4	21.67	289.30	0.022	15.602	48.176	48175.832	166.526	23.0
	Domingo	50.38	55.34	641005.40	641091.5	4.96	86.10	0.005	3.571	11.027	11026.863	128.070	16.4
Vehículo B	Lunes	122.82	172.85	7080.80	7287.0	50.03	206.20	0.050	36.022	111.225	111224.589	539.402	58.7
	Martes	172.94	224.74	7287.00	7511.1	51.80	224.10	0.052	37.296	115.160	115159.579	513.876	58.7
	Miércoles	224.75	265.53	7511.10	7695.7	40.78	184.60	0.041	29.362	90.660	90660.379	491.118	66.9
	Jueves	265.54	300.08	7695.70	7873.3	34.54	177.60	0.035	24.869	76.788	76787.874	432.364	64.1
	Viernes	300.09	320.09	7873.30	8102.0	20.00	228.70	0.020	14.400	44.463	44463.158	194.417	34.0
	Sábado	320.10	363.47	8102.00	8318.0	43.37	216.00	0.043	31.226	96.418	96418.358	446.381	61.7
	Domingo	363.48	394.55	8318.00	8509.5	31.07	191.50	0.031	22.370	69.074	69073.516	360.697	46.2
Vehículo C	Lunes	22.04	40.27	135829.50	136058.6	18.23	229.10	0.018	13.126	40.528	40528.168	176.902	19.2
	Martes	40.66	54.59	136059.60	136279.1	13.93	219.50	0.014	10.030	30.969	30968.589	141.087	16.1
	Miércoles	54.49	60.07	136280.20	136502.8	5.58	222.60	0.006	4.018	12.405	12405.221	55.729	7.6
	Jueves	60.34	62.47	136503.80	136598.8	2.13	95.00	0.002	1.534	4.735	4735.326	49.846	7.4
	Viernes	62.86	77.53	136707.20	136873.2	14.67	166.00	0.015	10.562	32.614	32613.726	196.468	34.3
	Sábado	77.42	88.80	136873.20	137101.0	11.38	227.80	0.011	8.194	25.300	25299.537	111.060	15.3
	Domingo	88.75	120.13	137102.00	137340.9	31.38	238.90	0.031	22.594	69.763	69762.695	292.016	37.4

(Autoría propia)

